

〔報 文〕

石川県海域の海水及び魚類中における東京電力福島第一原子力発電所事故由来のセシウム-137

石川県保健環境センター 環境科学部 小林 浩美・河野 隆史・鳥屋子やまと
吉本 高志・岡田 真規子・内田 賢吾

〔和文要旨〕

東京電力福島第一原子力発電所事故の石川県海域への影響を把握するため、県海域の海水及び魚類中のCs-137濃度をとりまとめ、考察を行った。

海水及び魚類中のCs-137濃度は、調査開始から2010年までは減少傾向にあったが、2011年以降は、海水中の濃度は増加又は横ばいになり、一部の魚類中では濃度が増加した。

過去の大気圏内核実験等由来のCs-137以外のCs-137の濃度変化を見るため、2010年までの期間から算出したCs-137の見かけ上の半減期で濃度補正を行い、海水及び全ての魚類中に、東京電力福島第一原子力発電所事故由来のCs-137を確認した。その濃度は、沿岸海水中は0.438mBq/L、沖合海水中は0.922mBq/L、魚類中は0.018～0.042Bq/kg生の範囲であり、現在の濃度の2～5割程度を占めていると考えられた。

キーワード：Cs-137, 石川県海域（日本海）、海水、海水魚、東京電力福島第一原子力発電所事故

1 はじめに

本県では、1990年から志賀原子力発電所周辺環境放射線監視事業において、志賀町の沿岸海水及び沿岸海域で採取された魚類中の放射性物質濃度の調査（以下、「監視調査」という。）を行っている。また、1993年から環境放射能水準調査において、県内沿岸海域で採取された魚類中の放射性物質濃度調査（以下、「水準調査」という。）を行っている。

2011年3月、東京電力株式会社の福島第一原子力発電所で、多量の放射性物質が環境中に漏洩する事故（以下、「福島原発事故」という。）が発生した。大気中に放射性希ガスや放射性セシウム等の放射性物質が放出され、空間放射線量率が増加し¹⁾住民の避難が実施された。ま

た、海洋には放射性物質を含んだ汚染水が流出し、その後数年にわたって、福島県を中心に放射性セシウム濃度の高い魚が多数確認された²⁾。

本県では、2011年度に県内における福島原発事故の影響調査を行い、2011年3月～9月の期間に事故由来と推定される放射性セシウムやヨウ素-131等の人工放射性核種の飛来が確認されているが、魚類中への影響はなかった³⁾と報告している。一方で、日本海海域への影響については、2011年に日本海でセシウム-134が検出されたこと⁴⁾から放射性セシウムを含んだ降下物が日本海の海面に沈着したこと⁵⁾や、太平洋へ流出した放射性物質が海流にのって、数年後に日本海に到達したこと⁶⁾が報告されている。

本報では、本県海域の海水及び魚類中の福島原発事故

Cesium-137 Derived from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Seawater and Marine Fishes at the Ishikawa Sea Area.

by KOBAYASHI Hiromi, KAWANO Takafumi, TOYANAGO Yamato, YOSHIMOTO Takashi, OKADA Makiko and UCHIDA Kengo (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words : Cesium-137, Ishikawa Sea Area (the Sea of Japan), Seawater, Marine Fish, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident

に由来する放射性物質について考察を行った。セシウム-134 (半減期2.07年⁷⁾) やヨウ素-131 (半減期8.02日⁷⁾) といった半減期が短い放射性物質は、福島原発事故の影響を確実に示すものではあるが、事故から時間が経過した現在では検出はできない。そのため、比較的長い半減期をもつセシウム-137 (半減期30.08年⁷⁾) (以下、「Cs-137」という。) の経年変化をとりまとめたので報告する。

2 調査対象と方法

2.1 沿岸海水及び魚類

とりまとめ対象としたのは、次のCs-137濃度のデータである。監視調査及び水準調査のそれぞれの概要は表1、採取地点は図1に示す。

(1) 監視調査 (1990～2021年)

ア 沿岸海水 志賀町沿岸約1kmの3地点の表層水
イ 魚類 5種(メバル, チダイ, ヒラメ, キス, カレイ類(マコガレイ及びマガレイ))

(2) 水準調査 (1993～2021年)

魚類 1種(フクラギ(ブリの幼魚))

各調査の試料の採取、前処理及び測定は放射能測定法シリーズ⁸⁾⁻¹⁰⁾に準じた。

試料の測定には、ゲルマニウム半導体検出器(Ortec社製又はCanberra社製、相対効率45%程度、分解能2keV未満)を用い、測定時間は80,000秒とした。得られた結果は、試料採取時点に半減期補正を行った。Cs-137の検出下限値は、海水は約1mBq/L、魚類は約0.025Bq/kg生程度であった。

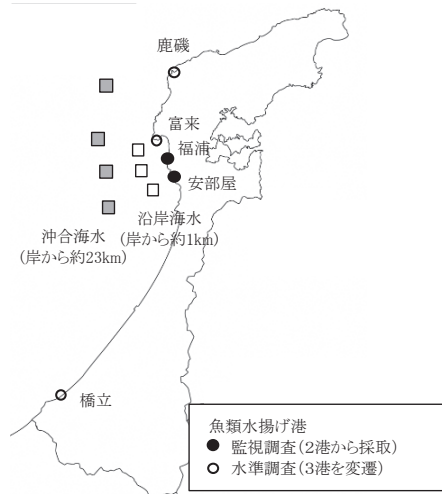


図1 試料採取地点

2.2 沖合海水

公益財団法人海洋生物環境研究所が、国の委託を請けて調査(以下、「海生研調査」という。)している、志賀町沖約23kmの4地点の表層水のCs-137濃度のデータ(1991～2020年)¹¹⁾(以下、「沖合海水」という。)を沖合海水のデータとして用いた。

3 結果と考察

3.1 Cs-137濃度の経年変化

(1) 沿岸海水及び沖合海水

監視調査における沿岸海水及び海生研調査における沖合海水中のCs-137濃度の経年変化を図2に示す。

海水中のCs-137濃度は、調査開始当初は過去の大気圏内核実験やチェルノブイリ原子力発電所事故等の影響で3.5mBq/Lを超過していたが、その後濃度は減少し、2010年頃には1.5～2.0mBq/L程度の値となった。しかしながら、2011年以降は増加又は横ばい傾向に転じ、福島原発事故の影響と推定された。

(2) 魚類

監視調査及び水準調査における県海域6魚種の魚類中のCs-137濃度の経年変化を図3に示す。

魚類中のCs-137濃度は、調査開始当初には高いもので0.3Bq/kg生前後の検体もあったが、その後濃度は減少し、2011年以降には若干の増加が見られた。

魚種毎のCs-137濃度の経年変化を図4に示す。それぞれの魚種毎に緩やかな減少傾向が見られた。チダイ及びフクラギは、2011年以降に明らかな濃度の増加が見られたが、メバル、ヒラメ、キス及びカレイ類には、はっ

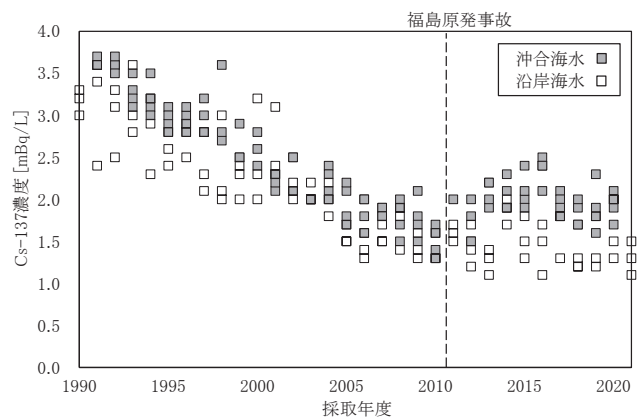


図2 海水中のCs-137濃度の経年変化(1990-2021)

表1 石川県の海水及び魚類中の放射性物質濃度調査

調査名	調査開始	海水採取	魚類水揚げ港	調査魚類
監視調査	1990年	志賀町沿岸(約1km) 3ヶ所	志賀町安部屋, 志賀町福浦 (2港それぞれから採取)	メバル, チダイ, ヒラメ, キス, カレイ類(マコガレイ及びマガレイ)
水準調査	1993年	-	志賀町富来 → 輪島市鹿磯 → 加賀市橋立 ※3港を変遷	フクラギ

きりとした濃度増加は見られなかった。

魚類中の放射性セシウム濃度は、餌の消化吸収及び環境水の飲水や浸透圧調整等の 2 経路¹²⁾から取り込まれた量と代謝により排出する量の均衡で決定される¹³⁾。そのため、図 2 で示したように県海域の海水中の Cs-137 濃度の減少に伴って、魚類中の Cs-137 濃度も減少したものと考えられる。

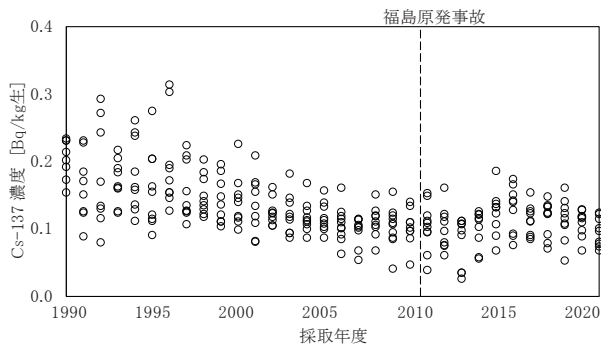


図 3 魚類中の Cs-137 濃度の経年変化 (1990-2021)

3・2 福島原発事故前の Cs-137 濃度

(1) 経年変化に対する近似式の検討

2010 年までの福島原発事故の影響がない期間の Cs-137 濃度の減少傾向について、沿岸海水、沖合海水及び魚種毎に、指数近似曲線と近似式を図 5 及び図 6 に示し

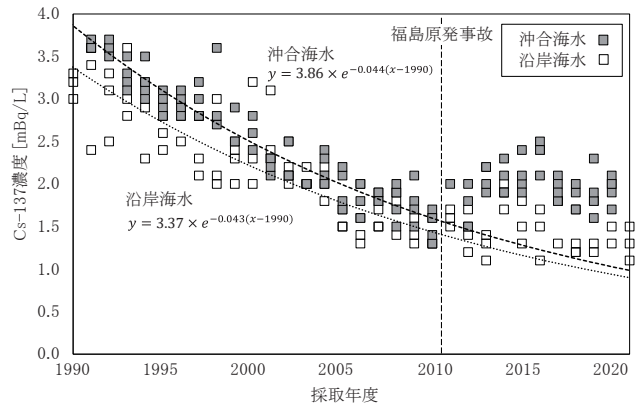


図 5 海水中の Cs-137 濃度の指数近似曲線及び近似式 (~2010 年の作成)

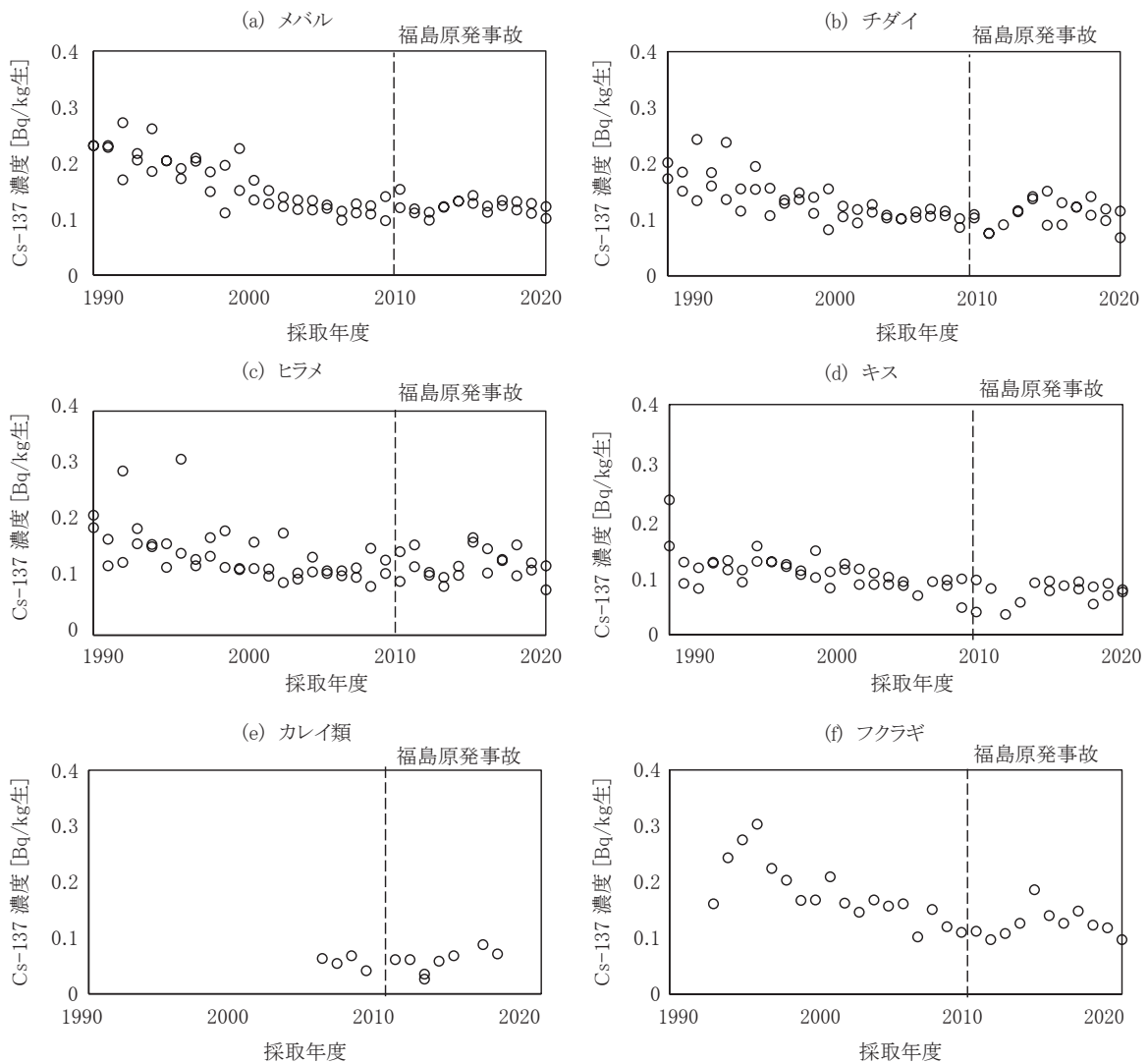


図 4 魚種毎の Cs-137 濃度の経年変化 (1990-2021)

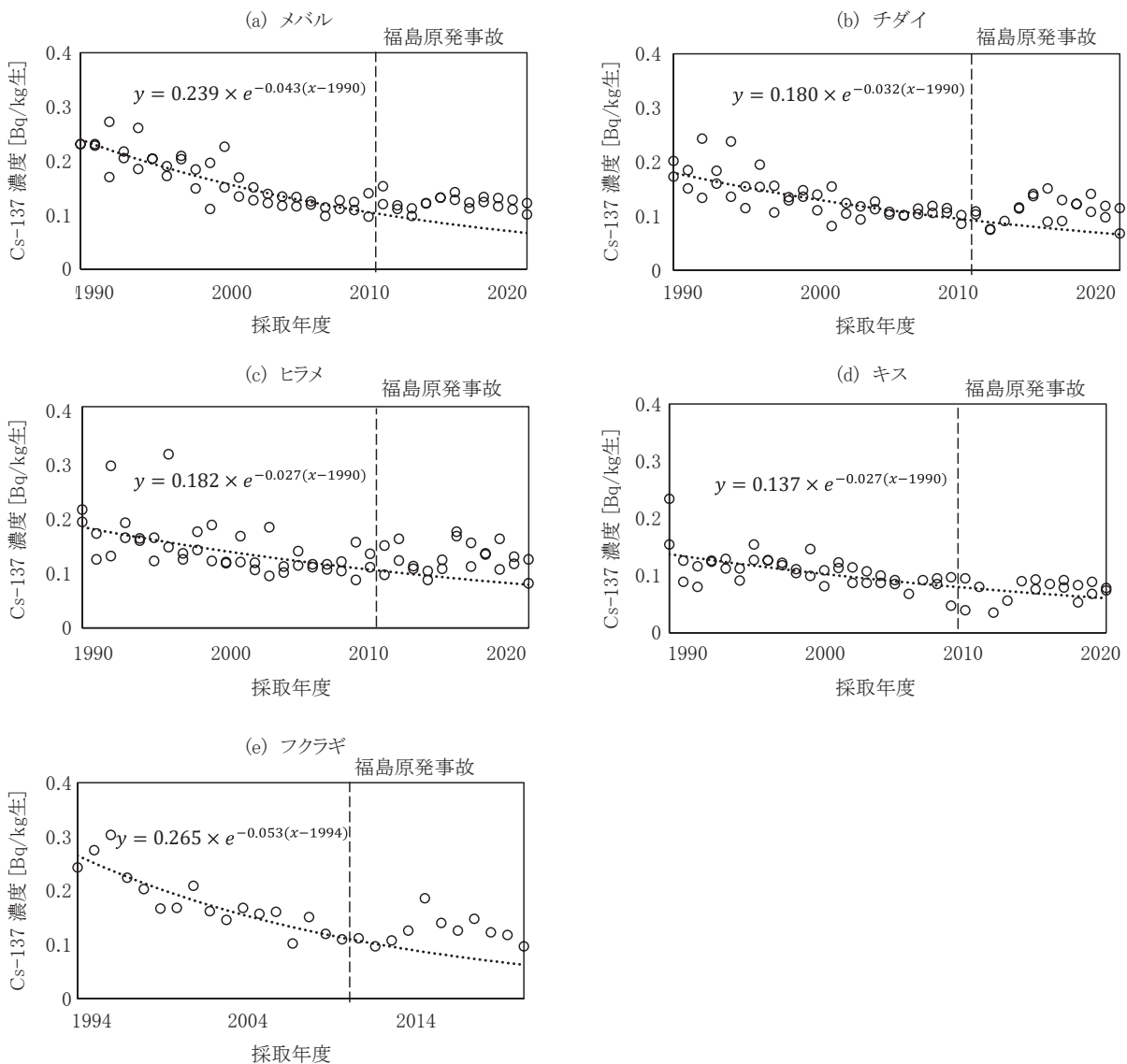


図6 魚類中のCs-137濃度の指数近似曲線及び近似式（～2010年の作成）

た。なお、カレイ類については、データ数が少ないため指数近似曲線等の作成はしていない。

近似式は、調査を開始した1990年を基準とした。ただし、フクラギについては、調査開始の1993年の値が直近の値と比較して低かったため、1993年の値を除き1994年を基準として近似式を作成した。

(2) 見かけ上の半減期

放射能の壊変式は

$$A_t = Ae^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad (2)$$

と表される。近似式から見かけ上の壊変定数λが求められる。λと(2)式より各試料の見かけ上の半減期Tが求められる、その値を表2に示す。

沿岸海水の見かけ上の半減期は16.12年、沖合海水では15.75年であり、Cs-137の物理的半減期30.08年より

短くなった。これは、Cs-137の壊変による減衰に加え、海洋での拡散や沈降等が寄与したため物理的半減期より短くなったものと考えられた。

魚類中の見かけ上の半減期は、メバル16.91年、チダイ21.66年、ヒラメ25.67年、キス25.67年、フクラギ13.08年となった。魚類中の見かけ上の半減期も物理的半減期30.08年より短くなったが、生息環境である海水

表2 各試料におけるCs-137の見かけ上の半減期(～2010年)

試料名	Cs-137 見かけ上の半減期 [年]
沿岸海水	16.12
沖合海水	15.75
メバル	16.91
チダイ	21.66
ヒラメ	25.67
キス	25.67
フクラギ	13.08

中の濃度が拡散等によって減少し、餌中の濃度や飲水による取り込み量が減少したことなどから、物理的半減期とは一致しないものと考えられた。

3・3 福島原発事故由来のCs-137

(1) 事故由来濃度算出の検討

海域への福島原発事故の影響の有無については、短半減期核種であるCs-134等の検出があれば判断が容易である。しかし、本県の監視調査及び水準調査ではCs-134等は検出されていないため、これらを用いた影響の有無の検討は行うことができない。そこで、海水と魚類中のCs-137濃度を用いて、福島原発事故の影響について検討を行うこととした。

3.2(2)で求めた過去の大気圏内核実験等に由来するCs-137の見かけ上の壊変定数 λ を用いて、2021年を基準年とし、これまでのCs-137の分析値の濃度の補正を行った。

この手法で作成した補正濃度の経年値に変化がなければ、見かけ上の半減期に沿った減少傾向にあることを示し、値の増加が見られれば過去の大気圏内核実験等に由来しない新たなCs-137の付与があったことを示す。これにより、過去の大気圏内核実験等に由来するCs-137以外のCs-137の濃度変化に着目することができると考えた。

(2) 沿岸海水及び沖合海水

沿岸海水及び沖合海水中の濃度を、それぞれの見かけ上の半減期で補正した補正濃度のグラフを図7に示す。

調査開始から2012年頃までは、おおよそ0.6~1.3mBq/Lの値であったのに対し、2013年以降はそれを超える濃度の増加が見られた。福島原発事故以外には新たなCs-137が増加する事象は発生しておらず、この濃度の増加は福島原発事故由来のものと仮定した。

また、この福島原発事故由来のCs-137濃度の変化を見るため、図7で示した補正濃度のうち、2011年以降

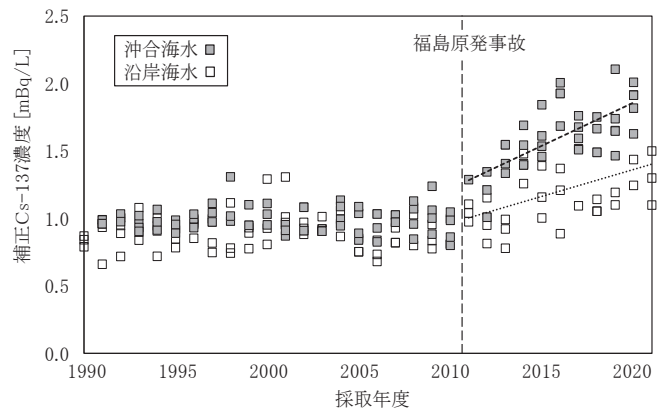


図7 海水中の補正したCs-137濃度 (1990-2021)

の濃度について、回帰直線を示す。沿岸海水及び沖合海水が共に正の回帰直線で近似され、海流に乗って日本海へ到達する福島原発事故に由来するCs-137濃度は、増加傾向にあることがわかる。

次に、事故の前後で変化したCs-137量を、福島原発事故前の5年間(2006~2010年)の平均した補正濃度と、直近(2020年又は2021年)の補正濃度との差から求め表3に示す。福島原発事故由来のCs-137濃度は、沿岸海水では0.438mBq/L、沖合海水では0.922mBq/Lとなり、直近の海水中の濃度に対する比は0.337と0.501となった。このことから、現在の海水中のCs-137濃度の3~5割程度を福島原発事故由来のCs-137が占めていることが推定された。

(3) 魚類

魚類毎の見かけ上の半減期で補正した補正濃度のグラフを図8に示す。

グラフから、2011年以降に全体的なCs-137濃度の増加が確認され、海水中と同様に魚類中にも福島原発事故に由来するCs-137が存在することを示すことができた。

また、魚種毎に福島原発事故由来のCs-137濃度の増加の程度が異なることがわかった。海水と同様に、その

表3 海水と魚類中における福島原発事故由来のCs-137量

試料名	海水 : [mBq/L], 魚類 : [Bq/kg 生]			
	福島原発事故前の5年間の補正した濃度の平均値 (2006年~2010年)	直近の補正した濃度 (2021年*)	福島原発事故由来のCs-137濃度	比
	a	b	b - a	(b - a) / b
沿岸海水	0.862	1.300	0.438	0.337
沖合海水	0.920	1.842	0.922	0.501
メバル	0.070	0.112	0.042	0.375
チダイ	0.067	0.092	0.025	0.272
ヒラメ	0.085	0.103	0.018	0.175
キス	0.053	0.076	0.023	0.303
フクラギ	0.071	0.097	0.026	0.268

※ 沖合海水 : 2020年

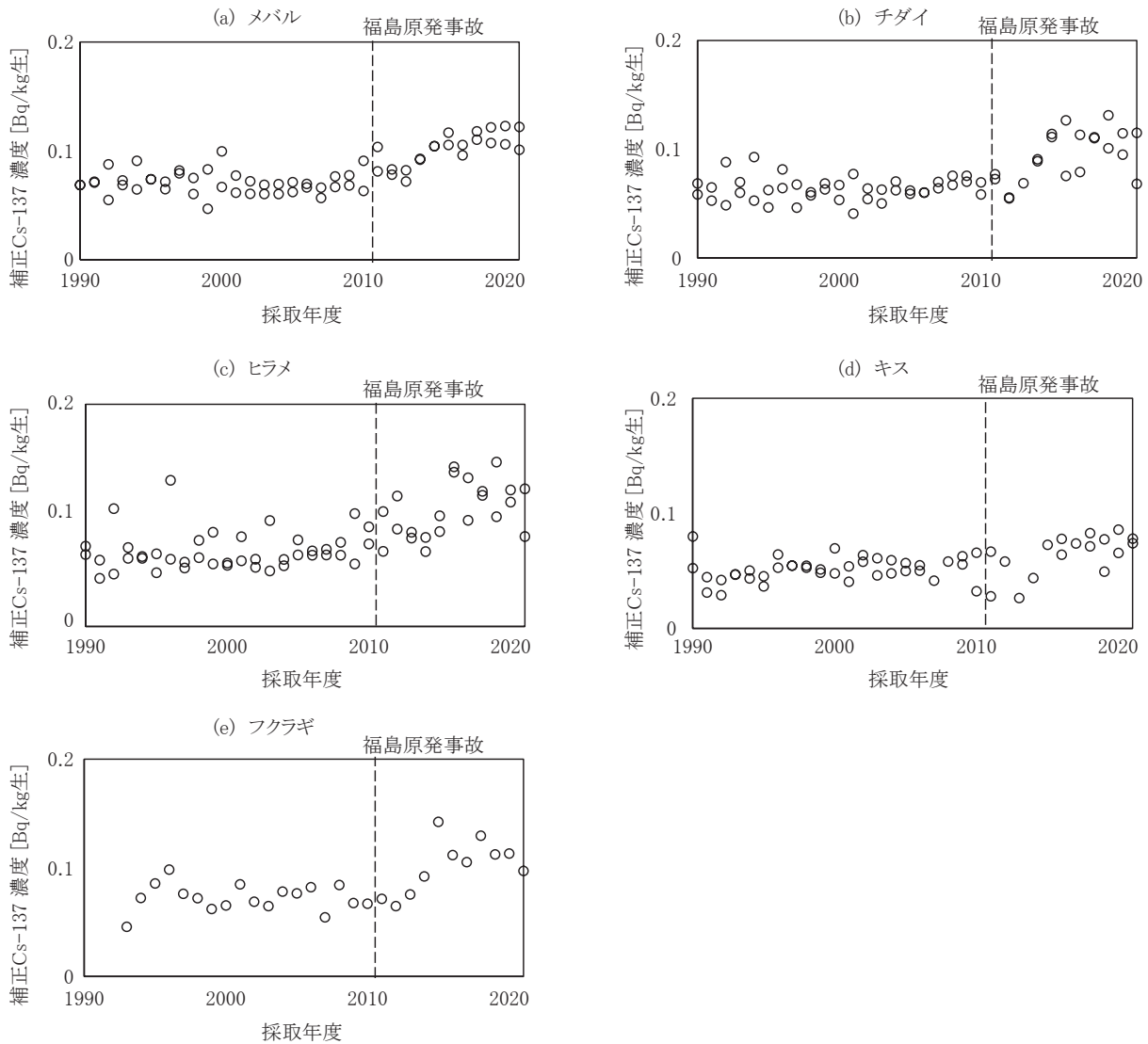


図8 魚類中の補正したCs-137濃度（1990-2021）

増加量を事故前の5年間（2006～2010年）と、直近（2021年）の補正濃度との差から求め、同じく表3に示す。魚種毎の福島原発事故由来のCs-137濃度は、0.018～0.042Bq/kg生の範囲であった。直近の魚類中濃度に対する比は0.175～0.375の範囲となり、現在の魚類中のCs-137濃度の2～4割程度を福島原発事故由来のCs-137が占めることがわかった。

4 まとめ

県海域における海水及び魚類中のCs-137濃度をとりまとめ、福島原発事故に由来する濃度について考察を行った。

- (1) 海水中のCs-137濃度は、調査開始以降、過去の大気圏内核実験等に由来するCs-137濃度の減衰により減少傾向にあった。2011年以降の濃度は増加又は横ばいであった。
- (2) 魚類中のCs-137濃度は、2010年までは海水中の

- Cs-137濃度の減少と同様に減少傾向にあった。2011年以降は、一部の魚類について濃度の増加が見られた。
- (3) 福島原発事故前の2010年までの期間のCs-137の減少傾向に対して指数近似曲線を作成し、沿岸海水、沖合海水及び魚種毎に、見かけ上の半減期を算出した。2021年を基準年として、見かけ上の半減期で分析値の濃度補正を行ったところ、海水及び全ての魚類中（カレイ類は除く）に、福島原発事故由来のCs-137を確認した。その濃度は、沿岸海水中は0.438mBq/L、沖合海水中は0.922mBq/L、魚類中は0.018～0.042Bq/kg生の範囲であった。また、現在の海水及び魚類中のCs-137濃度のうち、海水は3～5割程度、魚類は2～4割程度を福島原発事故由来のCs-137が占めていることが推定された。
 - (4) 福島原発事故由来のCs-137は現在も検出が続いており、今後も継続して変動を監視していくことが必要であると考えられる。

文 献

- 1) 環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和3年度版)第7章 環境モニタリング(令和4年7月)
- 2) 水産庁：水産物の放射性物質の検査に係る報告書(平成23年3月～平成28年3月)(平成29年10月)
- 3) 浜道啓太, 小谷口久美子, 藤井明洋, 横山暢, 柿本均: 石川県における福島第一原子力発電所事故の影響, 石川県保健環境センター研究報告書, **49**, 27-32 (2012)
- 4) Inoue M, Kofuji H, Nagao S, Yamamoto M, Hamajima Y, Yoshida K, Fujimoto K, Takada T and Isoda Y: Lateral variation of ^{134}Cs and ^{137}Cs concentrations in surface seawater in and around the Japan Sea after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **109**, 45-51 (2012)
- 5) 埴山秀樹, 安倍大介, 重信裕弥, 藤本賢, 小埜恒夫, 中田薫, 森田貴己, 渡邊朝生: 東京電力福島第一原子力発電所事故以降の日本周辺海域における海水の ^{134}Cs および ^{137}Cs 濃度, *海の研究*, **23** (4), 127-146 (2004)
- 6) M.Inoue, Y.Shirotani, S.Yamashita, H.Takata, H.Kofuji, D.Ambe, N.Honda, Y.Yagi, S.Nagao: Temporal and spatial variations of ^{134}Cs and ^{137}Cs levels in the Sea of Japan and Pacific coastal region: Implications for dispersion of FDNPP-derived radiocesium, *Journal of Environmental Radioactivity*, **182**, 142-150 (2018)
- 7) 公益社団法人日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳, 改訂12版, 丸善 (2020)
- 8) 原子力規制庁: 環境試料採取法, 放射能測定法シリーズ16 (昭和58年12月)
- 9) 原子力規制庁: ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための試料の前処理法, 放射能測定法シリーズ13 (昭和57年7月)
- 10) 原子力規制庁: ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー, 放射能測定法シリーズ7 (令和2年9月4訂)
- 11) 日本分析センター: “日本の環境放射能と放射線”, <https://www.kankyo-hoshano.go.jp> (参照2022-04-01)
- 12) 渡辺社一・金子豊二: 水圏の放射能汚染 福島の水産業復興を目指して, 黒倉寿編, 54-80, 恒星社厚生閣 (2015)
- 13) Niizeki.K, Wada.T, Nanba.K, Sasaki.K, Teramoto.W, Izumi.S, Nomura.H and Inatomi.N: Estimating biological half-lives of ^{137}Cs in a cyprinid fish *Tribolodon hakonensis* by a one-compartment model considering growth dilution effect, *Fisheries Science*, **86**, 861-871 (2020)