

伊方沖の魚類中¹³⁷Cs濃度の変動要因について

篠崎由紀, 武田尚彦, 善家久隆, 武田伸也, 楠憲一, 園田浩二

Factors on Variation of ¹³⁷Cs Concentration in Fishes of offshore Ikata

Yuki SHINOZAKI, Naohiko TAKEDA, Hisataka ZENKE, Shinya TAKEDA
Kenichi KUSUNOKI, Kouji SONODA

Ehime Prefecture has been conducting radioactivity investigation since 1975 in order to supervise radioactive elements in fishes and environmental samples of nuclear installation circumference .

Since ¹³⁷Cs is characterized that fission yield is high, radioactive half-life is long, and it is easy to be taken in to living thing, we examined the concentration level of ¹³⁷Cs and the factor which affects the behavior of ¹³⁷Cs.

In the result, since about 1988 after the nuclear explosion tests in the atmosphere, and the Chernobyl nuclear power plant disaster, ¹³⁷Cs concentration of the environmental samples showed clearly that the downward tendency is undergoing at a constant rate. Furthermore, the study showed there are strong correlations with ¹³⁷Cs concentration in fishes and ¹³⁷Cs concentration in sea water, etc.

Keywords : ¹³⁷Cs, fish, seawater

はじめに

本県では、伊方原子力発電所施設周辺監視のため、1975年から環境試料中の放射能調査を実施している。このうち¹³⁷Csについては、半減期が約30年と長いため、過去行われた大気圏内での大規模な核爆発実験及び1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故による影響が現在も環境中でみられている。

今回、降下物、海水、海底土及び魚類について、これまでの調査結果を取りまとめ、¹³⁷Csの伊方における環境中での挙動、特に人に対する内部被ばくの原因となる魚類中の¹³⁷Csに関し、汚染変動及びその要因について解析したので報告する。

調査方法等

1. 解析に用いたデータの期間

降下物、海水及び海底土は、1975年度から2003年度のデータを用い、魚類のカサゴ、メバル、カワハギは1976年度から2003年度、ベラは1987年度から2003年度のデータを用いて解析した。また、海底土のうち北東については、採取地点を1985年7月から現在の位置に移動したので、それ以降のデータを用いて解析した。

2. 採取地点及び前処理方法

各試料の採取地点を図1に示す。

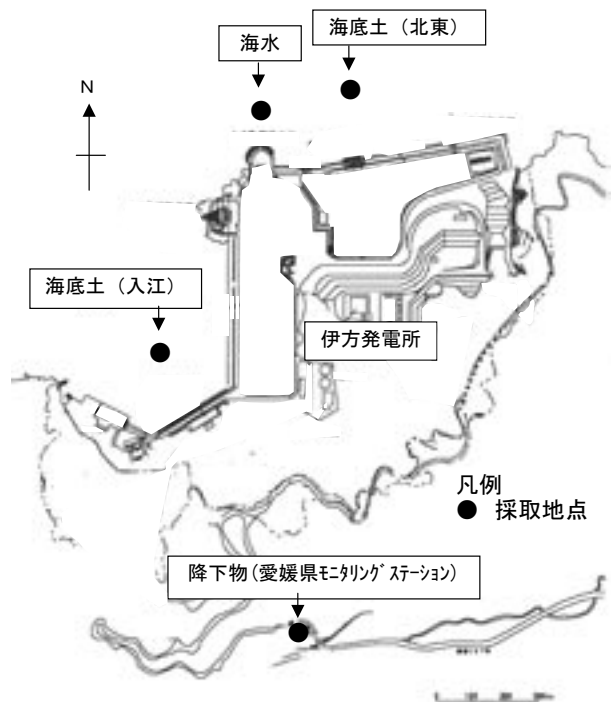


図1 採取地点

表1 各試料の¹³⁷Cs測定における計数誤差と代入したND値

試料の種類	計数誤差		検出下限値 (計数誤差の3倍)	代入したND値	単位
	平均値	(最低値～最高値)			
降下物	0.014	(0.011～0.020)	0.042	0.021	Bq/m ² ・月
海水	0.343	(0.25～0.51)	1.03	0.52	mBq/l
海底土入江	0.143	(0.10～0.18)	0.429	0.21	Bq/kg乾土
海底土北東	0.157	(0.11～0.20)	0.471	0.24	Bq/kg乾土
カサゴ	0.0148	(0.0088～0.023)	0.044	0.022	Bq/kg生
メバル	0.0111	(0.0075～0.014)	0.033	0.017	Bq/kg生
ベラ	0.0123	(0.011～0.014)	0.037	0.019	Bq/kg生
カワハギ	0.0144	(0.0075～0.019)	0.043	0.022	Bq/kg生

注) データについては、2001～2003年度を用いた。

1) 降下物

愛媛県モニタリングステーションに大型水盤を設置し、1ヶ月間の降下物を採取した。

この全量について、10ℓに対し塩酸を1mℓの割合で加え、磁性皿を用い加熱濃縮した後、測定容器（以下「U8容器」という。）に移し、約60℃で蒸発乾固し測定試料とした。

2) 海水

伊方発電所沖で、年4回表層海水20ℓを採取し、海水1ℓに対し塩酸を1mℓの割合で加え、リンモリブデン酸アンモニウム及び金属担体により捕集し、沈殿物を集める紙とともにU8容器に入れ乾燥後測定試料とした。

3) 海底土

伊方発電所沖の入江と北東の2地点でエクマンバージ採泥器により採取し、狭雑物を除き乾燥後、磁性乳鉢で粉砕し、250μmの篩を通したものの約100g程度をU8容器に入れ、測定試料とした。

4) 魚類

伊方発電所周辺で採取した、カサゴ、メバル、ベラ、カワハギの4種について、各々2～5kgの可食部を磁性皿に入れ、炭化後灰化（450℃で24時間）し、355μmの篩を通したものをU8容器に厚さ5cm程度に詰め測定試料とした。

3. 測定方法とデータの取扱

測定用試料は、高純度Ge半導体検出器を用い、ガンマ線スペクトロメトリーにより測定した（測定時間80000秒間）。¹³⁷Cs濃度は661.65keVのスペクトルエネルギー強度により求めた。次式により減衰補正を行い採取日の放射能濃度を求めた。

$$A_0 = A / e^{-\lambda t}$$

A₀：採取日の放射能濃度

A：測定日の放射能濃度

t：採取日から測定日までの経過時間

λ：壊変定数

計数誤差がΔAのとき、A < 3ΔAの場合は検出下限値未満（ND）とした。

なお、統計処理に当たっては、NDは2001～2003年の値から求めた計数誤差の3倍の1/2の数値を代入した。各試料の検出下限値を表1に示す。

調査結果

1. 各試料中の¹³⁷Cs濃度の推移と関連

各試料の2001～2003年度の¹³⁷Cs濃度の平均値を表2に示す。

1) 降下物

降下物中の¹³⁷Cs濃度の推移を図2に示す。1975～1982年の¹³⁷Cs濃度は高く、これは1964～1980年に実施された中国等での大気圏内の核爆発実験に起因するものと考え

表2 各試料の¹³⁷Cs濃度について

試料の種類	検体数	¹³⁷ Cs濃度		単位
		平均値	(最低値～最高値)	
降下物	36	0.023	(ND～0.056)	Bq/m ² ・月
海水	12	2.1	(1.6～2.7)	mBq/l
海底土入江	12	0.89	(0.59～1.1)	Bq/kg乾土
海底土北東	12	0.67	(ND～1.1)	Bq/kg乾土
カサゴ	9	0.14	(0.12～0.16)	Bq/kg生
メバル	6	0.13	(0.087～0.17)	Bq/kg生
ベラ	3	0.15	(0.13～0.18)	Bq/kg生
カワハギ	6	0.067	(0.050～0.086)	Bq/kg生

注) データについては、2001～2003年度を用いた。

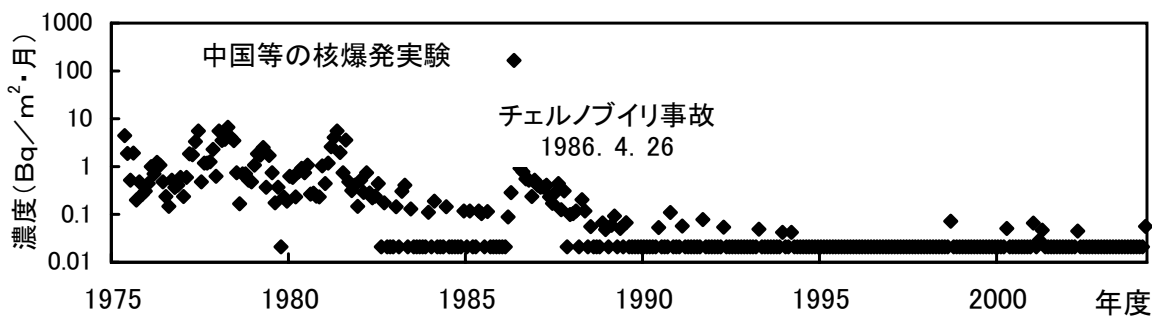


図2 伊方降下物¹³⁷Cs濃度

られる。また、1986年5月には、過去最高値の166Bq/m³・月が測定された。これはチェルノブイリ事故に起因するものと考えられる。この3年間でみると36試料中31試料が検出下限値未満であり、大きな変動はみられなくなっている。

2) 海水

海水中の¹³⁷Cs濃度の推移を図3に示す。海水中の¹³⁷Cs濃度は降下物中の¹³⁷Cs濃度と類似した変動をしており、

中国等の大気圏内の核爆発実験の影響や、チェルノブイリ事故の影響を受けたことがうかがわれた。1986年以降は緩やかな減少傾向を示し、この3年間(2001~2003年度)の平均値は2.1mBq/lであった。

海水と降下物の¹³⁷Cs濃度の関係を図4に示す。海水中の¹³⁷Cs濃度は、降下物中の¹³⁷Cs濃度と有意な相関がみられた。

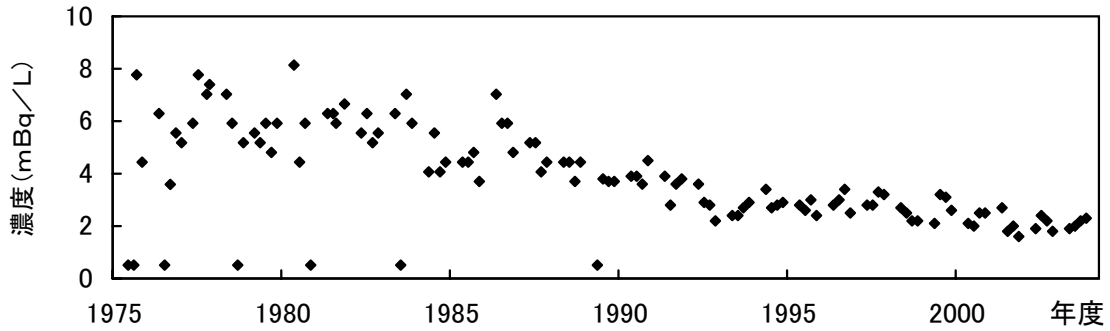


図3 海水¹³⁷Cs濃度

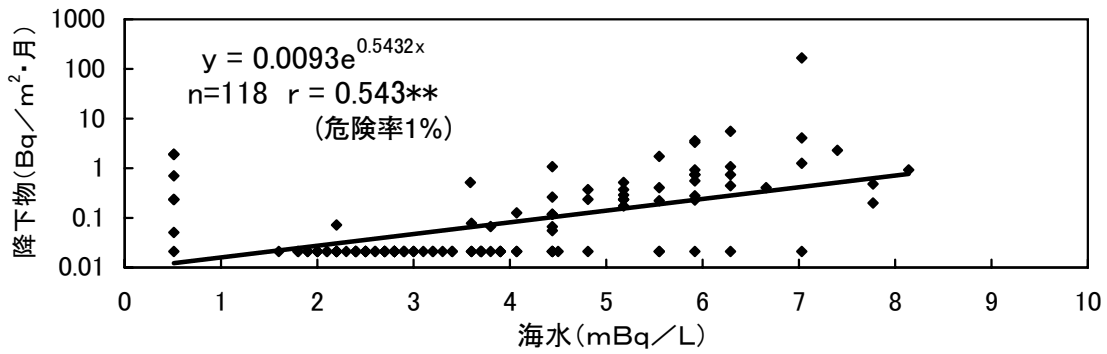


図4 海水と降下物の¹³⁷Cs濃度の関係

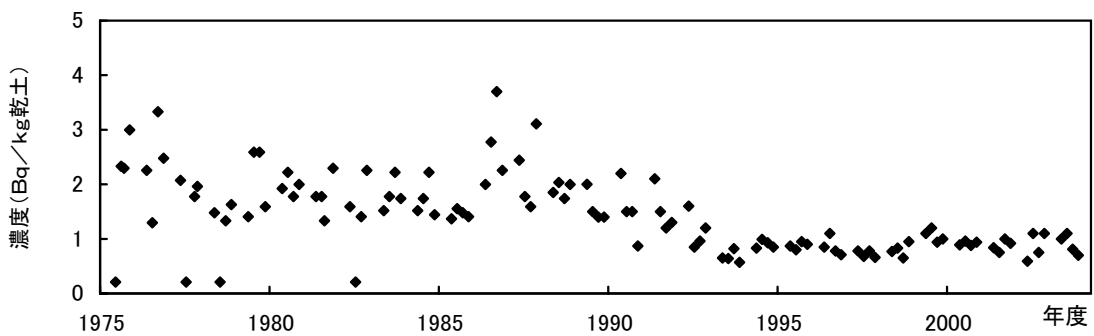


図5 海底土(入江)¹³⁷Cs濃度

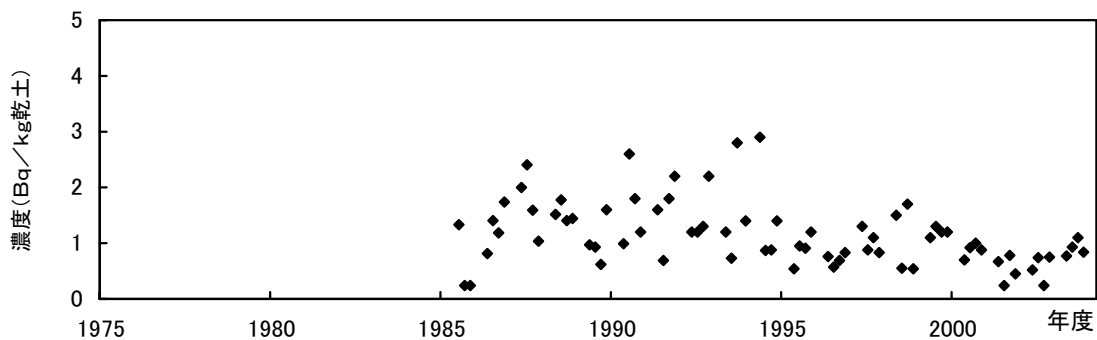


図6 海底土(北東)¹³⁷Cs濃度

3) 海底土

海底土中の¹³⁷Cs濃度の推移を図5~6に示す。入江の海底土については、1986年度から翌年度にかけ、高い濃度の¹³⁷Csが検出され、チェルノブイリ事故の影響をうかがわせる一時的な濃度上昇がみられた。それ以降は、海水と同様に減少傾向となった。北東については、近年は減少傾向がみられるものの調査を開始した年から、入江に比べると変動が大きい。2001~2003年度の平均値で見ると入江で0.89Bq/kg乾土、北東で0.67 Bq/kg乾土の値となっている。

なお、入江は、深度20m程度で潮流の影響が少なく海底土の粒子が細かい。一方北東は、深度60m程度と深く潮流の影響が強く、入江に比べ粒子も粗い上に貝殻が多く含まれ、両者の海況は大きく異なっている。

海水中と海底土中の¹³⁷Cs濃度の関係について図7~8に示す。両地点ともに両者の間には有意な相関がみられた。

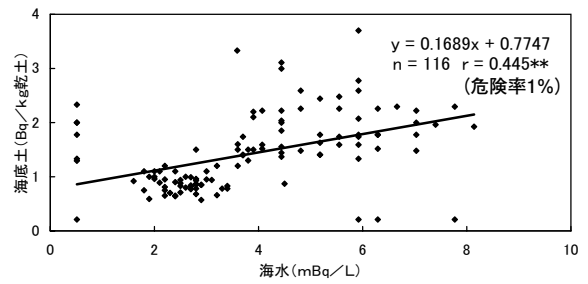


図7 海水と海底土（入江）の¹³⁷Cs濃度の関係

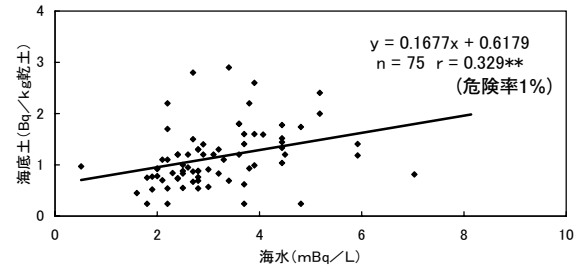


図8 海水と海底土（北東）の¹³⁷Cs濃度の関係

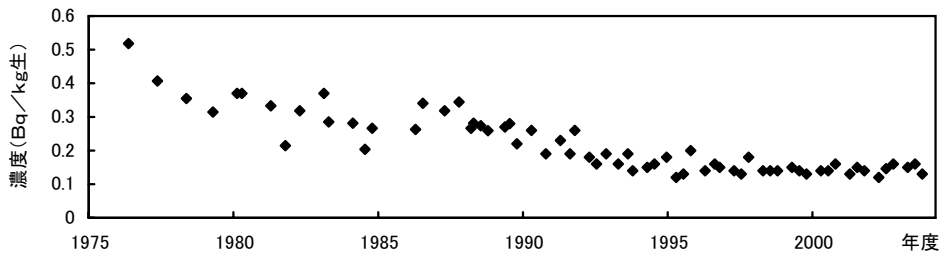


図9 カサゴの¹³⁷Cs濃度の推移

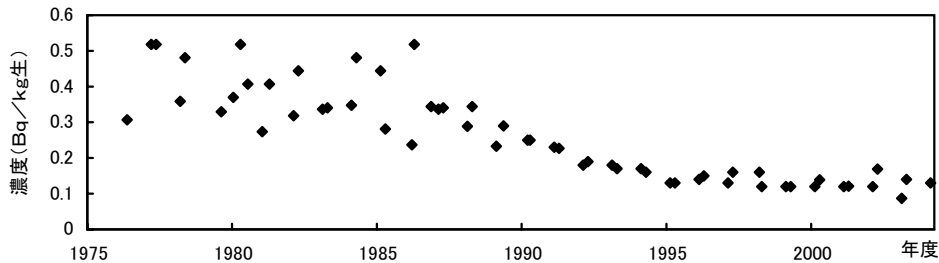


図10 メバルの¹³⁷Cs濃度の推移

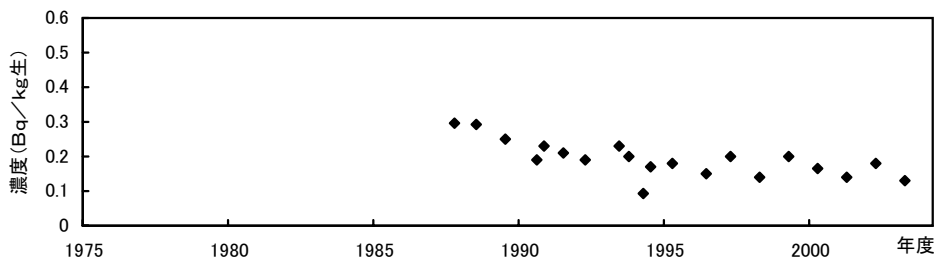


図11 ベラの¹³⁷Cs濃度の推移

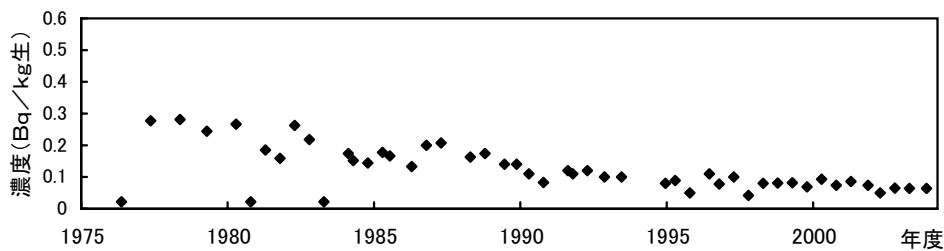


図12 カワハギの¹³⁷Cs濃度の推移

4) 魚類

カサゴ, メバル, ベラ及びカワハギ中の¹³⁷Cs濃度の推移を図9～12に示す。いずれの魚種についても調査開始から¹³⁷Cs濃度は緩やかな減少傾向がみられた。2001～2003年度の平均値でみると、表2のとおりカサゴ0.14Bq/kg生で、メバル及びベラは同程度の値を示しているが、カワハギについては他の3魚種に比べ、0.067Bq/kg生と低い値を示した。

考 察

1. 海水

瀬戸内海は、浅海域の多い半閉鎖的海域で、気象や河川流入の影響を受けやすく¹⁾、外洋水との交換には瀬戸内海全域を対象として約15ヶ月を要すると言われている²⁾。そこで、伊方沖の¹³⁷Cs濃度の推移と特徴を見るため、日本近海の外洋水との比較を行った。

黒潮海流の流れる鹿児島海域及び静岡海域^{3) 4)}と伊方沖の海水中の¹³⁷Cs濃度の年間平均値を図13に示した。各海域とも類似した¹³⁷Cs濃度推移を示し、伊方沖の海水中の¹³⁷Cs濃度は、外洋の¹³⁷Cs濃度とほぼ同程度であった。このことから、瀬戸内海のうち伊方沖の海水¹³⁷Cs濃度については、気象や河川等からの影響をあまり受けず、豊後水道が近いことから外洋との海水交換の影響を受けやすい海域と考えられる。なお、塩分濃度は伊方沖で33.56%であり、鹿児島海域33.86%、静岡海域34.00%の外洋に比べわずかに低い値である。

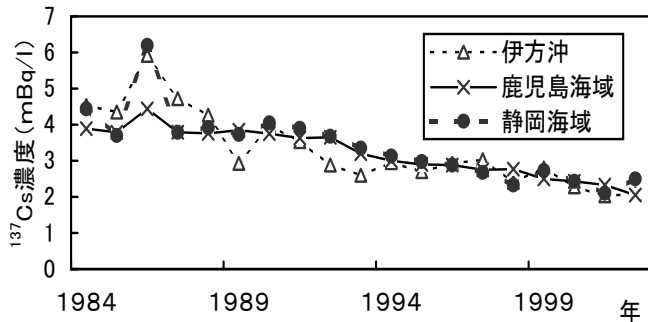


図13 海域における¹³⁷Cs濃度の推移

表3 魚類の濃縮係数

試料 ^(注1)	濃縮係数 ^(注2)
カサゴ	60
メバル	57
ベラ	67
カワハギ	31

(注1) 試料については、1989～2003年のデータを用いた。

(注2) 魚類 (Bq/kg生) / 海水 (Bq/l)

2. 魚類について

1) 海水中と魚類中の¹³⁷Cs濃度の関係

海水中の¹³⁷Cs濃度と、魚類中の¹³⁷Cs濃度の関係について検討した。

魚類の採取月は漁期等を考慮し海水と同一でない場合があった。そこで、両者の関係を求めるに当たり、同一月の調査データがある場合はそれらに対応させ、魚類の採取月に海水の調査データがなかった場合は、直近の海水¹³⁷Cs濃度を対応させた。これより求めた海水と魚類中の¹³⁷Cs濃度の関係を図14～17に示した。4魚種ともに海水中の¹³⁷Cs濃度と有意な相関がみられ、魚類中の¹³⁷Cs濃度は海水中の¹³⁷Cs濃度の影響を受けていることが分かった。

3. 魚類の濃縮係数

環境中に放出された放射性核種は様々な経路を経て人体に取り込まれ、被ばくを与える。各経路の評価として一般的に濃縮係数が用いられる^{5) 6)}。魚類の濃縮係数は、その魚類の生息する環境海水における放射能濃度の比(魚類中¹³⁷Cs濃度(Bq/kg生)/海水¹³⁷Cs濃度(Bq/l))で表され、魚類が放射能濃度を海水濃度の何倍まで濃縮しているかを示す値である。それは、生体が摂取する餌中の放射能濃度や環境要因(水温、塩分)によって影響を受けるとされる^{7) 8)}。伊方沖で採取した4魚種について、濃縮係数を求めた結果を表3に示す。濃縮係数については、笠松^{6) 8)}らの報告で、カサゴ57、メバル82の結果が報告されており、これらの値に対し伊方沖のメバルについては低い結果が得られた。

また、カワハギの濃縮係数については、他の3魚種と比べて低い数値である。これはカワハギの食性がヒドロ虫類、貝類、海藻類等であり、メバル及びカサゴの食性が食物連鎖でヒドロ虫類等より上位の甲殻類、小魚である⁹⁾ことに起因すると考えられる。

4 チェルノブイリ原子力発電所事故以降の¹³⁷Cs濃度の推移

チェルノブイリ原子力発電所事故前後各3年間の環境試料中の¹³⁷Cs濃度の平均値を表4に示す。

降下物については、事故時期を含む3年間(1986～1988)が他の3年間に比べ顕著に高い濃度を示している。海水、海底土及び魚類については比較的各3年間の差は少ない。このことは、海水や海底土、魚類については、

表4 チェルノブイリ原発事故発生の前後における各環境試料の平均値について

年	試料	降下物 Bq/m ² /月	海水 mBq/l	海底土 (入江) Bq/kg乾土	カサゴ Bq/kg生	メバル Bq/kg生	カワハギ Bq/kg生
1983～1985年		0.068	4.61	1.67	0.26	0.38	0.14
1986*～1988年		5.17	4.97	2.27	0.30	0.31	0.19
1989～1991年		0.029	3.48	1.54	0.24	0.24	0.12

* チェルノブイリ原子力発電所事故(1986年4月26日)発生以降のデータ

新たな¹³⁷Csの供給がなくても、以前からの影響が長期生き続けていることを示していると考えられる。

また、環境中への¹³⁷Csの供給は、1986年のチェルノブイリ事故に伴うものが最後であり、その後一定の減少を示している。

1986年以降の魚類中¹³⁷Cs濃度について、最も近似した対数曲線を図18～21に示す。

各図中には、最近3年間の検出下限値の最大値をAとして示した。各魚種毎のAを近似式に代入して計算した結果、今後測定可能な年数は2003年を起点にすると、カサゴ約38年、メバル約54年、ベラ約468年、カワハギ約7年であった。また、個々の測定値の変動を考慮すると測定可能年数はさらに短くなると考えられる。

5 今後の放射能濃度測定調査の展開

現在、本県が内部破ばく評価のためのモニタリングに使用している魚種は4魚種であるが、先の項で述べたように一部の魚種については、近い将来¹³⁷Cs濃度が検出できなくなる可能性が高い。また、魚体の大きさ等により¹³⁷Cs濃度に変動が認められるとの報告がある¹⁰⁾ことから、食物連鎖上の高位に位置し、魚体の大きさ及び雌雄年齢等を判断することによって、変動因子を少なくできる魚種を対象としてきめ細かい調査をしていくことが、今後の原子力発電所の監視を継続していくために有効であると考えられる。

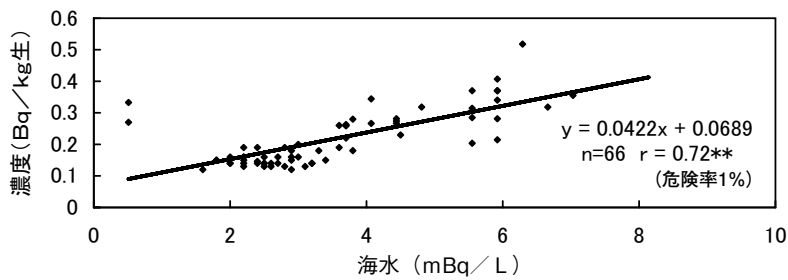


図14 海水とカサゴの¹³⁷Cs濃度の関係

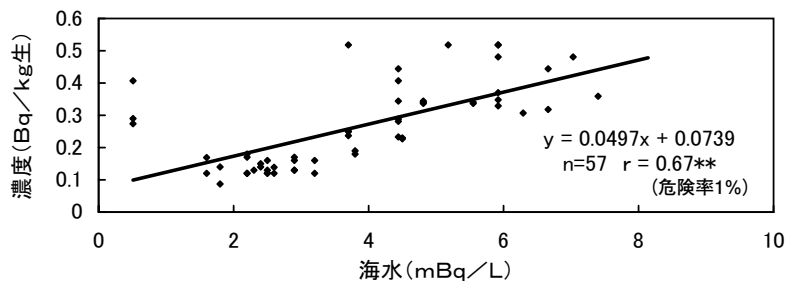


図15 海水とメバルの¹³⁷Cs濃度の関係

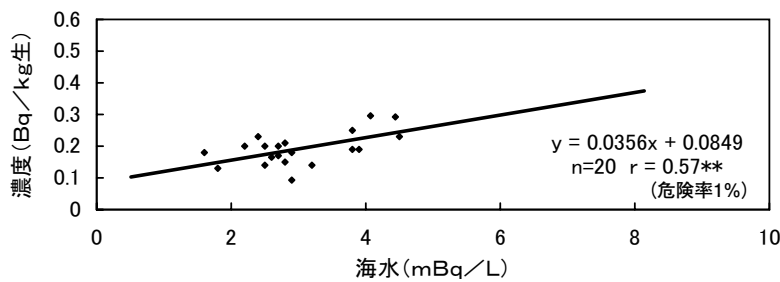


図16 海水とベラの¹³⁷Cs濃度の関係

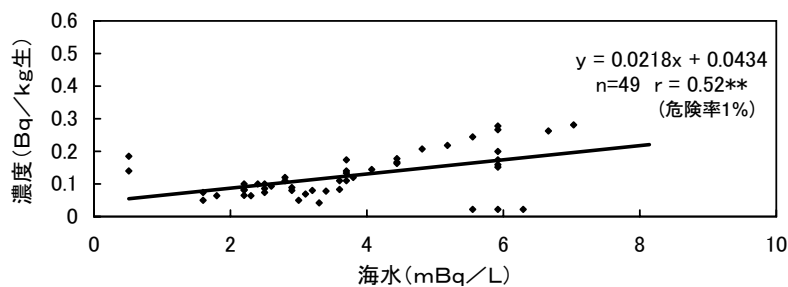


図17 海水とカワハギの¹³⁷Cs濃度の関係

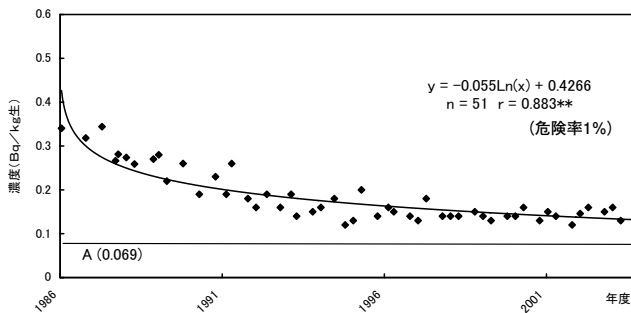


図18 カサゴ¹³⁷Cs濃度

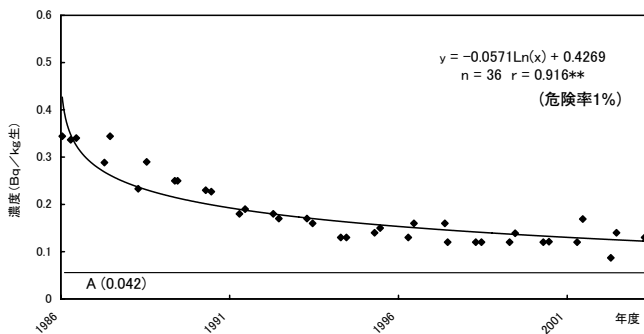


図19 メバル¹³⁷Cs濃度

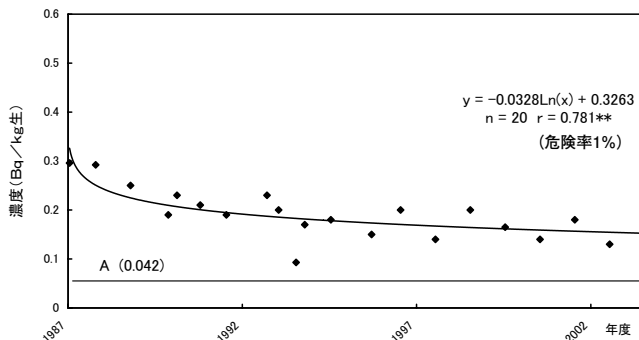


図20 ベラ¹³⁷Cs濃度

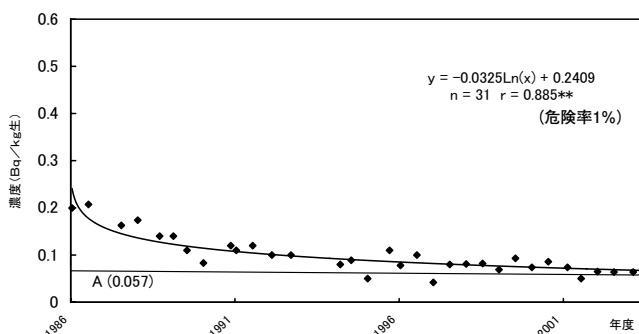


図21 カワハギ¹³⁷Cs濃度

まとめ

- (1) 降下物中の¹³⁷Csの濃度については、中国等の大気圏内核実験やチェルノブイリ原発事故の影響で高くなった時期があったが、それ以降は減少しており、近年はほとんど検出されなくなった。
- (2) 海水中の¹³⁷Cs濃度については、チェルノブイリ原発事故以降緩やかな減少傾向がみられており、降下物中の¹³⁷Cs濃度と有意な相関がみられた。近年の¹³⁷Cs濃度は平均値で2.1mBq/lであり、鹿児島海域、静岡海域とほぼ同程度であった。
- (3) 海底土中の¹³⁷Cs濃度については、チェルノブイリ原発事故以降緩やかな減少傾向がみられた。また、海水中の¹³⁷Cs濃度と有意な相関があった。
- (4) 魚類については、4種類ともに¹³⁷Csが検出され、チェルノブイリ原発事故後、減少傾向がみられた。また、海水中の¹³⁷Cs濃度と有意な相関がみられ、濃縮係数を求めると、魚種によって違いがみられた。
- (5) 魚類中の¹³⁷Cs濃度について、今後測定可能な年数を求めるとカワハギでは約7年であり、測定値の変動を考慮すると測定年数はさらに短くなると考えられる。
- (6) 魚類中の¹³⁷Cs濃度の推移を今後長期的に監視していくには、食物連鎖上の高位に位置し、魚体の大きさ及び雌雄年齢等を判断することによって、変動因子を少なくできる魚種を対象としたきめ細かい調査をしていくことが有効であると考えられる。

文献

- 1) 柳 哲雄：「瀬戸内海の自然と環境」
- 2) HIDETAKA Takeoka: Exchange and Transporttime scales in the Seto Inland sea
- 3) 環境放射線：日本分析センターデータベース
- 4) 平成13, 14年度他海洋放射能総合評価事業成果報告書, 財団法人 海洋生物環境研究所
- 5) 本多照幸：日本海水学会誌, 第55巻 第1号 2001
- 6) 笠松不二男：海洋と生物 122 (vol.21.no.3) 1999
- 7) 笠松不二男他：JACANo.341999
- 8) 笠松不二男：海産生物と放射能 Radioisotopes, 48, 266-282 (1999).
- 9) 魚類解剖大図鑑：P148, P158
- 10) 高田和夫：保健物理, 38 (2), 128~139 (2003)