

(資料-2)

水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究
(令和3年～令和5年度分担研究報告書)

厚生労働行政推進調査事業費補助金（食品の安全確保推進研究事業）
令和3年度分担研究報告

水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

分担研究者 青野 辰雄（量子科学技術研究開発機構）

研究代表者 明石 真言（東京医療保健大学）

研究要旨

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故によって大量の放射性物質が施設外の環境へ放出されたことにより、食品の摂取による内部被ばくの影響が懸念された。このため、厚生労働省は、平成 24 年 4 月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを 1 mSv/年とし、新たな基準値を適用した。新たな基準は、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム-238 (^{238}Pu)、プルトニウム-239 (^{239}Pu)、プルトニウム-240 (^{240}Pu)及びプルトニウム-241 (^{241}Pu)については、環境モニタリングや環境移行パラメータにより放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量を考慮している。また放射性 Cs 以外の ^{90}Sr などに対する内部被ばくの不安は依然として大きいことから、食品中の放射性核種濃度を測定することにより、安全が担保されていることを検証することが必要不可欠である。今年度は福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、福島沖で採取され、県内に流通する魚類 3 種を入手し、個体ごとに部位別の分別を行い、試料減容のために乾燥と灰化を行い、測定試料の作成を行った。魚類 3 種の可食部位中のセシウム-134 (^{134}Cs)濃度は検出下限値以下で、セシウム-137 (^{137}Cs)濃度は、福島県が実施しているモニタリングの検出下限値の 1 Bq/kg-生重量よりも十分に低い濃度であった。個体間による大きな濃度のばらつきも認められなかった。魚類を採取した海域の海水中の放射性 Cs を測定した結果、 ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度も福島原発事故以前に近い濃度(1-7 mBq/L) であった。この結果を用いて、すでに報告されている海水と魚類の濃縮比(CR)から魚類中の推定した ^{137}Cs 濃度範囲は、0.5-0.9 Bq/kg-生重量で、概ね一致しており、魚類中の ^{137}Cs 濃度範囲は生息環境の海水中濃度を反映していることが明らかとなった。

A. 研究目的

新たな基準は、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム-238 (^{238}Pu)、プルトニウム-239 (^{239}Pu)、プルトニウム-240 (^{240}Pu)及びプルトニウム-241 (^{241}Pu)については、放射性Csとの濃度比を推定することにより、その線量を考慮している。そこで、本研究は食品中の放射性物質の基準値の妥当性を確認するために実施するものである。福島沖の海産物の放射性物質濃度のモニタリングでは、95%以上の水産物で放射性Cs濃度が検出下限値(約10Bq/kg-生重量)以下となっている¹⁾。今年度は福島第一原発事故から約11年が経過した福島県沖で漁獲された食品として流通する魚類について、部位毎の放射性核種の濃度比を明らかにすることを目的に、「水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究」を実施した。これまで、魚類中の可食部中の ^{90}Sr やPu同位体の濃度に関して調査を行ってきた。しかし、 ^{90}Sr やPu同位体の測定を行うためには、灰試料重量として約20-40gが必要で、個体毎の定量はできない。そこで、魚種毎の部位ごとに定量が可能となる試料の収集も行った。

B. 研究方法

1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

1.1. 調査協力と水産物試料入手

福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、情報収集²⁾を行い、令和3年10月6日から29日に福島相双海域で採取し、市場に流通する魚介類3種(マダイ、スズキ及びイシガレイ)を本研究の対象とした。魚種、体長や重量などの試料に関する情報を表1に示す。調査を行った3種では、同種間で個体ごとの体長や重量に大きな差がでないように試料を選別した。また、海水中の放射性Cs濃度についても調査するために、採水を行なった。

1.2. γ 核種の濃度の測定

魚類は、個体毎のばらつきを確認するために、体液等のドリップによる損失が少ないように速やかに、体長や重量等の計量を行い、可食部、内臓部、アラ部(可食部と内臓部以外)に分別処理を行った。110度で恒量になるまで

乾燥し、450度で灰化を行なった。この灰試料をU8容器またはチューブに詰めて、Canberra社製低バックグラウンドGe半導体検出器(GX2019)等を用いて、24時間以上の γ 核種の測定を行った。Ge半導体検出器は、日本アイソトープ協会製の標準体積線源(5~50mm、9.5~95g、アルミナ)を用いて効率曲線を作成したものをを用いた。 ^{134}Cs (604.7 keV 及び 796 keVの加重平均値)、 ^{137}Cs (661.7 keV)及びカリウム-40 (^{40}K)(1460 keV)の定量結果を記録した。 ^{134}Cs は複数のエネルギーで検出されるために、これまでガンマ線放出率が最も高い604.7 keV(97.62%)の定量結果を用いてきた。しかし、796keVのガンマ線放出率(85.5%)も他のガンマ線エネルギーより高いことから、この2つのエネルギーで検出された定量結果を加重平均したものが望ましいため³⁾、従来と同様に、この計算方法を用いた。なお ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 及び ^{40}K 以外の γ 核種は計測されなかった。試料重量が少ない場合は検出下限値が高くなるが、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の検出下限値は、概ね10 mBq/kg-生重量であった。海水試料は孔径0.45 μm のフィルターを用いてろ過を行い、溶存態放射性Csはリンモリブデン酸アンモニウム(AMP)法⁴⁾を用いて処理を行い、ゲルマニウム半導体検出器で測定を行った。検出下限値は、概ね1 mBq/Lであった。

C. 研究結果

1. 水産物及び海水中の放射性物質の濃度測定

令和3年10月に入手した水産物中の放射性Cs及び ^{40}K 濃度測定の結果を表2と表3に示した。各部位の平均値は、検出された値と部位の重量を用いて加重平均したものであり、魚類全身(1個体)の濃度も同様に計算をして求めた。マダイ、スズキ及びイシガレイから ^{134}Cs は検出されなかった。マダラ、スズキ及びイシガレイの可食部の ^{137}Cs 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ0.44 Bq/kg-生重量(0.24-0.67 Bq/kg-生重量)、0.74 Bq/kg-生重量(0.56-0.95 Bq/kg-生重量)及び0.37 Bq/kg-生重量(0.22-0.63 Bq/kg-生重量)で、またマダイ、スズキ及びイシガレイの可食部の ^{40}K 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ148 Bq/kg-生重量(141-159 Bq/kg-生重量)、121 Bq/kg-生重量(113-125 Bq/kg-生重量)及び140 Bq/kg-生重量(130-149 Bq/kg-生重量)であった。これらの値は、海洋環境における放射能調査及び総合評価事業で令和3年9月と令和4

年1月に福島沖で採取された魚類の濃度と近似していた⁵⁾。

魚類が生息する海水中の放射性Cs濃度の結果を表4に示した。海水中の¹³⁴Cs濃度は検出下限値以下であった。¹³⁷Cs濃度は、10-18 mBq/Lであった。請戸漁港と富岡漁港は請戸川と富岡川の河口に位置しており、河川水の流入による影響と考えられる。なお、福島第一原発近傍(半径約10km圏)における表層海水中の¹³⁷Cs濃度は、1.9-2.6 mBq/L以上であり、⁹⁰Sr濃度は0.6-0.8 mBq/L以下であり⁷⁾、今回の結果は平常時レベルと捉えることができる。

D. 考察

1. 福島沖海産生物中の放射性核種濃度について

令和3年10月に福島相双海域で採取したマダイ、スズキ、及びイシガレイから¹³⁴Csは検出されなかった。福島原発事故時に環境へ放出された¹³⁴Csと¹³⁷Csの放射能比は概ね1:1であったことが報告されている⁹⁾が、¹³⁴Csと¹³⁷Csの物理学的半減期はそれぞれ約2年と30年であり、福島原発事故から約11年を経過した令和4年1月の時点では、計算上の¹³⁴Cs/¹³⁷Cs放射能比は約0.06となる。試料中の放射性Cs濃度は低いことが予想されたため、検出下限値を下げるために、可食部、内臓部やアラ部の試料を灰にすることで重量を約数%まで減容した。このいわゆる濃縮した試料中から検出された¹³⁷Cs濃度に、¹³⁴Cs/¹³⁷Cs放射能比を用いて計算した¹³⁴Csの推定濃度は検出下限値に相当した。つまり、今回得られた¹³⁷Cs濃度(数十mBq/kg-生重量)の傾向が続く場合、さらに試料の前処理や濃縮操作を行わない限り¹³⁴Csを正確に検出することは難しいことが考えられる。

魚の部位ごとの重量と¹³⁷Cs濃度の比較を行った。個体重量に対する部位ごとの重量割合は、キアコウを除き可食部が40-50%、アラ部が30-40%で、内臓部が10-30%であった。魚全体に対する部位ごとの¹³⁷Cs存在量比は、可食部が50-60%、アラ部が20-30%で、内臓部が15-25%であった。つまりアラ部は主として骨などの硬組織が含まれているために魚全体に占める重量の割合は約50%であるが、体液など水分量が他の2つの組織に比べて低いために、アラ部中の¹³⁷Cs濃度が低いことが考えられる。魚全身中の¹³⁷Cs濃度は、可食部中の濃度と比べ

て20-30%ほど低い値であった。これらの傾向は⁴⁰Kの場合も同じで、部位中CsおよびK濃度は体液等に影響していることが考えられる。

魚類を採取した海域に近い沿岸における海水中の放射性Cs濃度は、¹³⁴Cs濃度は検出下限値以下、¹³⁷Cs濃度は10-18 mBq/Lであった。海産魚類のCsの濃縮比(CR)⁵⁰⁾を用いて、海水中の¹³⁷Cs濃度から魚類中の¹³⁷Cs濃度を推定すると、0.5-0.9 Bq/Kg-生重量と推定される。今回、分析した魚類中の¹³⁷Cs濃度範囲以下であり、概ね魚類中の放射性Cs濃度は環境水濃度を反映していたことが考えられる。また海水中の⁹⁰Sr濃度は0.6-0.9 mBq/Lであった。海産魚類のSrの濃縮比(CR)³¹⁰⁾を用いて、海水中の⁹⁰Sr濃度から魚類可食部中の⁹⁰Sr濃度を推定すると、1.8-2.7 mBq/Kg-生重量と推定される。この推定値は、文部科学省放射能測定法シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」における検出下限値の6 mBq/Kg-生重量以下となり、概ね魚類中の⁹⁰Sr濃度も環境水濃度を反映していたことが考えられる。

E. 結論

福島相双海域で採取し、市場流通する魚介類中の部位別の放射性Csと⁴⁰Kを定量した結果、魚類可食部で¹³⁴Csは検出下限値以下で、¹³⁷Cs濃度範囲は検出下限値以下から1.0 Bq/kg-生重量であった。魚介類が生息する福島沿岸における海水中の放射性Csと⁹⁰Sr濃度から海洋生物への濃縮比を用いて魚類中の放射性Csと⁹⁰Sr濃度の推定を行ったところ、¹³⁷Csおよび⁹⁰Sr濃度は環境水を反映していることが確認された。海産魚類(全体)中の¹³⁷Cs濃度に対する⁹⁰Sr濃度の割合は、5%程度であり、食品の基準値の算出基準の考え方¹⁴⁾に対して影響を与えないものであることが確認できた。さらに魚類では内臓部に濃縮されやすいPuについては、魚類内臓部中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の測定を行い、その結果より魚類全身中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度は、検出下限値以下またはそれに近似した濃度であることを明らかにした。

引用文献

- 1) 福島県: 海産魚介類に関する出荷制限等の措置一欄 <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-suisanka-monita-top.html> (2022年3月アクセス)

- 2) 魚介類の放射線モニタリング検査に関する結果:
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/monitoring.html> (2022 年 3 月アクセス)
- 3) 米沢 伸四郎 他:Ge 検出器- γ 線スペクトロメトリーによる玄米認証標準物質中 ^{134}Cs , ^{137}Cs 及び ^{40}K の分析-第 1 部 放射能濃度の定量- 分析化学 65、645-655、2016.
- 4) Aoyama, M. and Hirose, K. (2008) Radioact. in the Environ. 11, 137-162.
- 5) 公益財団法人海洋生物環境研究所、令和 3 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、令和 4 年 3 月.
- 6) 小森 昌史 他: $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を指標とした福島第一原子力発電所事故に由来する放射性核種の放出原子炉別汚染評価、BUNSEKI KAGAKU 62、475-483、2013.
- 7) 立田 穰、海産生物への放射性セシウム移行に関するモデル解析について、Isotope News No.719、32-36、2014.
- 8) IAEA, Technical Reports Series No.422: Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, p.36, 2004
- 9) 厚生労働行政推進調査事業費補助金(食品の安全確保推進研究事業)食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響と評価手法に関する研究、平成 27-29 年度 総合研究報告書、明石 真言(量子科学技術研究開発機構)、2018.
- 10) 別冊:食品の基準値の導出について、部会報告書(案)「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会資料(平成23年12月22日開催)、2011.
- 11) Jian Zheng et al., Release of Plutonium Isotopes into the Environment from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: What Is Known and What Needs to Be Known, Environ. Sci. Technol. 47, 17, 9584-9595, 2013.
- 12) 原子力環境整備センター、環境パラメータシリーズ 6「海洋生物への放射性物質の移行」、1965.

F. 健康危険情報

なし

G.研究業績

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1 福島相双海域で採取した魚介類のリスト

魚 種	番 号			個 体	部位別生重量		
		全長	体長	生重量	可食部	アラ部	内臓部
		cm	cm	kg	kg	kg	kg
マダイ	採取日 令和3年10月6日						
	RSB-1	46.0	42.0	1.19	0.51	0.61	0.07
	RSB-2	49.0	45.0	1.19	0.52	0.58	0.09
	RSB-3	48.0	44.0	1.49	0.63	0.73	0.13
	RSB-4	46.0	42.0	1.15	0.49	0.60	0.07
	RSB-5	47.0	42.5	1.39	0.61	0.68	0.10
スズキ	採取日 令和3年10月6日						
	SB-1	56.5	48.0	1.56	0.68	0.71	0.16
	SB-2	51.0	44.0	1.33	0.59	0.63	0.11
	SB-3	52.0	45.0	1.44	0.69	0.66	0.09
	SB-4	44.5	39.0	1.53	0.76	0.62	0.15
	SB-5	49.0	41.5	1.16	0.52	0.52	0.12
イシガレイ	採取日 令和3年10月29日						
	SF-1	43.0	37.0	1.47	0.84	0.50	0.13
	SF-2	36.0	30.0	1.00	0.52	0.38	0.11
	SF-3	37.0	32.0	1.48	0.60	0.73	0.15
	SF-4	40.5	35.5	1.57	0.88	0.51	0.18
	SF-5	42.5	37.5	1.26	0.65	0.49	0.12

表2 福島相双海域で採取した魚介類中のCs-137濃度

魚 種	番 号	全身 ¹⁾			可食部			アラ部			内臓部		
		Bq/kg-生重量	err		Bq/kg-生重量	err		Bq/kg-生重量	err		Bq/kg-生重量	err	
マダイ	RSB-1	0.24	±	0.02	0.31	±	0.02	0.17	±	0.01	0.39	±	0.04
	RSB-2	0.20	±	0.05	0.24	±	0.03	0.16	±	0.02	0.29	±	0.37
	RSB-3	0.27	±	0.02	0.33	±	0.02	0.21	±	0.02	0.37	±	0.03
	RSB-4	0.51	±	0.03	0.67	±	0.04	0.38	±	0.02	0.50	±	0.07
	RSB-5	0.45	±	0.03	0.64	±	0.03	0.30	±	0.02	0.35	±	0.05
	平均値 ²⁾	0.33	±	0.03	0.44	±	0.03	0.24	±	0.02	0.37	±	0.11
スズキ	SB-1	0.39	±	0.02	0.56	±	0.03	0.27	±	0.02	0.20	±	0.02
	SB-2	0.64	±	0.03	0.89	±	0.04	0.47	±	0.03	0.30	±	0.04
	SB-3	0.48	±	0.02	0.65	±	0.02	0.33	±	0.01	0.29	±	0.03
	SB-4	0.73	±	0.02	0.95	±	0.02	0.52	±	0.02	0.42	±	0.02
	SB-5	0.43	±	0.03	0.62	±	0.04	0.28	±	0.02	0.21	±	0.04
	平均値 ²⁾	0.52	±	0.02	0.74	±	0.03	0.35	±	0.02	0.28	±	0.03
イシガレイ	SF-1	0.19	±	0.01	0.22	±	0.01	0.12	±	0.02	0.19	±	0.02
	SF-2	0.23	±	0.02	0.29	±	0.02	0.16	±	0.01	0.17	±	0.02
	SF-3	0.32	±	0.02	0.43	±	0.03	0.23	±	0.01	0.32	±	0.03
	SF-4	0.49	±	0.02	0.63	±	0.02	0.34	±	0.01	0.17	±	0.02
	SF-5	0.26	±	0.01	0.34	±	0.01	0.16	±	0.01	0.17	±	0.03
	平均値 ²⁾	0.30	±	0.02	0.39	±	0.02	0.21	±	0.01	0.21	±	0.02

1) 全身中のCs-137濃度は、可食部、アラ部および内臓部中のCs-137合計量と個別重量から計算した。

2) 平均値は、全身中のCs-137濃度と個体重量のから加重平均により計算した。

表3 福島相双海域で採取した魚介類中の⁴⁰K濃度

魚 種	番号	全身 ¹⁾			可食部			アラ部			内臓部		
		Bq/kg-生重量		err	Bq/kg-生重量		err	Bq/kg-生重量		err	Bq/kg-生重量		err
マダイ	RSB-1	110.5	±	0.9	148.9	±	1.2	81.2	±	0.6	83.7	±	1.4
	RSB-2	118.8	±	1.3	158.5	±	1.7	88.6	±	0.9	82.4	±	2.2
	RSB-3	107.4	±	1.2	145.4	±	1.4	78.9	±	1.0	82.9	±	1.1
	RSB-4	110.8	±	1.2	141.7	±	1.5	86.5	±	0.8	104.4	±	1.6
	RSB-5	114.4	±	1.2	145.0	±	1.5	91.2	±	0.8	87.2	±	1.9
	平均値 ²⁾	112.2	±	1.2	147.8	±	1.5	85.1	±	0.8	87.1	±	1.6
スズキ	SB-1	88.2	±	1.0	116.9	±	1.2	70.5	±	0.9	44.9	±	0.7
	SB-2	103.4	±	1.2	113.2	±	1.3	66.0	±	1.2	51.9	±	1.2
	SB-3	96.1	±	0.8	124.3	±	1.0	72.9	±	0.6	53.1	±	1.0
	SB-4	99.9	±	0.9	125.1	±	1.0	72.4	±	0.7	84.0	±	0.9
	SB-5	87.7	±	1.2	121.7	±	1.5	65.1	±	0.8	36.8	±	1.0
	平均値 ²⁾	100.0	±	1.0	120.5	±	1.2	69.6	±	0.9	55.0	±	0.9
イシガレイ	SF-1	126.9	±	1.0	149.4	±	1.0	96.4	±	0.9	96.6	±	1.1
	SF-2	117.0	±	1.0	139.8	±	1.2	90.5	±	0.7	98.2	±	1.0
	SF-3	94.6	±	0.7	130.1	±	0.7	68.2	±	0.5	81.4	±	1.2
	SF-4	121.2	±	0.9	149.0	±	1.0	93.3	±	0.6	62.3	±	0.8
	SF-5	121.7	±	0.8	149.4	±	0.8	88.3	±	0.6	107.9	±	1.2
	平均値 ²⁾	116.1	±	0.8	140.1	±	1.1	81.0	±	0.7	74.1	±	1.0

1) 全身中の⁴⁰K濃度は、可食部、アラ部および内臓部中の⁴⁰K合計量と個別重量から計算をした。2) 平均値は、全身または各部中の⁴⁰K濃度と個別重量から加重平均により計算をした。

表4 福島沿岸における海水中の放射性Cs濃度

試料番号	採取点	位置 北緯	東経	採取日時	Cs-134 ¹⁾	Cs-137	mBq/L
1	NO-1 水深 5m	37° 30′	141° 30′	令和3年10月20日	検出下限値以下	1.14 ±	0.09
2	NO-1 水深 50m	37° 30′	141° 30′	令和3年10月20日	検出下限値以下	1.13 ±	0.09
3	NO-1 水深 126m	37° 30′	141° 30′	令和3年10月20日	検出下限値以下	1.50 ±	0.11
4	福島原発近傍沖	37° 26′	141° 03′	令和3年5月7日	検出下限値以下	4.87 ±	0.35
5	福島原発近傍沖	37° 26′	141° 03′	令和3年6月9日	検出下限値以下	2.93 ±	0.28
6	福島原発近傍沖	37° 26′	141° 03′	令和3年9月15日	検出下限値以下	2.50 ±	0.36
7	福島原発近傍沖	37° 26′	141° 03′	令和3年10月28日	検出下限値以下	6.91 ±	0.40
8	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年4月12日	検出下限値以下	2.06 ±	0.24
9	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年5月7日	検出下限値以下	2.97 ±	0.27
10	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年6月7日	検出下限値以下	2.56 ±	0.28
11	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年7月2日	検出下限値以下	2.99 ±	0.35
12	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年8月20日	検出下限値以下	2.38 ±	0.32
13	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年9月3日	検出下限値以下	1.72 ±	0.29
14	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年10月8日	検出下限値以下	6.68 ±	0.39
15	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年11月5日	検出下限値以下	3.59 ±	0.37
16	いわき市四倉沖	37° 03′	141° 01′	令和3年12月2日	検出下限値以下	2.31 ±	0.37

1) ¹³⁴Csの検出下限値は、1.5-1.9 mBq/Lである。

厚生労働行政推進調査事業費補助金（食品の安全確保推進研究事業）
令和4年度分担研究報告

水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

分担研究者 青野 辰雄（量子科学技術研究開発機構）

研究代表者 明石 真言（東京医療保健大学）

研究要旨

平成23年3月に発生した東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故によって大量の放射性物質が施設外の環境へ放出されたことにより、食品の摂取による内部被ばくの影響が懸念された。このため、厚生労働省は、平成24年4月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを1 mSv/年とし、新たな基準値を適用した。ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム (Pu)については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、これらの線量を考慮している。その濃度比は、環境モニタリングや環境移行パラメータにより推定されているが、放射性 Cs 以外の ^{90}Sr などに対する内部被ばくの不安は依然として大きいことから、食品中の放射性物質濃度を測定することにより、安全が担保されていることの検証が必要不可欠である。令和4年度は福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、福島沖で採取され、県内に流通する魚類2種を入手し、個体部位毎の分別を行い、試料減容を行い、測定試料の作成を行った。魚類可食部位中のセシウム-134 (^{134}Cs)濃度は検出下限値以下で、セシウム-137 (^{137}Cs)濃度は、福島県が実施しているモニタリングの検出下限値の10 Bq/kg-生重量よりも1桁小さい濃度であった。魚類を採取した海域の海水中の放射性 Cs 濃度は、 ^{134}Cs 濃度が検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度も福島原発事故以前に近い濃度であった。この結果を用いて、すでに報告されている海水と魚類の濃縮比(CR)から魚類中の推定した ^{137}Cs 濃度範囲は、0.5-0.9 Bq/Kg-生重量で、実測値と概ね一致した。魚類中 ^{137}Cs 濃度範囲は生息環境の海水中濃度を反映していることが明らかとなった。カルシウム濃度が高い部位に濃縮しやすい ^{90}Sr は魚類アラ部を、Pu 同位体は濃縮されやすい内臓部について測定を行ったがいずれも検出下限値以下であった。魚類の生息環境から濃縮比を用いて推定する魚類中の ^{90}Sr や $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は実測できない検出下限値で、海水魚中の放射性物質濃度はその生息環境を反映していることが明らかとなった。海産魚類(全体)中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の割合は、1%程度であり、食品の放射性物質の基準値の算出基準の考え方に対して ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が影響を与えないことが確認できた。

A. 研究目的

食品中の放射線物質の基準値に関して、厚生労働省は、平成 24 年 4 月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを 1 mSv/年とし、新たな基準値を適用した。ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム (Pu)については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、これらの線量を考慮している。その濃度比は、環境モニタリングや環境移行パラメータにより推定されているが、放射性 Cs 以外の ^{90}Sr などに対する内部被ばくの不安は依然として大きいことから、食品中の放射性物質濃度を測定することにより、安全が担保されていることの検証が必要不可欠である。福島沖の海産物の放射性物質濃度のモニタリングでは、97% 以上の水産物で放射性 Cs 濃度が検出下限値(約 10 Bq/kg-生重量)以下となっている^{1,2)}。今年度は FDNPS 事故から約 11 年が経過した福島県沖で漁獲された食品として流通する魚類について、部位毎の放射性核種の濃度比を明らかにすることを目的に、「水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究」を実施した。魚類中の ^{90}Sr や Pu 同位体の濃度に関しては、極めて濃度が低いため、個体毎の定量はできない。分析には灰試料重量として約 20-40 g が必要であるため、魚種毎の放射性物質が濃縮されやすい部位ごとに定量が可能となる試料重量を確保し、それぞれの部位の分析を行い、魚類全体の放射性物質濃度の推定を行なった。

B. 研究方法

1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

1.1. 調査協力と水産物試料入手

福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、情報収集²⁾を行い、令和 4 年 12 月 14 日に福島相双海域で採取し、市場に流通する魚介類 2 種(スズキ及びブリ(小型))を本研究の対象とした。魚種、体長や重量などの試料に関する情報を表 1 に示す。調査を行った 2 種では、同種間で個体ごとの体長や重量に大きな差がでないように試料を選別した。また、海水中の放射性 Cs 濃度についても調査するために、採水を行なった。

1.2. γ 核種の濃度の測定

魚類は、個体毎のばらつきを確認するために、体液等のドリップによる損失が少ないように速やかに、体長や重量等の計量を行い、可食部、内臓部、アラ部(可食部と内臓部以外)

に分別処理を行った。110 度で恒量になるまで乾燥し、450 度で灰化を行なった。この灰試料を U8 容器またはチューブに詰めて、Canberra 社製低バックグラウンド Ge 半導体検出器(GX2019)等を用いて、24 時間以上の γ 核種の測定を行った。Ge 半導体検出器は、日本アイソトープ協会製の標準体積線源(5 - 50 mm、9.5 - 95 g、アルミナ)を用いて効率曲線を作成したものを用いた。 ^{134}Cs (604.7 keV)及び 796 keV の加重平均値)、 ^{137}Cs (661.7 keV)及びカリウム-40 (^{40}K)(1460 keV)の定量結果を記録した。 ^{134}Cs は複数のエネルギーで検出されるために、これまでガンマ線放出率が最も高い 604.7 keV (97.62 %)の定量結果を用いてきた。しかし、796keV のガンマ線放出率(85.5 %)も他のガンマ線エネルギーより高いことから、この 2 つのエネルギーで検出された定量結果を加重平均したものが望ましいため³⁾、従来と同様に、この計算方法を用いた。なお ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 及び ^{40}K 以外の γ 核種は計測されなかった。試料重量が少ない場合は検出下限値が高くなるが、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の検出下限値は、概ね 10 mBq/kg-生重量であった。海水試料は孔径 0.45 μm のフィルターを用いてろ過を行い、溶存態放射性 Cs はリンモリブデン酸アンモニウム(AMP)法⁴⁾を用いて処理を行い、ゲルマニウム半導体検出器で測定を行った。検出下限値は、概ね 1 mBq/L であった。アラ部中の ^{90}Sr の分析は、令和 3 年に採取したイシガレイアラ部の生重量が約 1kg になるように複数個体の灰試料を合わせて一つの試料として、文部科学省放射能測定シリーズ No.2「放射性ストロンチウム分析法(平成 15 年改訂)」⁵⁾に従って行った。本法の検出下限値は 0.02Bq/kg-生重量であった。内蔵部中の $^{239+240}\text{Pu}$ の分析は、令和 3 に採取したイシガレイ内蔵部の生重量が約 0.7kg になるように複数個体の灰試料を合わせて一つの試料として、文部科学省放射能測定シリーズ No.12「プルトニウム分析法(平成 2 年改訂)」⁶⁾に従って行った。本法の検出下限値は 0.0008 Bq/kg-生重量であった。

C. 研究結果

1. 水産物及び海水中の放射性物質の濃度測定

令和 4 年 12 月に入手した水産物中の放射性 Cs 及び ^{40}K 濃度測定の結果を表 2 と表 3 に示した。各部位の平均値は、検出された値と部位の重量を用いて加重平均したものであり、魚類全身(1 個体)の濃度も同様に計算をして求めた。スズキ及びブリから ^{134}Cs は検出されなかった。スズキ及び

ブリの可食部の ^{137}Cs 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ 0.74 Bq/kg-生重量(0.56-0.95 Bq/kg-生重量)及び 0.37 Bq/kg-生重量(0.22-0.63 Bq/kg-生重量)で、またスズキ及びブリの可食部の ^{40}K 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ 148 Bq/kg-生重量(142-159 Bq/kg-生重量)及び 121 Bq/kg-生重量(113-125 Bq/kg-生重量)であった。魚類可食部の ^{137}Cs 濃度は、食品中放射性物質濃度基準値の 100 Bq/kg-生重量よりも低く、福島県のモニタリング調査の検出下限値(10 Bq/kg-生重量)よりも低い結果であった。また海洋環境における放射能調査及び総合評価事業で令和4年9月と令和5年1月に福島沖で採取された魚類の濃度と近似していた⁷⁾。

魚類が生息する福島沿岸の海水中の放射性 Cs 濃度の結果を図1に示した。海水中の ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下であった。 ^{137}Cs 濃度範囲は、1-4 mBq/L であった。なお、福島第一原発近傍(半径約 10km 圏)における表層海水中の ^{137}Cs 濃度は、10-20 mBq/L であり、 ^{90}Sr 濃度は 0.6-0.8 mBq/L 以下であった。⁸⁾ 海水中の ^{134}Cs 濃度は、福島第一原発近傍に比べて低い濃度であった。

D. 考察

1. 福島沖海産生物中の放射性核種濃度について

令和4年12月に福島相双海域で採取したスズキ及びブリから ^{134}Cs は検出されなかった。福島原発事故時に環境へ放出された ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比は概ね 1:1 であったことが報告されている⁹⁾が、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の物理学的半減期はそれぞれ約2年と30年であり、FDNPS 事故から約12年を経過した令和5年1月の時点では、理論上の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は約 0.05 となる。試料中の放射性 Cs 濃度は低いことが予想されたため、検出下限値を下げるために、可食部、内臓部やアラ部の試料を灰にすることで重量を数%まで減容した。このいわゆる濃縮した試料中から検出された ^{137}Cs 濃度に、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を用いて計算した ^{134}Cs の推定濃度は検出下限値に相当した。つまり、今回得られた ^{137}Cs 濃度(数十 mBq/kg-生重量)の傾向が続く場合、さらに試料の前処理や濃縮操作を行わない限り、 ^{134}Cs を正確に検出することは難しいことが考えられる。

魚の部位ごとの重量と ^{137}Cs 濃度の比較を行った。個体重量に対する部位ごとの重量割合は、可食部が 40-49%、アラ部が 43-47%で、内臓部が 8-15%であった。魚全体に対する部位ごとの ^{137}Cs 存在量比は、可食部が 44-51%、アラ部が

1-2%で、内臓部が 16-31%であった。つまりアラ部は主として骨などの硬組織が含まれているために魚全体に占める重量の割合は約 50%であるが、体液など水分量が他の2つの組織に比べて低いために、アラ部中の ^{137}Cs 濃度が低いことが考えられる。魚全身中の ^{137}Cs 濃度は、可食部中の濃度に比べて 20-30%ほど低い値であった。これらの傾向は ^{40}K の場合も同じで、部位中 Cs および K 濃度は体液等に影響していることが考えられる。

魚類を採取した海域に近い沿岸における海水中の放射性 Cs 濃度は、 ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下、 ^{137}Cs 濃度は 1.8-38 mBq/L であった。海産魚類の Cs の濃縮比(CR)⁵⁰⁾を用いて、海水中の ^{137}Cs 濃度から魚類中の ^{137}Cs 濃度を推定すると、0.5-0.9 Bq/kg-生重量と推定される。今回、分析した魚類中の ^{137}Cs 濃度範囲以下であり、概ね魚類中の放射性 Cs 濃度は環境水濃度を反映していたことが明らかとなった。 ^{90}Sr はカルシウム(Ca)の含有量が多い部位に濃縮されやすい。そのため、アラ部中の ^{90}Sr 濃度の分析を行ったが、検出下限値(0.02 Bq/kg-生重量)以下であった。また海水中の ^{90}Sr 濃度は 0.5-0.9 mBq/L であった。海産魚類の Sr 濃縮比(CR)³¹⁰⁾を用いて、海水中の ^{90}Sr 濃度から魚類可食部中の ^{90}Sr 濃度を推定すると、0.0025-0.0005 Bq/kg-生重量と推定される。この推定値は、文部科学省放射能測定法シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」⁵⁾における検出下限値の 0.02 mBq/kg-生重量以下となり、概ね魚類中の ^{90}Sr 濃度も環境水濃度を反映していたことが考えられる。 $^{239+240}\text{Pu}$ は生物の内蔵に濃縮されやすいことから内臓部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度分析を行ったところ、検出下限値(0.0008 Bq/kg-生重量)以下であった。海水中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度と海産魚類の Pu 濃縮比(CR)^{40 10, 12)}を用いて、魚類可食部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度を推定すると、0.002 Bq/kg-生重量と推定される。これは分析法の検出下限値は 0.0008 Bq/kg-生重量⁹⁾で、推定濃度が検出下限値以下であることから、概ね魚類中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度も環境水濃度を反映していたことが考えられる。

E. 結論

福島相双海域で採取し、市場流通する魚介類中の部位別の放射性 Cs と ^{40}K を定量した結果、魚類可食部で ^{134}Cs は検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度範囲は 1.8-3.3 Bq/kg-生重量であった。魚介類が生息する福島沿岸における海水中の放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度から海洋生物への濃縮比を

用いて魚類中の放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の推定を行った。放射性 Cs は概ね同じ濃度範囲で、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ は実測できない検出下限値以下であった。つまり魚類中のこれら放射性物質濃度は環境水を反映していることが確認された。海産魚類(全体)中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の割合は、1%程度であり、食品の基準値の算出基準の考え方¹²⁾に対して影響を与えないものであることが確認できた。

引用文献

- 1) 福島県: 食品に関する安全・安心確保
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/m4-2.html>
(2023 年 3 月アクセス)
- 2) 福島県の水産物の緊急時モニタリング検査結果について: <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-suisanka-monita-top.html> (2023 年 3 月アクセス)
- 3) 米沢 伸四郎 他: Ge 検出器- γ 線スペクトロメトリーによる玄米認証標準物質中 ^{134}Cs , ^{137}Cs 及び ^{40}K の分析-第 1 部 放射能濃度の定量- 分析化学 65、645-655、2016.
- 4) Aoyama, M. and Hirose, K. (2008) Radioact. in the Environ. 11, 137-162.
- 5) 文部科学省、放射能測定シリーズ No.2「放射性ストロンチウム分析法(平成 15 年改訂)」
- 6) 文部科学省、放射能測定シリーズ No.12「プルトニウム分析法(平成 2 年改訂)」
- 7) 公益財団法人海洋生物環境研究所、令和 3 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、令和 4 年 3 月.
- 8) TEPCO、福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の分析結果、
<https://www.tepco.co.jp/decommission/data/analysis/index-j.html>. (2023 年 3 月アクセス)
- 9) 小森 昌史 他: $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を指標とした福島第一原子力発電所事故に由来する放射性核種の放出原子炉別汚染評価、BUNSEKI KAGAKU 62、475-483、2013.
- 10) IAEA, Technical Reports Series No.422: Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, p.36, 2004
- 11) 厚生労働行政推進調査事業費補助金(食品の安全確保推進研究事業)食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響と評価手法に関する研究、平成 27-29 年度 総合研究報告書、明石 真言(量子科学技術研究開発機構)、2018.
- 12) 別冊:食品の基準値の導出について、部会報告書(案)「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会資料(平成23年12月22日開催)、2011.

F. 健康危険情報

なし

G. 研究業績

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1 福島相双海域で採取した魚介類のリスト

魚 種	番号	全長	体長	個体	部位別生重量		
				生重量	可食部	アラ部	内臓部
		cm	cm	kg	kg	kg	kg
スズキ	採取日	2022年12月14日					
	SB-1	46.0	42.0	1.59	0.63	0.74	0.22
	SB-2	49.0	45.0	1.78	0.67	0.80	0.31
	SB-3	48.0	44.0	1.70	0.76	0.68	0.26
	SB-4	46.0	42.0	1.66	0.69	0.68	0.29
	SB-5	47.0	42.5	1.67	0.68	0.79	0.21
ブリ(小型)	採取日	2022年12月14日					
	YT-1	56.5	48.0	1.88	0.87	0.85	0.16
	YT-2	51.0	44.0	1.82	0.84	0.88	0.10
	YT-3	52.0	45.0	1.93	0.89	0.89	0.15
	YT-4	44.5	39.0	2.05	0.94	0.95	0.15
	YT-5	49.0	41.5	1.77	0.92	0.71	0.15

表2 福島相双海域で採取した魚介類中のCs-137濃度

魚 種	番号	全身 ¹⁾	可食部	アラ部	内臓部
		Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量
スズキ	SB-1	0.41 ± 0.04	0.62 ± 0.03	0.31 ± 0.02	0.18 ± 0.02
	SB-2	0.32 ± 0.03	0.46 ± 0.02	0.20 ± 0.03	0.00 ± 0.00
	SB-3	0.74 ± 0.04	0.97 ± 0.03	0.49 ± 0.04	0.00 ± 0.00
	SB-4	0.31 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.28 ± 0.03	0.37 ± 0.04
	SB-5	0.34 ± 0.04	0.48 ± 0.03	0.26 ± 0.03	0.20 ± 0.03
	平均値 ²⁾	0.42 ± 0.04	0.64 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.26 ± 0.03
ブリ(小型)	FL-1	0.30 ± 0.04	0.38 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.62 ± 0.05
	FL-2	0.19 ± 0.04	0.20 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.00 ± 0.00
	FL-3	0.16 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.00 ± 0.00
	FL-4	0.19 ± 0.04	0.21 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.37 ± 0.04
	FL-5	0.18 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.35 ± 0.04
	平均値 ²⁾	0.20 ± 0.04	0.24 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.45 ± 0.03

1) 全身中のCs-137濃度は、可食部、アラ部および内臓部中のCs-137合計量と個別重量から計算した。

2) 平均値は、全身中のCs-137濃度と個体重量の加重平均により計算した。

表3 福島相双海域で採取した魚介類中の⁴⁰K濃度

魚 種	番号	全身 ¹⁾	可食部	アラ部	内臓部
		Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量
スズキ	SB-1	79.7 ± 1.6	108.0 ± 1.3	61.1 ± 0.9	61.4 ± 1.1
	SB-2	94.8 ± 1.6	144.7 ± 1.1	64.5 ± 1.2	64.0 ± 1.3
	SB-3	89.3 ± 1.6	116.1 ± 1.2	67.3 ± 1.2	68.8 ± 1.1
	SB-4	89.9 ± 1.6	115.6 ± 1.3	68.9 ± 1.3	77.3 ± 1.1
	SB-5	84.7 ± 1.9	110.7 ± 1.3	65.5 ± 1.2	72.6 ± 1.2
	平均値 ²⁾	87.7 ± 1.7	119.1 ± 1.3	65.3 ± 1.2	70.2 ± 1.2
ブリ(小型)	FL-1	96.0 ± 1.7	118.3 ± 1.2	75.6 ± 0.9	84.1 ± 1.6
	FL-2	100.9 ± 1.8	123.7 ± 0.9	80.1 ± 1.0	93.5 ± 2.1
	FL-3	103.7 ± 1.9	125.9 ± 1.2	81.7 ± 0.9	102.8 ± 2.4
	FL-4	97.9 ± 1.8	118.4 ± 0.9	77.9 ± 1.2	96.7 ± 1.7
	FL-5	95.0 ± 1.8	108.8 ± 1.1	79.0 ± 1.3	85.8 ± 1.6
	平均値 ²⁾	98.8 ± 1.8	118.9 ± 1.1	78.9 ± 1.0	92.5 ± 1.9

1) 全身中の⁴⁰K濃度は、可食部、アラ部および内臓部中の⁴⁰K合計量と個別重量から計算をした。2) 平均値は、全身または各部中の⁴⁰K濃度と個別重量から加重平均により計算をした。

表4 福島沖で採取した魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度から推定する魚類中の ^{90}Sr 濃度

魚類	採取域	採取日	試料重量 kg-生重量	アラ部中 ^{90}Sr 濃度 Bq/kg-生重量	検出下限値 Bq/kg-生重量
イシガレイ	相双海域	2021/10/29	0.99	ND	0.02

表5 福島沖で採取した魚類内蔵部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度から推定する魚類中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度

魚類	採取域	採取日	試料重量 kg-生重量	内蔵部中 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度 Bq/kg-生重量	検出下限値 Bq/kg-生重量
イシガレイ	相双海域	2021/10/29	0.65	ND	0.0008

表6 海水中の放射性物質濃度と濃縮係数から推定する魚類中の ^{90}Sr および $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度

放射性核種	海水濃度 m Bq/L	濃縮比	魚類中の推定放射性物質濃度 Bq/kg-生重量
^{90}Sr	0.51-0.9	5	0.0025-0.0005
$^{239+240}\text{Pu}$	0.005	40	0.0002

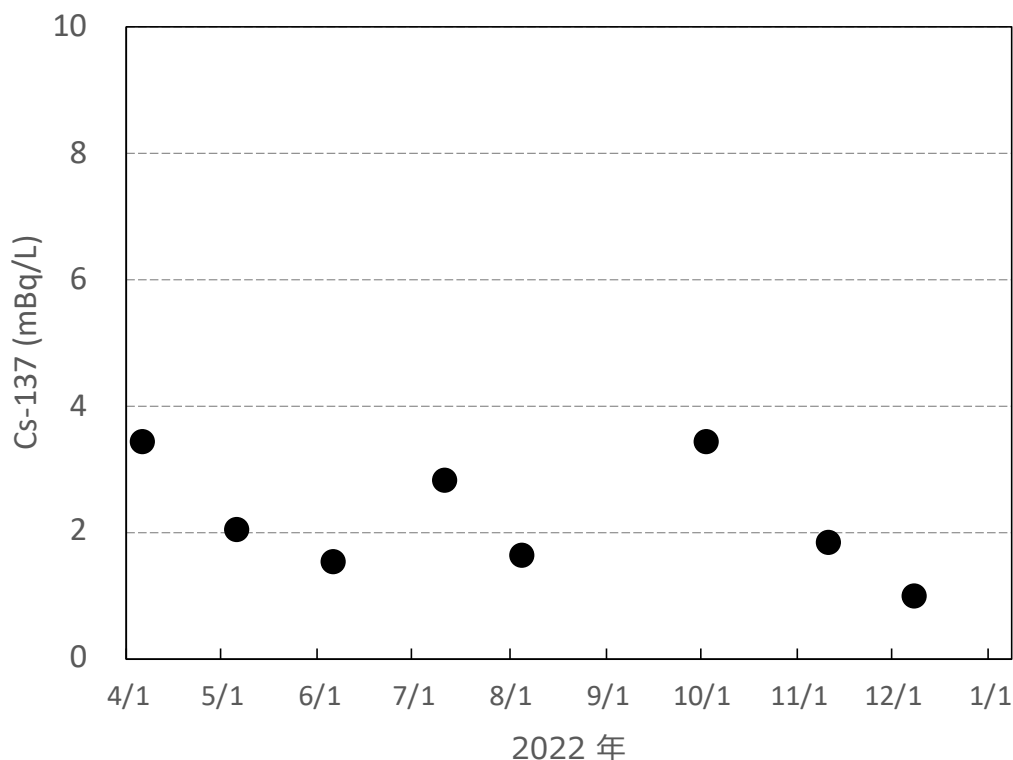


図1 福島小名浜沖における海水中の ^{137}Cs 濃度

厚生労働行政推進調査事業費補助金（食品の安全確保推進研究事業）
令和 5 年度分担研究報告

水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究

分担研究者 青野 辰雄（福島国際研究教育機構）

研究協力者 高田 兵衛（福島大学環境放射能研究所）

研究代表者 明石 真言（東京医療保健大学）

研究要旨

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故によって大量の放射性物質が施設外の環境へ放出されたことにより、食品の摂取による内部被ばくが懸念された。このため、厚生労働省は、平成 24 年 4 月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを 1 mSv/年とし、新たな基準値を適用した。放射性セシウム(Cs)濃度については、新たな基準値を設定し、ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム (Pu)については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、これらの線量を考慮している。その濃度比は、環境モニタリングや環境移行パラメータにより推定されているが、放射性 Cs 以外の ^{90}Sr などに対する内部被ばくの不安は依然として大きいことから、食品中の放射性物質濃度を測定することにより、安全が担保されていることの検証が必要不可欠である。令和 5 年度は福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、福島沖で採取され、県内に流通する水産物食品として海産魚類 2 種を入手し、個体部位毎の分別を行い、試料減容を行い、測定試料の作成を行った。魚類個体別の可食部位中のセシウム-134 (^{134}Cs)濃度は検出下限値(0.01 Bq/kg-生重量)以下で、セシウム-137 (^{137}Cs)濃度は、0.19 - 0.50 Bq/kg-生重量で、福島県が実施しているモニタリングの検出下限値の 10 Bq/kg-生重量よりも 2 桁以上小さい濃度であった。魚類を採取した海域の海水中の放射性 Cs 濃度は、 ^{134}Cs 濃度が検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度も福島原発事故以前に近い濃度であった。この結果を用いて、すでに報告されている海水中 ^{137}Cs 濃度と魚類の濃縮比(CR)から魚類中の推定した ^{137}Cs 濃度範囲は、0.08 - 0.22 Bq/Kg-生重量で、実測値の範囲と概ね一致した。魚類中 ^{137}Cs 濃度範囲は生息環境の海水中濃度を反映していることが明らかとなった。カルシウム濃度が高い部位に濃縮しやすい ^{90}Sr は魚類アラ部を、Pu 同位体は濃縮されやすい内臓部の測定を行ったが、魚類全身の濃度に換算すると、検出下限値以下あるいはそれに近似する濃度であった。魚類の生息環境水濃度と濃縮比を用いて推定する魚類中の ^{90}Sr や $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は実測できない検出下限値で、魚類中の放射性物質濃度はその生息環境の海水中放射性物質濃度を反映していた。魚類中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の割合は 5%以下であり、食品の放射性物質の基準値の算出基準の考え方に対して ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が影響を与えないことが確認できた。

A. 研究目的

食品中の放射性物質の基準値に関して、厚生労働省は、平成 24 年 4 月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを 1 mSv/年とし、新たな基準値を適用した。新たな基準は、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム(Pu)については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量を考慮している。そこで、本研究は食品中の放射性物質の基準値を策定する際に推定された放射性 Cs の線量への割合について、その妥当性を確認するために実施するものである。福島沖の海産物の放射性物質濃度のモニタリングでは、97%以上の水産物で放射性 Cs 濃度が検出下限値(約 10Bq/kg・生重量)以下となっている^{1,2)}。今年度は FDNPS 事故から約 12 年が経過した福島県沖で漁獲された水産物食品として流通する魚類について、部位毎の放射性核種の濃度比を明らかにすることを目的に、「水産物食品中の放射性物質濃度等に関する研究」を実施した。魚類中の ^{90}Sr や Pu 同位体の濃度に関しては、極めて濃度が低いため、個体毎の定量はできない。分析には灰試料重量として約 20-40 g が必要であるため、魚種毎の放射性物質が濃縮されやすい部位に絞り込み、定量が可能となる試料重量を確保の上、分析を行い、魚類の放射性物質濃度の推定や魚類中の放射性 Cs 濃度に対する他の放射性物質の濃度比について調査を行った。

B. 研究方法

1.水産物中の放射性物質の濃度測定

1.1. 調査協力と水産物試料入手

福島県水産海洋研究センターと相馬双葉漁業協同組合の協力を得て、情報収集²⁾を行い、令和 5 年 11 月 29 日に福島相双海域で採取し、市場に流通する魚類 2 種(スズキ及びヒラメ)を水産物食品として、本研究の対象とした。魚種、体長や重量などの入手した魚類に関する情報を表 1 に示す。調査を実施した魚類 2 種では、同魚種間で個体ごとの体長や重量に大きな差がでないように試料を選別した。また、魚類の生息環境の海水を採取し、放射性 Cs と ^{90}Sr 濃度の分析を行った。

1.2. γ 核種の放射性物質濃度の測定

魚類は、個体毎のばらつきを確認するために、体液等のドリップによる損失が少ないように速やかに、体長や重量等の計量を行い、可食部、内臓部、アラ部(可食部と内臓部以外)に分別処理を行った。真空凍結乾燥機で試料は恒量になるまで乾燥し、450 度から 550 度で灰化を行なった。この灰試料を U8 容器またはチューブに詰めて、Canberra 社製低バックグラウンド Ge 半導体検出器(GX2019)等を用いて、24 時間以上の γ 核種の測定を行った。Ge 半導体検出器は、日本アイソトープ協会製の標準体積線源(5 - 50 mm、9.5 - 95 g、アルミナ)を用いて効率曲線を作成したものをを用いた。 ^{134}Cs (604.7 keV 及び 796 keV の加重平均値)、 ^{137}Cs (661.7 keV)及びカリウム-40 (^{40}K) (1460 keV)の定量結果を記録した。 ^{134}Cs は複数のエネルギーで検出されるために、これまでガンマ線放出率が最も高い 604.7 keV (97.62 %)の定量結果を用いてきた。しかし、796keV のガンマ線放出率(85.5 %)も他のガンマ線エネルギーより高いことから、この2つのエネルギーで検出された定量結果を加重平均したものが望ましいため³⁾、従来と同様に、この計算方法を用いた。なお ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 及び ^{40}K 以外の γ 核種(マンガン-54、コバルト-60、ルテニウム-106 及びセリウム-144 等)は計測されなかった。試料重量が少ない場合は検出下限値が高くなるが、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の検出下限値は、概ね 0.01 Bq/kg・生重量であった。海水試料は孔径 0.45 μm のフィルターを用いてろ過を行い、溶存態放射性 Cs はリンモリブデン酸アンモニウム(AMP)法⁴⁾を用いて処理を行い、ゲルマニウム半導体検出器で測定を行った。検出下限値は、概ね 0.001 Bq/L であった。

1.3. γ 核種以外の放射性物質濃度の測定

魚類中の ^{90}Sr の分析は、令和 4 年度に採取したスズキとブリのアラ部および令和 5 年 11 月に採取したスズキとヒラメのアラ部の生重量が約 1kg になるように、同時期に採取した同魚種の複数個体の灰試料を合わせて一つの試料として、さらに海水中の ^{90}Sr は文部科学省放射能測定シリーズ No.2「放射性ストロンチウム分析法(平成 15 年改訂)」⁵⁾に従って定量を行った。本法での魚類中の ^{90}Sr 検出下限値は 0.02 Bq/kg・生重量であった。内臓部中の $^{239+240}\text{Pu}$ の分析は、令和 4 年 11 月に採取し

たスズキとブリ内臓部の生重量がそれぞれ約 0.7 kg になるように同魚種の複数個体の灰試料を合わせて一つの試料として、文部科学省放射能測定シリーズ No.12「プルトニウム分析法(平成 2 年改訂)」⁶⁾に従って行った。本法の $^{239+240}\text{Pu}$ の検出下限値は 0.0005 Bq/kg-生重量であった。

東京電力ホールディングスは、放出管理の目標値を定め、令和 5 年 8 月より ALPS 処理水の海洋放出を実施している。ALPS 処理水に含まれるトリチウムは、食品中放射性物質の基準値に含まれないが、今回は参考値として魚類中のトリチウムの分析を行った。魚類個体ごとの可食部について、真空凍結乾燥を行い、水分を回収し、文部科学省放射能測定シリーズ No.9「トリチウム分析法(平成 14 年改訂)」⁷⁾に従って行った。

C. 研究結果

1.水産物及び海水中の放射性物質の濃度測定

令和 5 年 11 月に入手した魚類中の放射性 Cs 及び ^{40}K 濃度測定の結果を表 2 と表 3 に示した。各部位の平均値は、検出された値と部位の重量を用いて加重平均したものであり、魚類全身(1 個体)の濃度も同様に計算をして推定した。スズキ及びヒラメから ^{134}Cs は検出されなかった。スズキ及びヒラメの可食部の ^{137}Cs 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ 0.42 Bq/kg-生重量(0.32 - 0.50 Bq/kg-生重量)及び 0.24 Bq/kg-生重量 (0.19 - 0.38 Bq/kg-生重量) で、またスズキ及びヒラメの可食部の ^{40}K 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ 128 Bq/kg-生重量 (120 - 136 Bq/kg-生重量)及び 141 Bq/kg-生重量 (135 - 146 Bq/kg-生重量)であった。魚類可食部の ^{137}Cs 濃度は、食品中放射性物質濃度基準値の 100 Bq/kg-生重量よりも低く、福島県の食品モニタリング調査の検出下限値(10 Bq/kg-生重量)よりも低い結果であった。また海洋環境における放射能調査及び総合評価事業で令和 5 年 9 月と令和 6 年 1 月に福島沖で採取された魚類の濃度と近似していた⁸⁾。

魚類が生息する福島沿岸の海水中の ^{137}Cs 濃度の結果を図 1 に示した。海水中の ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下であった。 ^{137}Cs 濃度範囲は、0.8 - 2.2 mBq/L であった。なお、福島第一原発近傍(半径約 10km 圏)における表層海水中の ^{137}Cs 濃度は、10 - 20 mBq/L であり、

^{90}Sr 濃度は 0.6-0.8 mBq/L 以下であった。⁹⁾ 魚類を採取した同じ時期の令和 5 年 11 月と 12 月に福島沖で採取した海水中の ^{90}Sr 濃度は 2mBq/L 以下であった。これらの結果は平常時の濃度範囲と捉えることができる。

令和 4 年 12 月と令和 5 年 11 月に採取した魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度は、スズキでは 0.07 Bq/kg-生重量であったが、ブリやヒラメでは検出下限値(0.02 Bq/kg-生重量)以下であった。令和 4 年 12 月に採取した魚類アラ部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は、スズキとブリ共に検出下限値(0.001 Bq/kg-生重量)以下であった。

また令和 5 年 11 月に採取したスズキとヒラメ中のトリチウム濃度は検出下限値(0.6 Bq/L)以下であった。

D. 考察

1. 福島沖海産生物中の放射性物質濃度について

令和 5 年 11 月に福島相双海域で採取したスズキ及びヒラメから ^{134}Cs は検出されなかった。福島原発事故時に環境へ放出された $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は概ね 1 であったことが報告されている¹⁰⁾が、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の物理学的半減期はそれぞれ約 2 年と 30 年であり、FDNPS 事故から約 13 年を経過した令和 5 年 1 月の時点では、理論上の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は約 0.02 となる。試料中の放射性 Cs 濃度は低いことが予想されたため、定量する検出下限値を下げるために、可食部、内臓部やアラ部の試料を灰にすることで生重量から数%まで減容した。このいわゆる濃縮した試料から検出された ^{137}Cs 濃度に、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を用いて計算した福島原発事故由来の ^{134}Cs の推定濃度は 0.005 Bq/kg-生重量で、検出下限値(0.01 Bq/kg-生重量)に相当した。つまり、今回得られた ^{137}Cs 濃度(1 Bq/kg-生重量以下)の傾向が続く場合、 ^{134}Cs を検出することは難しいことが考えられる。

魚類の部位ごとの重量と ^{137}Cs 濃度の比較を行った。個体重量に対する部位ごとの重量割合は、スズキとヒラメの可食部が 38 - 52%、アラ部が 44 - 50%で、スズキ内臓部が 11 - 13%で、ヒラメ内臓部が 3 - 5%であった。魚全体に対する部位ごとの ^{137}Cs 存在量比は、可食部が 54 - 70%、アラ部が 25 - 41%で、内臓部が 3 - 14%であった。つまりアラ部は主として骨などの硬組織が含まれているために魚全体に占める重量の割合は約 50%である

が、体液など水分量が他の2つの組織に比べて低いために、アラ部中の¹³⁷Cs濃度が低いことが考えられる。魚全身中の¹³⁷Cs濃度は、可食部中の濃度に比べて20-30%ほど低い値であった。これらの傾向は⁴⁰Kの場合も同じで、部位中CsおよびK濃度は体液等に影響していることが考えられる。

魚類を採取した海域に近い沿岸における海水中の放射性Cs濃度は、¹³⁴Cs濃度は検出下限値以下、¹³⁷Cs濃度は1.8 - 2.1 mBq/Lであった。海産魚類のCsの濃縮比(CR)100¹¹⁾を用いて、海水中の¹³⁷Cs濃度から魚類中の¹³⁷Cs濃度を推定すると、0.08-0.2 Bq/kg-生重量と推定される。今回、分析した魚類中の¹³⁷Cs濃度範囲以下であり、概ね魚類中の放射性Cs濃度は生息環境の海水濃度を反映していたことが明らかとなった。⁹⁰Srはカルシウム(Ca)の含有量が多い部位に濃縮されやすい。そのため、アラ部中の⁹⁰Sr濃度の分析を行ったが、検出下限値(0.02 Bq/Kg-生重量)以下であった。また海水中の⁹⁰Sr濃度は0.5 - 0.9mBq/Lであった。海産魚類のSr濃縮比(CR)5^{11, 12)}を用いて、海水中の⁹⁰Sr濃度から魚類可食部中の⁹⁰Sr濃度を推定すると、0.0025 - 0.0005 Bq/kg-生重量と推定される。この推定値は、文部科学省放射能測定法シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」⁵⁾における検出下限値の0.02 mBq/kg-生重量以下となり、概ね魚類中の⁹⁰Srが検出されない理由は、魚類の生息環境の海水中の⁹⁰Sr濃度を反映していたことが考えられる。²³⁹⁺²⁴⁰Puは生物の内蔵に濃縮されやすいことから内蔵部中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度分析を行ったところ、検出下限値(0.0008 Bq/kg-生重量)以下であった。海水中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度と海産魚類のPu濃縮比(CR)40^{11, 13)}を用いて、魚類可食部中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度を推定すると、0.0002 Bq/kg-生重量と推定される。これは分析法の検出下限値は0.0008 Bq/kg-生重量⁶⁾で、海水濃度と濃縮比から推定した²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度が検出下限値以下であることから、概ね魚類中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度も生息環境の海水中の濃度を反映していたことが考えられる。

E. 結論

福島相双海域で採取し、市場流通する水産物として魚類中の部位別の放射性Csと⁴⁰Kを定量した結果、魚類可食部で¹³⁴Csは検出下限値以下で、¹³⁷Cs濃度範

囲は0.2-0.4 Bq/kg-生重量であった。魚類が生息する福島沿岸における海水中の放射性Cs、⁹⁰Sr及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度から海洋生物への濃縮比を用いて魚類中の放射性Cs、⁹⁰Sr及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の推定を行った。放射性Csは概ね同じ濃度範囲で、⁹⁰Sr及び²³⁹⁺²⁴⁰Puは実測できない検出下限値以下であった。つまり魚類中のこれら放射性物質濃度は生息環境の海水中濃度を反映していることが確認された。魚類中の¹³⁷Cs濃度に対する⁹⁰Sr及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の割合は、5%以下であり、食品の基準値の算出基準の考え方¹³⁾に対して影響を与えないものであることが確認できた。

引用文献

- 1) ふくしま復興情報ポータルサイト: 農林水産物のモニタリング検査結果の概要
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/89-4.html> (2024年3月アクセス)
- 2) 基準値(100Bq/kg)を超えた海産魚介類の検体数・割合と、不検出の検体数・割合(令和6年4月末現在):
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/629626.pdf> (2024年3月アクセス)
- 3) 米沢 仲四郎 他: Ge 検出器-γ線スペクトロメトリーによる玄米認証標準物質中¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs及び⁴⁰Kの分析-第1部 放射能濃度の定量-. 分析化学 65, 645-655, 2016.
- 4) Aoyama, M. and Hirose, K. (2008) Radioact. in the Environ. 11, 137-162.
- 5) 文部科学省、放射能測定シリーズNo.2「放射性ストロンチウム分析法(平成15年改訂)」
- 6) 文部科学省、放射能測定シリーズNo.12「プルトニウム分析法(平成2年改訂)」
- 7) 公益財団法人海洋生物環境研究所、令和4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、令和5年3月.
- 8) 文部科学省、放射能測定シリーズNo.9「トリチウム分析法(平成14年改訂)」
- 9) TEPCP、福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の分析結果、

<https://www.tepco.co.jp/decommission/data/analysis/index-j.html>. (2024 年 3 月アクセス)

- 10) 小森 昌史 他: $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を指標とした福島第一原子力発電所事故に由来する放射性核種の放出原子炉別汚染評価、BUNSEKI KAGAKU 62、475-483、2013.
- 11) IAEA, Technical Reports Series No.422: Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, p.36, 2004
- 12) 厚生労働行政推進調査事業費補助金(食品の安全確保推進研究事業)食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響と評価手法に関する研究、平成 27-29 年度 総合研究報告書、明石 真言(量子科学技術研究開発機構)、2018.
- 13) 別冊:食品の基準値の導出について、部会報告書(案)「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会資料(平成 23 年 12 月 22 日開催)、2011.

F. 健康危険情報

なし

G. 研究業績

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1 福島相双海域で採取した魚介類のリスト

魚 種	番号	個体			部位別生重量			部位別生重量割合		
		全長	体長	生重量	可食部	アラ部	内臓部	可食部	アラ部	内臓部
		cm	cm	kg	kg	kg	kg			
スズキ	採取日	2023年11月29日								
	SB-1	59.7	50.8	1.54	0.57	0.76	0.17	0.38	0.50	0.12
	SB-2	55.0	45.8	1.36	0.52	0.64	0.18	0.39	0.48	0.13
	SB-3	58.2	47.8	1.50	0.56	0.73	0.18	0.38	0.50	0.12
	SB-4	53.3	44.9	1.26	0.49	0.60	0.14	0.40	0.49	0.11
	SB-5	59.3	48.8	1.56	0.59	0.76	0.18	0.38	0.50	0.12
ヒラメ	採取日	2023年11月29日								
	FL-1	48.6	40.7	1.02	0.51	0.44	0.05	0.51	0.44	0.05
	FL-2	47.7	40.4	1.06	0.53	0.46	0.04	0.51	0.45	0.04
	FL-3	48.9	42.2	1.21	0.60	0.52	0.05	0.51	0.45	0.04
	FL-4	51.9	43.6	1.25	0.63	0.54	0.04	0.52	0.45	0.03
	FL-5	53.5	45.1	1.55	0.76	0.68	0.07	0.50	0.45	0.05

表2 福島相双海域で採取した魚介類中のCs-137濃度

魚 種	番号	全身 ¹⁾	可食部	アラ部	内臓部
		Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量	Bq/kg-生重量
スズキ	SB-1	0.26 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.03
	SB-2	0.28 ± 0.04	0.41 ± 0.03	0.18 ± 0.02	0.29 ± 0.03
	SB-3	0.29 ± 0.04	0.45 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.22 ± 0.02
	SB-4	0.36 ± 0.04	0.50 ± 0.03	0.25 ± 0.02	0.29 ± 0.03
	SB-5	0.20 ± 0.03	0.32 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.02
	平均値 ²⁾	0.28 ± 0.04	0.42 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.24 ± 0.03
ヒラメ	FL-1	0.28 ± 0.04	0.38 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.29 ± 0.06
	FL-2	0.19 ± 0.04	0.20 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.23 ± 0.04
	FL-3	0.16 ± 0.03	0.19 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02
	FL-4	0.18 ± 0.04	0.21 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.31 ± 0.04
	FL-5	0.16 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.12 ± 0.02
	平均値 ²⁾	0.19 ± 0.04	0.24 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.20 ± 0.03

1) 全身中のCs-137濃度は、可食部、アラ部および内臓部中のCs-137合計量と個別重量から計算した。

2) 平均値は、全身中のCs-137濃度と個体重量のから加重平均により計算した。

表3 福島相双海域で採取した魚介類中の⁴⁰K濃度

魚 種	番号	全身 ¹⁾ Bq/kg-生重量	可食部 Bq/kg-生重量	アラ部 Bq/kg-生重量	内臓部 Bq/kg-生重量
スズキ	SB-1	100.0 ± 1.9	134.0 ± 1.4	79.0 ± 1.0	80.0 ± 1.2
	SB-2	97.2 ± 1.8	136.0 ± 1.4	66.0 ± 0.9	95.0 ± 1.2
	SB-3	94.6 ± 1.9	125.0 ± 1.3	70.0 ± 1.0	100.0 ± 1.2
	SB-4	90.0 ± 1.9	120.0 ± 1.4	64.0 ± 1.0	96.0 ± 1.4
	SB-5	82.5 ± 1.7	123.0 ± 1.3	53.0 ± 0.8	75.0 ± 1.1
	平均値 ²⁾	92.8 ± 1.8	127.7 ± 1.4	66.5 ± 0.9	88.9 ± 1.2
ヒラメ	FL-1	112.1 ± 2.0	141.0 ± 1.2	80.0 ± 1.2	101.0 ± 1.8
	FL-2	106.3 ± 2.0	135.0 ± 1.2	78.0 ± 1.1	57.0 ± 1.3
	FL-3	112.3 ± 1.8	146.0 ± 1.2	79.0 ± 1.0	58.0 ± 0.9
	FL-4	107.1 ± 1.8	138.0 ± 1.1	73.0 ± 1.0	81.0 ± 1.6
	FL-5	109.6 ± 1.7	144.0 ± 1.0	73.0 ± 1.0	90.0 ± 1.1
	平均値 ²⁾	109.46 ± 1.8	141.1 ± 1.1	76.2 ± 1.0	78.6 ± 1.3

1) 全身中の⁴⁰K濃度は、可食部、アラ部および内臓部中の⁴⁰K合計量と個別重量から計算をした。

2) 平均値は、全身または各部中の⁴⁰K濃度と個別重量から加重平均により計算をした。

表4 福島沖の海水中⁹⁰Sr濃度

採取域	採取日	⁹⁰ Sr濃度 mBq/L	検出下限値 mBq/L
相双海域	2023/11/21	< 2 (1.6 ± 0.33)	0.91
相双海域	2023/12/6	< 2 (1.2 ± 0.29)	0.83
いわき沖	2023/11/14	< 2 (0.96 ± 0.27)	0.82
いわき沖	2023/12/61	< 2 (1.2 ± 0.29)	0.79

表5 福島沖で採取した魚類アラ部中の⁹⁰Sr濃度から推定する魚類中の⁹⁰Sr濃度

魚類	採取域	採取日	試料重量 kg-生重量	アラ部中 ⁹⁰ Sr濃度 Bq/kg-生重量	検出下限値 Bq/kg-生重量
スズキ	相双海域	2022/12/14	3.68	0.066 ± 0.007	0.01
ブリ	相双海域	2022/12/14	4.28	< 0.02	0.01
スズキ	相双海域	2023/11/29	3.49	0.067 ± 0.007	0.02
ヒラメ	相双海域	2023/11/29	2.65	< 0.02	0.02

表6 福島沖で採取した魚類内蔵部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度から推定する魚類中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度

魚類	採取域	採取日	試料重量 kg-生重量	内蔵部中 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度 Bq/kg-生重量	検出下限値 Bq/kg-生重量
スズキ	相双海域	2022/12/14	3.68	< 0.001	0.0005
ブリ	相双海域	2022/12/14	4.28	< 0.001	0.0007

表7 海水中の放射性物質濃度と濃縮係数から推定する魚類中の ^{90}Sr および $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度

放射性核種	海水濃度 mBq/L	濃縮比	魚類中の推定放射性物質濃度 Bq/kg-生重量
^{137}Cs	0.84-2.17	100	0.084-0.217
^{90}Sr	0.51-0.9	5	0.0025-0.0005
$^{239+240}\text{Pu}$	0.005	40	0.0002

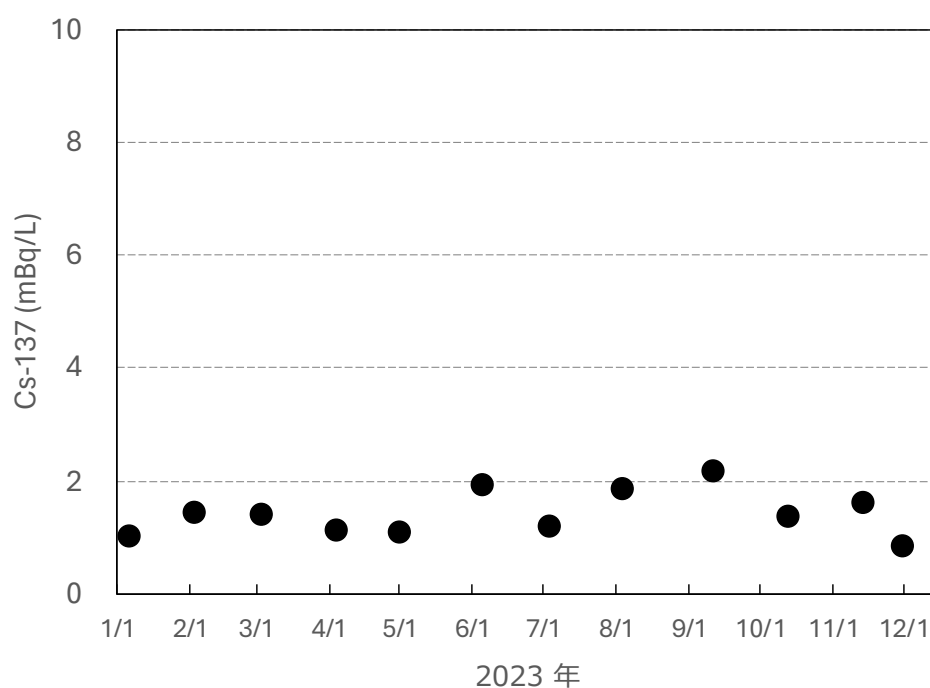


図1 福島小名浜沖における海水中の ^{137}Cs 濃度