

# 伊方原子力発電所周辺における環境試料中 Cs-137 濃度の 経年変化について

大塚将成 白石雅紘 高市恭弘 高松公子

## 1. はじめに

本県では、四国電力(株)伊方発電所 1 号機の営業運転に先立ち、昭和 50 年から事前調査として、みかん、杉葉、海産生物等について、環境試料のガンマ線放出核種分析を開始した。そして、昭和 52 年の伊方発電所 1 号機営業運転開始に伴う監視調査に移行してから現在に至るまで、環境試料の調査を継続して実施してきた。

セシウム-137 (Cs-137) については、調査開始当初から大気圏内核実験等による影響により検出されている核種であり、昭和 61 年に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故(以下「チェルノブイリ事故」という。)では極めて高い濃度で放出され<sup>1)</sup>、現在まで継続的に検出されている。この Cs-137 濃度の経年変化をみることで、Cs-137 における各環境試料での蓄積(濃縮)傾向を知ることができ、蓄積状況からどのような挙動を示すかの情報を得ることができると考えられる。また、原子力事故当時の Cs-137 の放出状況や今後の濃度経年変化を推察することもでき、Cs-137 変動幅把握に寄与すると考えられる。

以上のような知見を得ることを目的とし、今回、本県における長期的な環境試料中の Cs-137 の経年変化をみることにした。

## 2. 方法

分析対象としたデータは伊方原子力発

電所周辺環境放射線等調査結果のうち、昭和 50 年から平成 28 年までのものを用いた。

サンプルについては、上述のうち、Cs-137 が検出され、蓄積傾向の把握により試料中への挙動の考察が可能と考えられる伊方町で採取した海水等 8 つの調査項目及び平成 25 年度以降、調査地域を 30km 圏に拡大後追加した調査項目のうち、白菜等 7 つの調査項目を選定した。

伊方町で採取した 8 つの調査項目について、海水は伊方発電所の平瀬透過堤沖の 1 地点、海底土は同平瀬透過堤沖北東、平瀬沖入江の 2 地点、魚類はデータ数の多いかさご、めばる及びデータ数は少ないが体長が大きいさめの 3 種類、海藻類はほんだわら、くろめ、てんぐさ、ひじきの 4 種類、無脊椎動物は、むらさきいがい、あわび、さざえ、うに、なまこの 5 種類(魚類、海藻類、無脊椎動物は九町越沖で採取)、土壌は 3 地点、杉葉は 2 地点、農産食品はみかん、野菜等から代表として調査期間の長い九町アラカヤで採取したみかんの可食部及び表皮をそれぞれ使用した。

以上のサンプルについて、長期的な変動をみるため、グラフは移動平均を算出(年間 4 回採取の海水、海底土、土壌、杉葉は 1 年間、その他の試料は 3 年間、ただし、年間 4 回採取のほんだわらについては、他の海藻類と統一するため 3 年間)して作成し、その傾向を解析することとした。

愛媛県原子力センター 八幡浜市保内町宮内 1-485-1

調査地域を 30km 圏に拡大後追加した 7 つの調査項目については、平成 24 年の事前調査を含めた 5 年間のデータをまとめ、Cs-137 の変動幅を把握することとした。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1. Cs-137 の蓄積状況

各環境試料における Cs-137 濃度の経年変化のグラフを図 1~8 に示す。これらの Cs-137 濃度の変化について結果をみると、2 つのグループに大きく分けることができる。1 つ目のグループは海水、海底土、魚類、海藻類、無脊椎動物、土壌(図1~6)である(Group A)。2 つ目は杉葉、農産食品(みかん)(図7, 8)である(Group B)。Group A は、昭和 50 年代の大気圏内核爆発実験、昭和 61 年に発生したチェルノブイリ事故の影響を受け、高濃度の Cs-137 が検出され、その後徐々に低下している環境試料である。Group B は、チェルノブイリ事故及び東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(以下「東電事故」という。)後に数年のみ検出され、その後検出されなくなっている環境試料である。

2 つのグループに分かれる要因としては Cs-137 等放射性物質の環境試料に対する動態の違いが挙げられる。

Group A で検出された Cs-137 は海水、海底土、土壌については、その中に保持したもの、魚類、海藻類、無脊椎動物については、他の環境試料を内部に取り込むことで蓄積(濃縮)したものが検出されたと推察できる。海水や土壌は昭和 50 年代に高濃度の Cs-137 を保持し、Cs-137 の減衰によって、濃度が低下している。魚類、海藻類、無脊椎動物は内部に取り込んだ Cs-137 を代謝、排出しながら、一定の割合で蓄積

(濃縮)しており、環境中の Cs-137 減衰と合わせて、その濃度も低下しているものと考えられる。

これに対して Group B で検出された Cs-137 はそのほとんどが事故の影響により、枝葉や表皮などの外部に付着したものと考えられる。その後、雨等により洗い流されたり、落葉や収穫により新しく置き換わったことや、枝葉等から土壌に移行した Cs-137 の植物への移行が、土壌中の粘土による固定や、肥料中のカリウムにより抑制された<sup>2)</sup>ことから、事故後数年のみ検出され、その後検出されなくなったものと考えられる。

ここで、Group A の環境試料について詳しく見ると、前述のとおり全試料について、昭和 50~60 年代から現在にかけて年数をかけて徐々に Cs-137 濃度が低下し、蓄積傾向はみられていないが、海水(図1)に着目すると、平成 26 年頃から上昇傾向になっていることが分かる。これは、平成 23 年 3 月に起こった東電事故の影響であると推察できるが、Cs-137 濃度が上昇するまで 3 年経過している。海洋は大きく循環しており、事故によって太平洋に流出した Cs-137 の一部が、その循環により、日本周辺の海域に時間をかけて輸送されてきたということが考えられる。実際、九州や日本海側の海域でも同様の濃度上昇が認められている<sup>3)</sup>。今後は事故の影響で上昇した Cs-137 濃度は低下していくものと予想されるが、再び海洋の循環により濃度が上昇する可能性があるため、今後の長期的な濃度変化の動向には注目しておく必要がある<sup>4)</sup>。

次に、海藻類(図4)をみると、くろめとてんぐさの比較により、平成 5~6 年の濃度は各試料中で同程度であるが、てんぐさの方が検出されなくなるまでの期間が短いことが

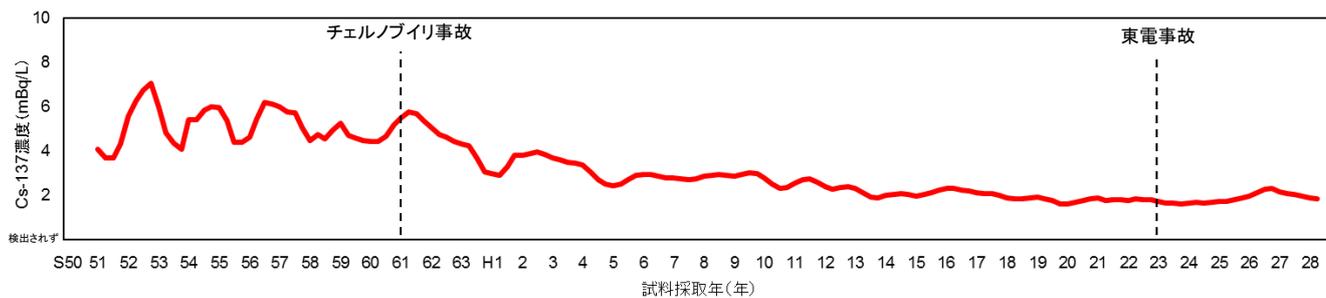


図1 海水のCs-137濃度経年変化

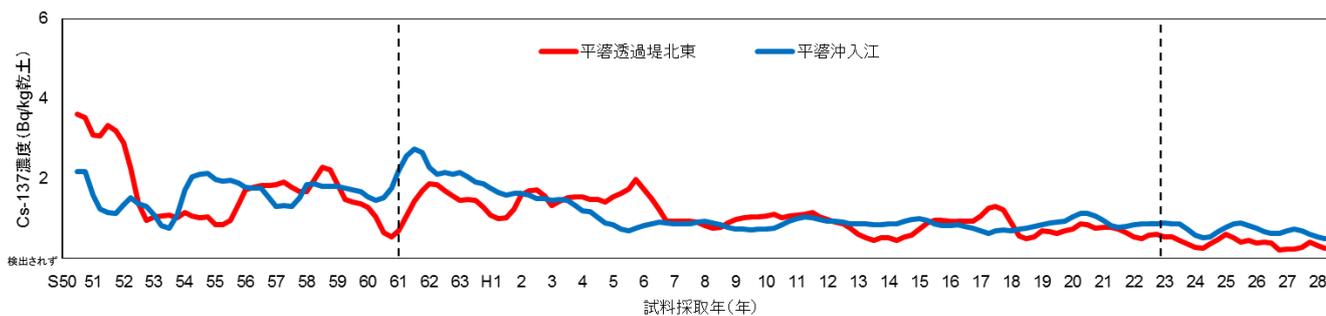


図2 海底土のCs-137濃度経年変化

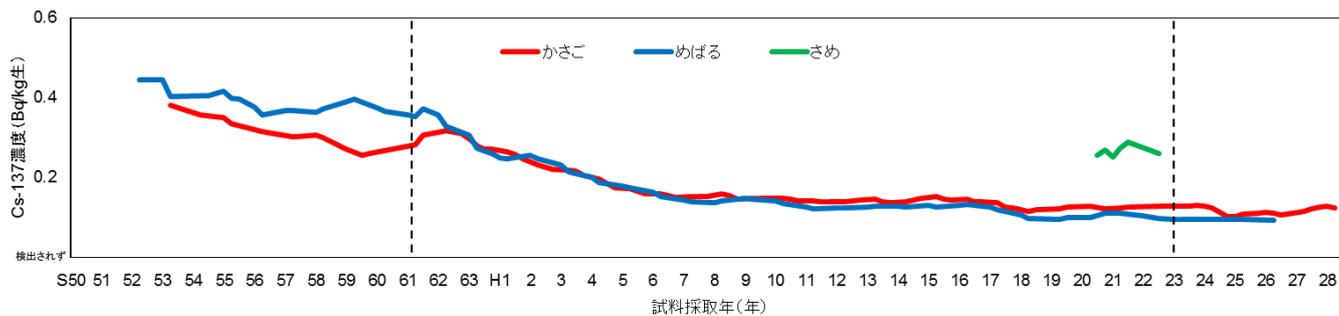


図3 魚類のCs-137濃度経年変化

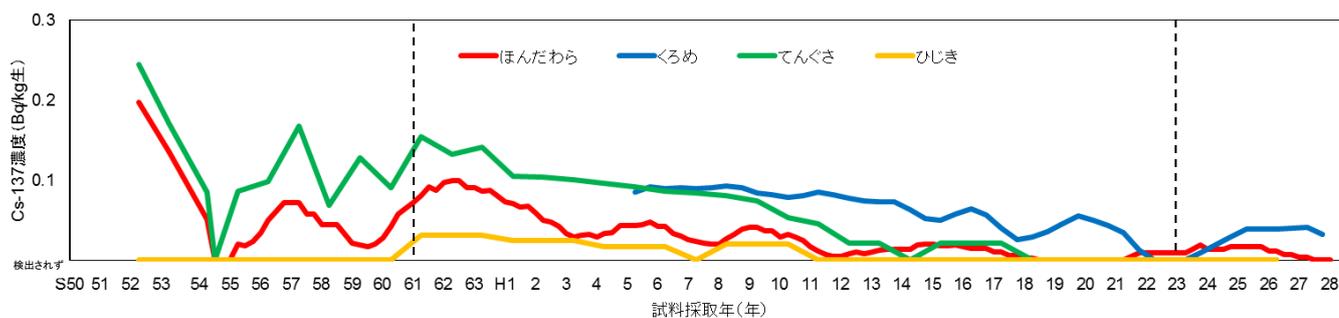


図4 海藻類のCs-137濃度経年変化

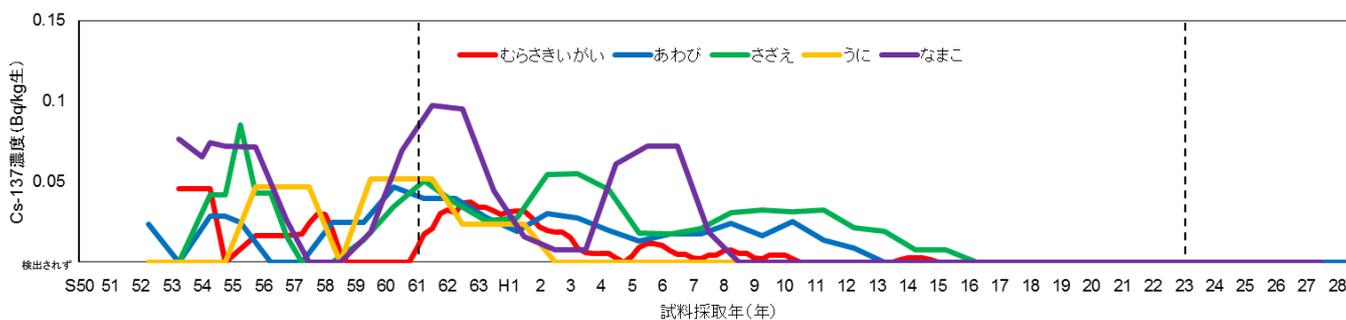


図5 無脊椎動物のCs-137濃度経年変化

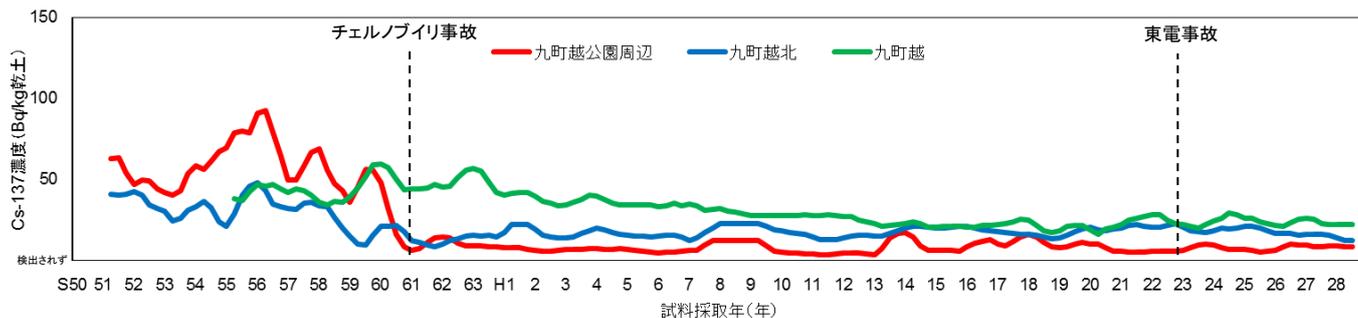


図 6 土壌の Cs-137 経年変化

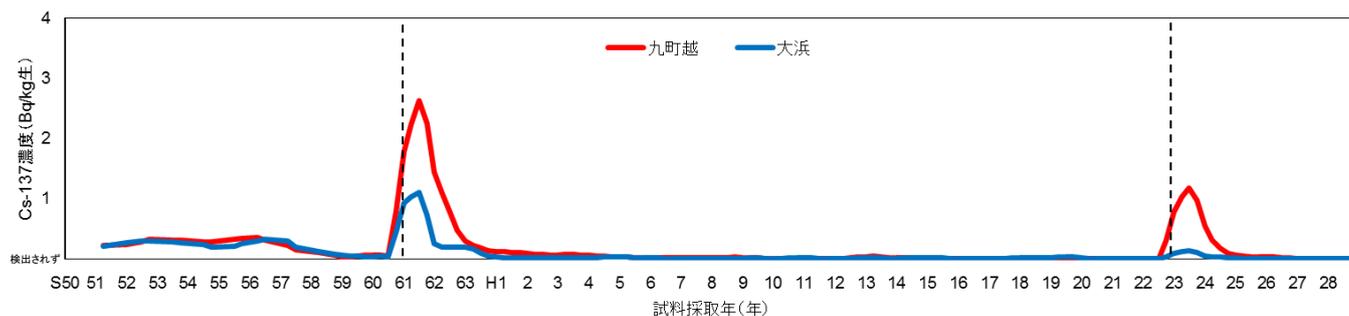


図 7 杉葉の Cs-137 経年変化

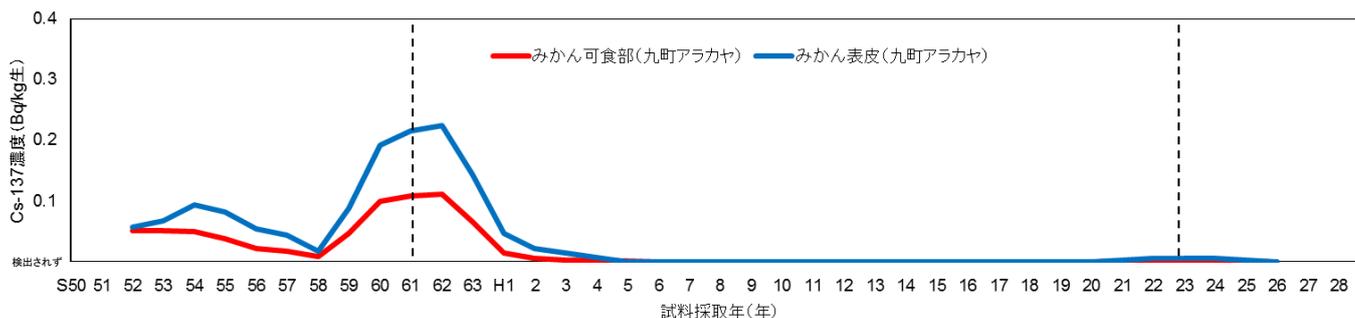


図 8 農産食品(みかん)の Cs-137 経年変化

分かる。放射性物質等の蓄積(濃縮)度合いを示すものに、濃縮係数(海産生物の場合、海産生物中の濃度/海水中の濃度で定義される。)があるが、先行研究において、くろめの属する褐藻類の方が、てんぐさの属する紅藻類より、Cs-137 の濃縮係数が大きいことが示されており<sup>5)</sup>、全ての試料は同じ海域(九町越沖)で採取されているので海水中の濃度は各試料に対して同様とみなせることから、この傾向は濃縮係数の違いにより生じたものであると推察できる。しかしながら、同じ褐藻類に属するひじきにおいて、Cs-137 濃度は低いレベルを推移している。このことは褐藻類の中には紅藻類

より低い Cs-137 の濃縮係数のものも存在することを示唆している。

次に、魚類(図3)に着目すると、同じ魚類でもさめとかさご・めばるを比較すると、Cs-137 濃度はサメの方が高い傾向を示していることが分かる。これは、魚を捕食する食物連鎖の上位種の方が高い Cs-137 濃縮係数である<sup>5)</sup>ことが結果として表れているものである。

また、Group A の魚類、海藻類、無脊椎動物(図3~5)の各環境試料間の昭和 50 年代の Cs-137 濃度を比較すると、海藻類は 0.1~0.2Bq/kg 生、無脊椎動物は 0.05~0.1Bq/kg 生で同程度の濃度であり、魚

類の方が 0.4Bq/kg 生程度で高いことがわかる。この差は、魚類の方が海藻類、無脊椎動物に比べて濃縮係数が大きい<sup>6)</sup>ことが要因で生じていると考えられる。

### 3.2. 事故時の Cs-137 放出状況

Group B について見ると、杉葉、農産食品(みかん)ともに、チェルノブイリ事故及び東電事故の規模や放出状況をよく表しているといえる。チェルノブイリ事故発生場所は、東電事故と比較して本県より大きく距離が離れているにもかかわらず、Cs-137 検出濃度は、チェルノブイリ事故後の方が約3~4 倍程度大きく、当事故は極めて深刻なものであったことを物語っている。実際、チェルノブイリ事故の Cs-137 放出量は東電事故の放出量と比較して、6~8 倍程度であるという推定値も報告されている<sup>7)</sup>。

### 3.3. Cs-137 の変動幅

調査地域を 30km 圏に拡大後追加した 7つの調査項目の調査結果を表1に示す。表1の調査結果及び分析対象の全データ

をもとに現状における通常の変動幅を明らかにした。

まず、データ数の多い Group A, B の試料について、測定開始時から全期間、過去 10 年、過去 5 年の最大値、最小値を表 2 にまとめた。この表をみると、全期間では、最大値がチェルノブイリ事故の影響を大きく受けていることが分かる。杉葉では、過去 10 年及び 5 年、みかんでは、過去 10 年で東電事故の影響を受けていることが読み取れるが、その他の環境試料は、最大値、最小値に大きな差はなく、現状における通常の変動幅は過去 5 年値の幅をみるのが適切であると考えられる。

過去 5 年の値をもとに現状における変動幅を表3にまとめた。なお、海水においては、東電事故の影響によるものと考えられる濃度の上昇がみられた平成 26~27年のデータは除外し、平成 22~25 年及び平成 28 年の 5 年間のデータをもとにその最大値、最小値を変動幅とした。Group B について

表 1 調査拡大後 Cs-137 の検出があった調査項目

試料名	採取場所	Cs-137 濃度					単位
		H24	H25	H26	H27	H28	
白菜	大洲市五郎	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	Bq/kg 生
しいたけ	大洲市肱川町	0.100	0.108	0.180	0.262	0.089	
あゆ	大洲市肱川	0.060	N.D.	0.034	N.D.	N.D.	
かれい	大洲市長浜沖	0.074	0.075	0.060	0.070	0.088	
たこ	大洲市長浜沖	0.021	N.D.	0.022	N.D.	N.D.	
かさご	宇和島市吉田町 玉津沖	0.049 <sup>1)</sup>	0.077	0.085	0.079	0.11	
製茶	西予市宇和町	0.18	0.15	N.D.	N.D.	N.D.	Bq/kg 乾

※ N.D.: 検出されず

1) H24 はかわはぎを採取

表 2 環境試料(Group A, B)の Cs-137 濃度変動幅

試料名	Cs-137 変動幅									単位
	全期間			過去 10 年間			過去 5 年間			
海水	N.D.	～	8.14	1.2	～	2.6	1.3	～	2.6	mBq/L
海底土	N.D.	～	5.18	N.D.	～	1.4	N.D.	～	1.2	Bq/kg 乾土
魚類 (めばる・かさご)	N.D.	～	0.666	0.087	～	0.16	0.088	～	0.14	
ほんだわら	N.D.	～	0.407	N.D.	～	0.1	N.D.	～	0.1	
くろめ	N.D.	～	0.13	N.D.	～	0.1	N.D.	～	0.091	
てんぐさ	N.D.	～	0.329	N.D.			N.D.			Bq/kg 生
ひじき	N.D.	～	0.096	N.D.			N.D.			
無脊椎動物	N.D.	～	0.16	N.D.			N.D.			
土壌	1.2	～	88.8	1.2	～	40.3	3.4	～	40.3	Bq/kg 乾土
杉葉	N.D.	～	5.92	N.D.	～	2.38	N.D.	～	0.17	
みかん	N.D.	～	0.703	N.D.	～	0.021	N.D.			Bq/kg 生

※ N.D.: 検出されず

表 3 現状における Cs-137 濃度変動幅

試料名	Cs-137 変動幅			単位	試料名	Cs-137 変動幅			単位
Group A					Group B				
海水	1.2	～	2.4	mBq/L	杉葉	N.D.			
海底土	N.D.	～	1.2	Bq/kg 乾土	みかん	N.D.			Bq/kg 生
魚類 (めばる・かさご)	0.077	～	0.14		拡大調査試料				
ほんだわら	N.D.	～	0.1		白菜	N.D.	～	0.014	
くろめ	N.D.	～	0.091		しいたけ	0.089	～	0.262	
てんぐさ	N.D.			Bq/kg 生	あゆ	N.D.	～	0.060	Bq/kg 生
ひじき	N.D.				かれい	0.060	～	0.088	
無脊椎動物	N.D.				たこ	N.D.	～	0.022	
土壌	3.4	～	40.3	Bq/kg 乾土	製茶	N.D.	～	0.18	Bq/kg 乾

※ N.D.: 検出されず

は、原子力事故時に Cs-137 が検出されているグループであり、現在 Cs-137 の検出もなく、事故等の影響がなければ検出されないと判断できるため、今後は検出されないと考えた。

また、調査地域を 30km 圏に拡大後追加した 7 つの調査項目の調査結果については、5 年間でのデータのばらつきは大きくないので、最大値、最小値を変動幅とした。

今後、平常時における監視調査を実施するに当たり、表 3 で取りまとめた変動幅を調査結果評価の参考にしたい。この変動幅は、毎年測定データが得られる度に、適宜見直しを図っていくことも必要であると考えられる。

#### 4. まとめ

以上のように、今回 Cs-137 濃度の長期的な経年変化をみることで、Cs-137 の環境試料に対する動態の違いにより、チェルノブイリ事故時に高濃度の Cs-137 が検出され、その後徐々に低下している環境試料と原子力事故後数年のみ Cs-137 が検出された環境試料があることが判明した。また、海水試料については、東電事故の影響と考えられる濃度の上昇が認められた。各環境試料の濃縮係数の違いにより、同じ魚類や海藻類の中でも異なる蓄積傾向を示すことや魚類、海藻類、無脊椎動物という各試料間においても濃度に差が生じていることが明らかとなった。

各試料における変動幅についても把握

することができたので、測定データを適正に評価していきたい。今後も Cs-137 濃度の動向に着目しながら、監視調査を継続して行っていくこととしたい。

#### 【参考文献】

- 1) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation : Twenty Years of Experience, Radiological Assessment Reports Series, International Atomic Energy Agency, (2006)
- 2) 外崎真理雄, 金子真司, 清野嘉之, 木材情報, 249(2) (2012) 1.
- 3) 平成 28 年度原子力施設等防災対策等委託費(海洋環境における放射能調査及び総合評価)事業 調査報告書, 公益財団法人海洋生物環境研究所, 2017
- 4) 青山道夫, 中野英之, 本井達夫, 津旨大輔, 浜島靖典, 深澤理郎, 河野健, 村田昌彦, 内田裕, 熊本雄一郎, ブルーアースシンポジウム要旨集, 11-24 (2011)
- 5) 立田穰, 御園生淳, 電力中央研究所研究報告書 U90040, 1990
- 6) Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, Technical Reports Series No.422, IAEA, (2004)
- 7) 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果, 文部科学省・農林水産省, 2012