

海産生物中の
放射性セシウム濃度と
その変動

海産生物中の放射性セシウム濃度とその変動

目 次

はじめに.....	1
海産生物試料.....	2
放射能の分析.....	3
海産生物中の放射能濃度.....	5
おわりに.....	17
関連文献.....	18

はじめに

環境中の放射線（放射能とは放射線を出す能力）には、自然放射線と人工放射線の2種類があります。自然放射線は、地球誕生以来存在する自然の放射性物質から出る放射線や宇宙から地球にふりそそぐ放射線です。人工放射線は、核爆発実験や原子力発電所など人間の活動に由来する放射性物質から出る放射線です。現在、自然放射性物質以外で日本沿岸の海や海産生物など海洋環境中に検出される放射性物質のほとんどは、1940年代からはじまった大気圏内での核爆発実験によって放出された放射性物質が直接あるいは間接に海に導入されたものです。

この放射性物質（放射性核種ともいう）の中でセシウム-137 (^{137}Cs) は、核爆発により生成される核分裂生成物中に比較的多量に含まれ、また物理的半減期（物理的に崩壊していき濃度が半分になる期間）が長く（約30年）、生物に取り込まれやすいために、環境放射能調査で鍵核種とされています。この ^{137}Cs の海洋環境中における濃度は、核爆発実験が最も頻繁に行われた1960年代前半がピークで、その後徐々に減少し、現在はピーク時の約1/10以下に減少しているものの海洋環境中には引き続き検出できる範囲で存在しています。

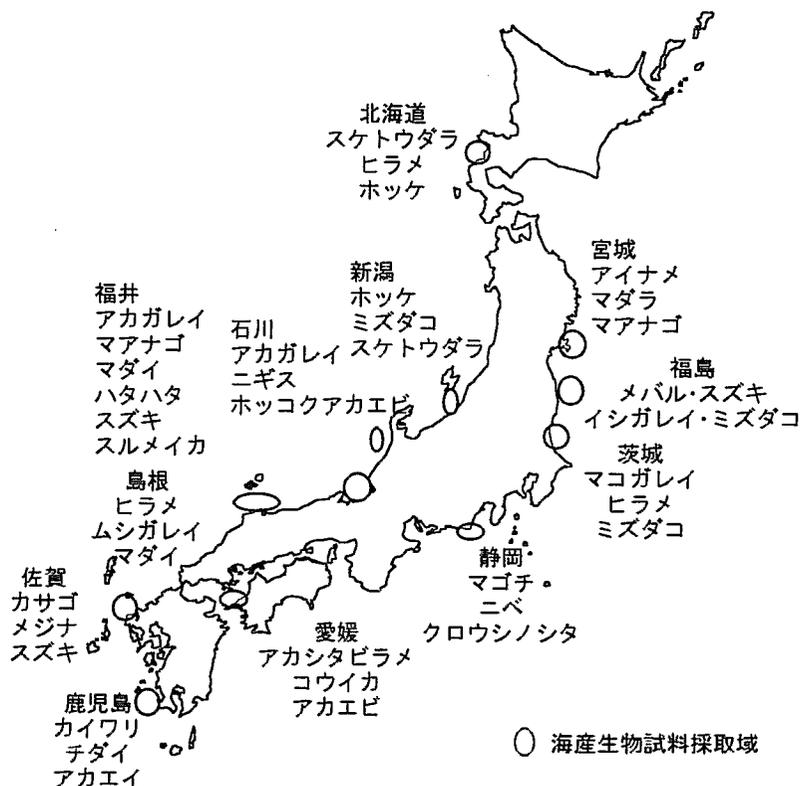
原子力発電所が建設されると、その周辺海域の漁場でとれる魚などが原子力発電所からの放射能の影響を受けていないことを確かめる必要があります。これまで、原子力発電所の近傍の海域では、地方自治体と電気事業者などによって放射能調査が行われてきましたが、この海域に続く周辺の海域での調査は、ほとんど行われていませんでした。

昭和58年度から、当研究所では科学技術庁の委託により海洋環境放射能総合評価事業の中で原子力発電所等周辺海域放射能調査を開始しました。この小冊子では、15年近くにわたって実施してきた放射能調査結果から、日本沿岸の海

産生物中の人工放射性核種，特に¹³⁷Cs濃度とその挙動を紹介するものです。

海産生物試料

海産生物試料は，原子力発電所周辺海域における漁場で漁獲量が多い種であり，当該海域での生活期間が長い種であることを考慮して選ばれています。選定された生物種を，この漁場に主として出漁している漁業協同組合の市場で，漁獲した月日と場所を確認し，1種当たり生鮮重量約20kgを1試料として，調査海域ごとに3試料ずつ年2回購入しています。調査海域における供試料の生物種と採取海域を第1図に示しました。なお，福島海域と福井海域は，原子力発電所の設置が多いことからそれぞれ2海域にわけて調査しています。



第1図 試料生物種と採取海域

放射能の分析方法

前処理

試料魚の放射能分析前の処理および分析は、科学技術庁放射能測定法シリーズに準拠して行っています。試料魚は、表面の水分をよく拭き取った後、各個体毎に体長・体重を計測します。エビ類等 1 試料中の個体数が優に1000尾を超える試料については無作為に100尾を抽出し、この体長・体重を平均体長・体重とします。

硬骨魚については、筋肉部・内臓・脊椎骨・その他の 4 部位に分割し、軟骨魚（アカエイ）については筋肉部・内臓・その他の 3 部位に、イカ・タコ類については、筋肉部・内臓の 2 部位に分割します。また、エビ類（甲殻類）は筋肉部・その他の 2 部位に分割します。試料魚の胃に含まれていた内容物はその他としています。現在分析しているのは、これら各部位のうち主に食用に供されている筋肉部です。

分割した試料の重量を計測し、その他以外の試料の全量を部位別に大型磁製皿に入れ、熱風乾燥機（第 2 図）を用い105℃で乾燥後、大型電気炉に移し450℃で24時間灰化します。灰化した試料は、粉碎後0.35mmのふるいを通し、よく混合して放射能分析用試料とします。



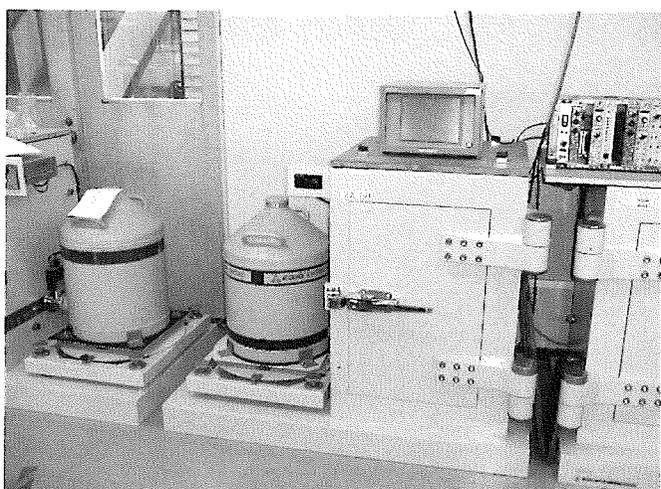
第 2 図 供試料を部位別に分取した磁製皿と乾燥機

放射能分析 - γ 線放出核種分析

海産生物の分析対象核種は、 γ 線（ガンマ線）放出核種である ^7Be 、 ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Fe 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 、 ^{95}Zr 、 ^{95}Nb 、 ^{103}Ru 、 ^{106}Ru 、 ^{125}Sb 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{140}Ba 、 ^{144}Ce 、 ^{208}Tl 、 ^{214}Bi 、 ^{228}Ac 、 ^{40}K の20核種です。ただし、現在人工放射性核種で検出されているのは ^{137}Cs だけです。灰化した筋肉部の試料を高さ55mm×内径48mmの容器に詰め（第3図）、ゲルマニウムGe半導体検出器（第4図）を用いた γ 線スペクトロメトリで計測を行います。試料は7万秒以上（計数効率20%以上）測定します。



第3図 灰試料を入れた容器



第4図 ゲルマニウム半導体検出器

海産生物中の¹³⁷Cs放射能濃度

まず、日本沿岸海産生物試料（筋肉部）中の¹³⁷Cs濃度を、これまで得られたデータに基づき示します。第1表に1984年から1997年までの14年間に日本沿岸で採取され放射能を測定した海産生物31種（軟骨魚1種，硬骨魚25種，甲殻類十脚目2種，頭足類3種）中の¹³⁷Cs濃度を示しました。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，被ばくを与えます。

海洋環境の場合，汚染した海水や海底土から直接に外部被ばくを受ける場合もありますが，より一般的で重要なのは，海産生物という食物を通して人体内に取り込まれ内部被ばくを受ける経路です。この経路を通しての被ばく評価の基礎データとして，放射性核種の人体内取り込み量を推定するのに，一般的に濃縮係数（生物中濃度／海水中濃度）が用いられています。この基礎となる考え方は，生物はその環境となんらかの平衡を保っており，この平衡関係を表す定数を用いて，環境中でのレベルから生物のレベルを推定しようとするものです。この場合，生物・環境の平衡関係が確かに成立しているかどうか重要です。

しかし，一般的には海洋環境中の放射性核種の影響評価では，生物－環境の平衡関係を仮定できることが多く，特に，完全にはこれが成立しなくても，平衡を仮定して評価した方が安全側になるケースが多い事から，多くの場合に濃縮係数を用いる方法がとられています。この濃縮係数もあわせて表1に示しました。

第1表 日本沿岸海産生物中の¹³⁷Cs濃度と濃縮係数

種	採取海域	¹³⁷ Cs 濃度範囲 (Bq/kg生)	¹³⁷ Cs 濃縮係数 範囲	平均 濃縮係数 (±s.d.)	試料 数
軟骨魚類					
アカエイ	鹿児島	0.23-0.48	76-126	95±14	20
軟骨魚類					
マアナゴ	宮城・福井	0.04-0.20	16-70	41±10	35
ニギス	石川	0.18-0.30	64-93	77±10	14
スケトウダラ	新潟・北海道	0.24-0.46	82-119	97±10	34
マダラ	宮城・福島	0.12-0.59	43-155	77±24	40
カサゴ	佐賀	0.11-0.27	37-67	57±8	20
メバル	福島	0.19-0.37	70-98	82±8	18
マゴチ	静岡	0.11-0.25	35-73	55±9	18
アイナメ	宮城	0.09-0.25	33-68	51±13	10
ホッケ	新潟・北海道	0.18-0.46	61-114	82±15	40
スズキ	佐賀・福井	0.22-0.67	71-176	98±19	50
カイワリ	鹿児島	0.15-0.32	53-92	64±9	18
マダイ	島根	0.12-0.26	41-65	54±7	31
チダイ	鹿児島	0.12-0.25	33-64	43±8	20
ニベ	静岡	0.11-0.19	40-57	48±5	15
メジナ	佐賀	0.10-0.26	32-67	49±9	20
ハタハタ	石川	0.08-0.16	22-42	35±6	11
ヒラメ	茨城・島根	0.15-0.34	43-86	68±12	54
アカガレイ	福井	0.09-0.24	29-61	44±8	41
ソウハチ	北海道	0.15-0.28	52-73	60±7	10
マガレイ	福島	0.08-0.16	24-42	31±5	16
マコガレイ	茨城	0.09-0.21	30-54	40±8	10
イシガレイ	福島	0.09-0.40	30-106	64±20	20
ムシガレイ	島根	0.13-0.22	39-62	47±12	19
アカシタビラメ	愛媛	0.10-0.16	32-48	39±5	13
クロウシノシタ	静岡	0.06-0.14	19-37	28±4	16
甲殻類					
十脚目					
サルエビ	愛媛	0.05-0.15	13-48	32±10	7
ホッコクアカエビ	石川	0.04-0.09	10-33	21±7	14
頭足類					
コウイカ	愛媛	ND-0.08	-30		14
スルメイカ	福井	ND-0.09	-23		20
ミズダコ	茨城・新潟	ND-0.06	-17		69

ND: 検出下限値未満(計測値が計測差の3倍未満のもの)。

表2表 同じ種における ^{137}Cs 濃度の海域差

種	採取海域	平均 濃縮係数 (\pm s.d.)	試料数	平均 体重 (g) (\pm s.d.)
スケトウダラ	北海道	96 \pm 11	4	481 \pm 41
	新潟	95 \pm 7	8	747 \pm 260
スズキ	福島	97 \pm 11	8	2925 \pm 826*
	福井	95 \pm 6	4	1437 \pm 304*
	佐賀	91 \pm 12	8	2359 \pm 1101
ヒラメ	北海道	62 \pm 3	4	693 \pm 205*
	茨城	69 \pm 12	7	2716 \pm 1581*
	福井	70 \pm 17	4	707 \pm 366*
	島根	73 \pm 8	8	968 \pm 290*
ホッケ	北海道	92 \pm 10**	8	449 \pm 55
	新潟	67 \pm 7**	8	448 \pm 97
マアナゴ	宮城	32 \pm 7**	8	237 \pm 66**
	福井	46 \pm 7**	7	657 \pm 118**
マダイ	島根	50 \pm 4	8	566 \pm 102*
	福井	50 \pm 7	4	337 \pm 616*
マダラ	宮城	68 \pm 5	5	3848 \pm 1318
	福島	76 \pm 16	8	3776 \pm 842

* : 有意水準 5 % で差が認められる, ** : 同 1 % で差が認められる。

海産生物中の ^{137}Cs 濃度の変動とその特徴

海産生物中の ^{137}Cs 濃度は第一義的には海水中の濃度に依存しますが、その他に海産生物の生物的・生態的特性や棲息域の環境要因により変化することが知られています。

それでは日本沿岸域の海産生物中の ^{137}Cs 濃度水準とその変動を第 1 表を通して見てみます。海産生物中の ^{137}Cs 濃度を概観すると、濃度は魚類で高く、

エビ・カニ類の甲殻類、そしてイカ・タコ類の頭足類の順に低くなっています。

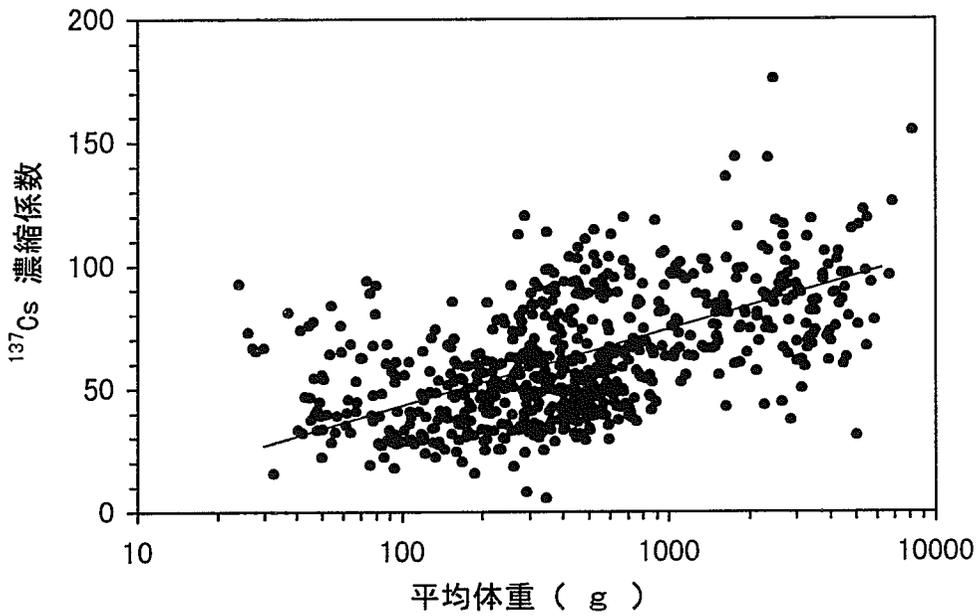
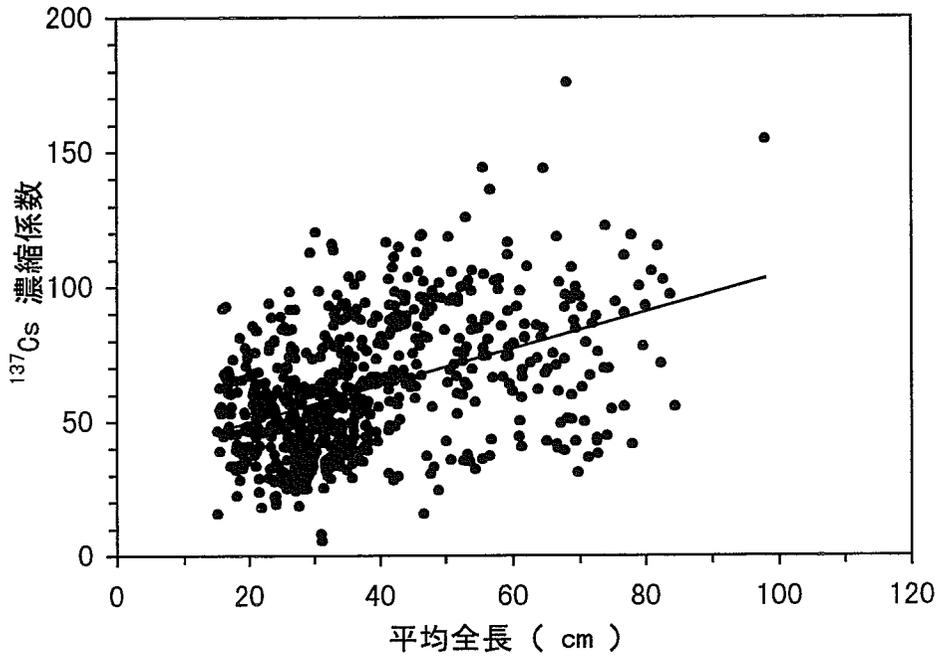
魚類では、マアナゴの0.04からスズキの0.67Bq/kg生鮮物と17倍の開きが見られます。甲殻類十脚目(サルエビ、ホッコクアカエビ)は、0.04から0.15 Bq/kg生鮮物、頭足類(コウイカ、スルメイカ、ミズダコ)は、検出下限未満(分析誤差の3倍未満)から0.09 Bq/kg生鮮物です。

硬骨魚の¹³⁷Cs濃縮係数の範囲は、16(マアナゴ)~176(スズキ)であり、甲殻類十脚目では10(ホッコクアカエビ)~48(サルエビ)、頭足類では最大30(コウイカ)です。すこし詳しくみてみると、魚類では濃縮係数の高い種はスズキ、マダラやアカエイで、低い種はクロウシノシタやマガレイで、同じ魚類でもその差は4倍近くあります。また、甲殻類(十脚目)は、魚類より若干低く、頭足類のイカ・タコは更に低い値を示しています。このように種によってかなり¹³⁷Csの濃縮係数に差が見られます。

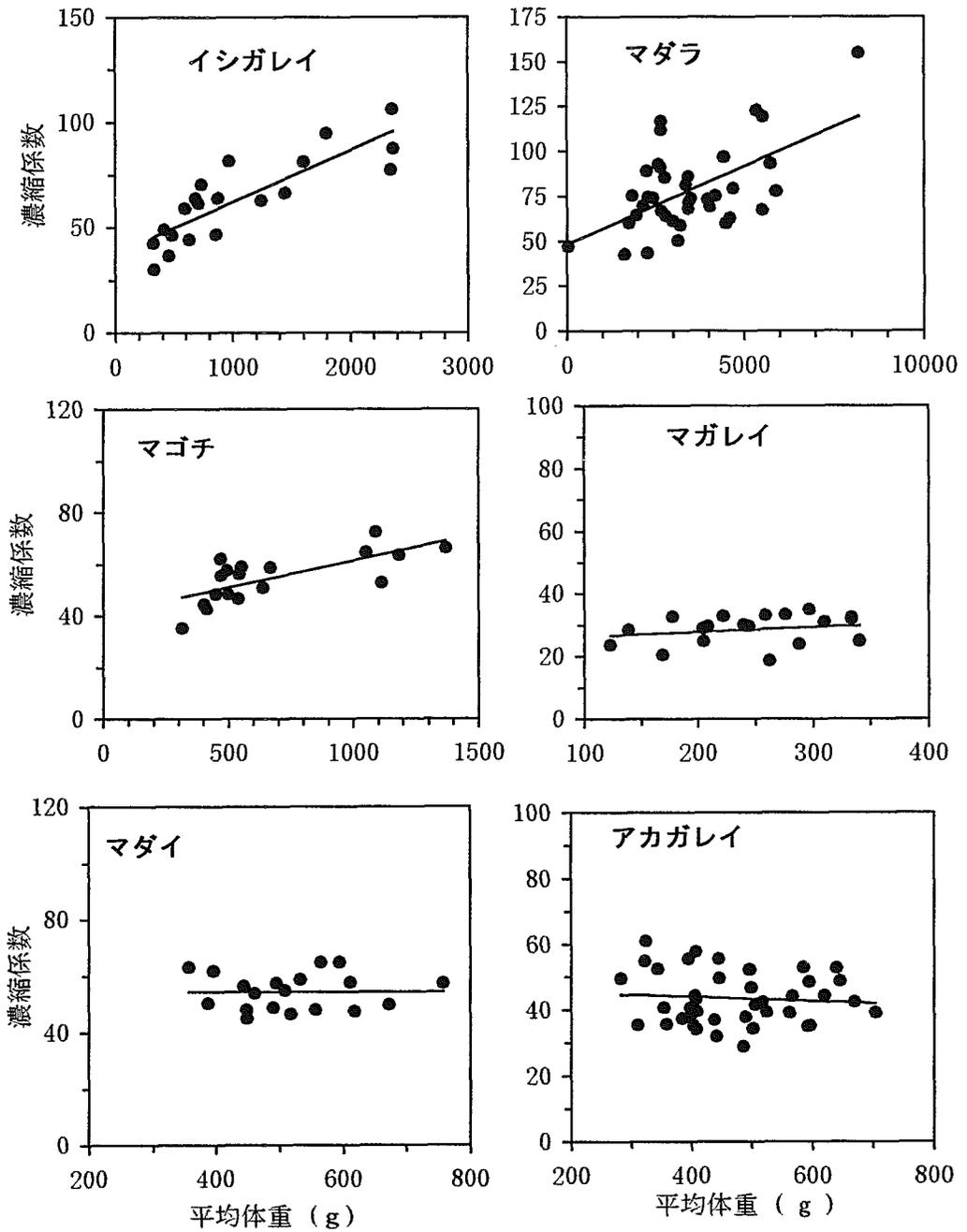
¹³⁷Cs濃度と生物生態的要因

次に更に詳しく¹³⁷Cs濃度と生物的特性との関係を見てみます。第5図には、海産魚30種678試料における魚体の大きさ(平均全長と平均体重)と¹³⁷Cs濃縮係数との関係を示しました。当てはめた回帰直線の傾きは、ゼロより有意に大きい(有意水準5%)ことから、大型の供試魚ほど濃縮係数が高いことを示しています。大型のものほど¹³⁷Cs濃度が高い傾向が示されましたが、この傾向が魚類全てに当てはまる普遍的なものかを見るために、種毎に詳しく見てみます。調べた14種の海産魚では、大きさと¹³⁷Cs濃度との間に傾きの程度に差があるものの、アカガレイを除いた全ての種で正の関係が見られました。

第6図に平均体重と¹³⁷Cs濃縮係数の関係について典型的な6例を示しました。イシガレイ、マダラやマゴチでは、確かに大きさが大きくなるにしたがって、¹³⁷Cs濃縮係数が有意に大きくなりますが、一方マガレイ、アカガレイ、マ

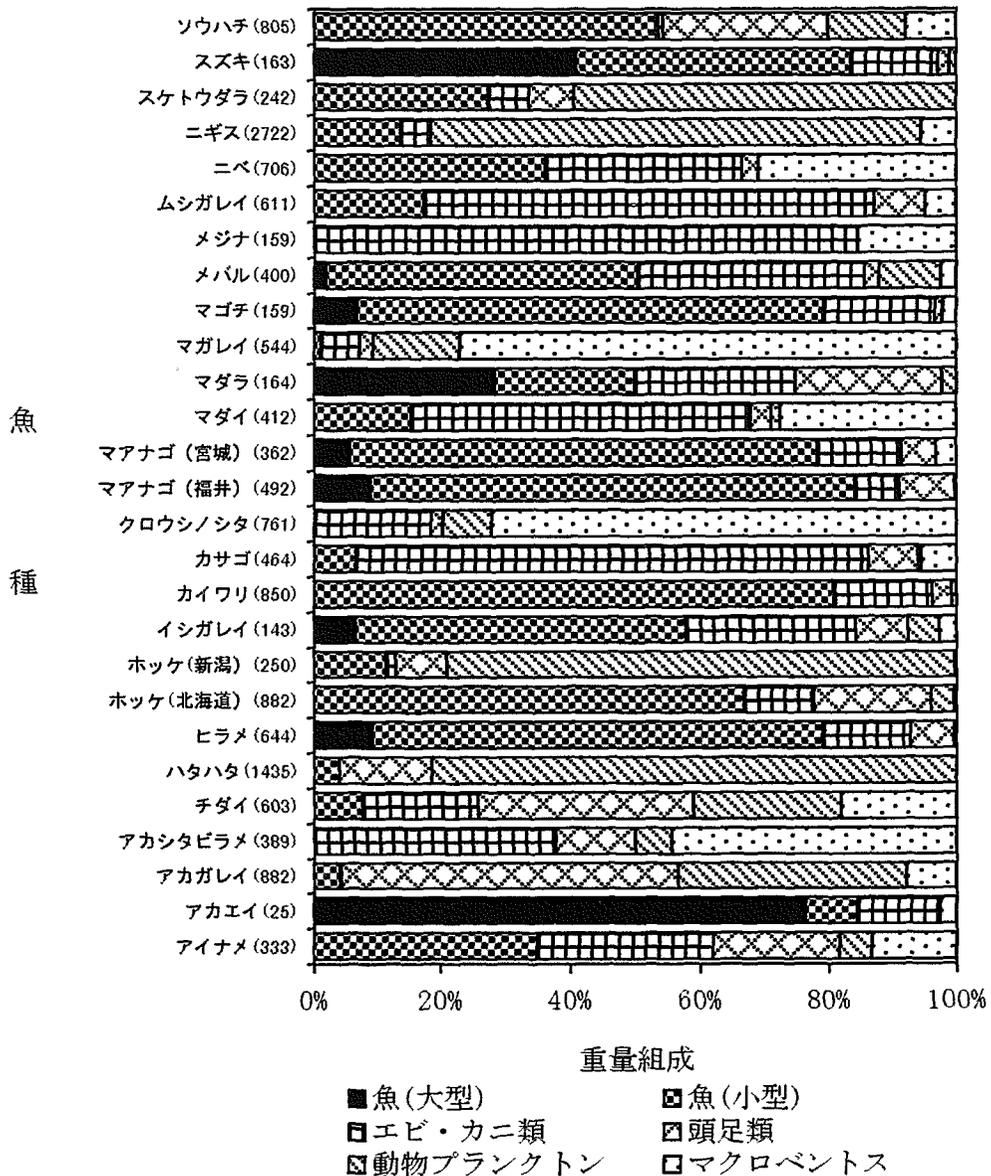


第5図 海産魚試料の平均全長，平均体重と ^{137}Cs 濃縮係数



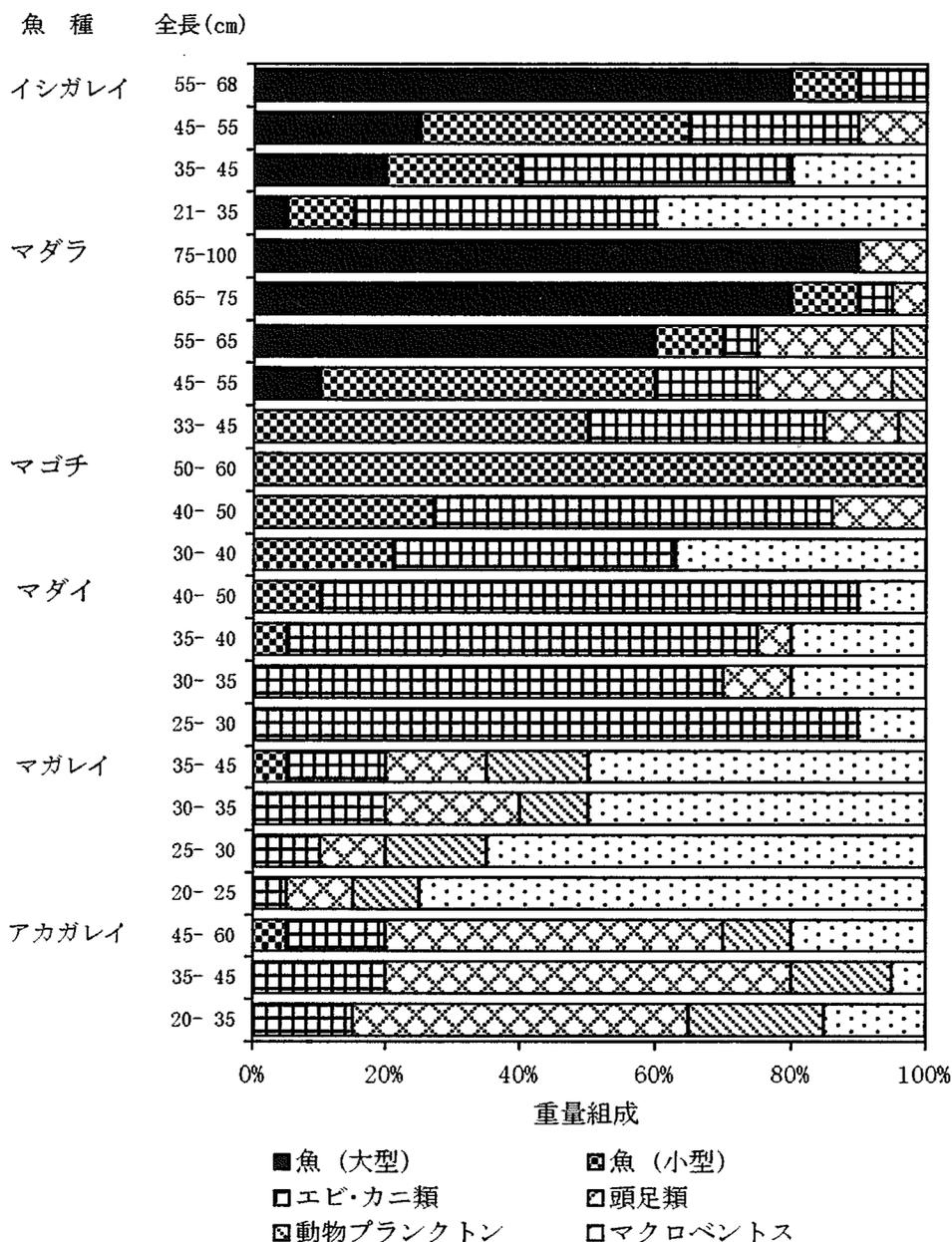
第6図 海産魚6種の平均体重と ^{137}Cs 濃縮係数

ダイでは平均体重が大きくなっても¹³⁷Csの濃縮係数について有意な増加は見られません（回帰直線の傾きは正であるがゼロより有意に離れていません）。これは、漁獲対象（成魚）である供試料の範囲内では¹³⁷Cs濃縮係数（あるいは濃度）の増加は、単純に大きさの関数ではないことを意味していると考えられます。



第7図 海産魚試料の胃内容物重量組成。()内は調査尾数

なぜ大きくなるにしたがって ^{137}Cs 濃度が高くなる種と濃度が高くない種があるのでしょうか。つぎに、魚が食べている餌との関係を見てみました。第7図には海産魚27種の胃内容物重量組成を示しました。魚類は一般に日和見的な食性を有しており、一度だけの胃内容物調査では、その種あるいは個体群

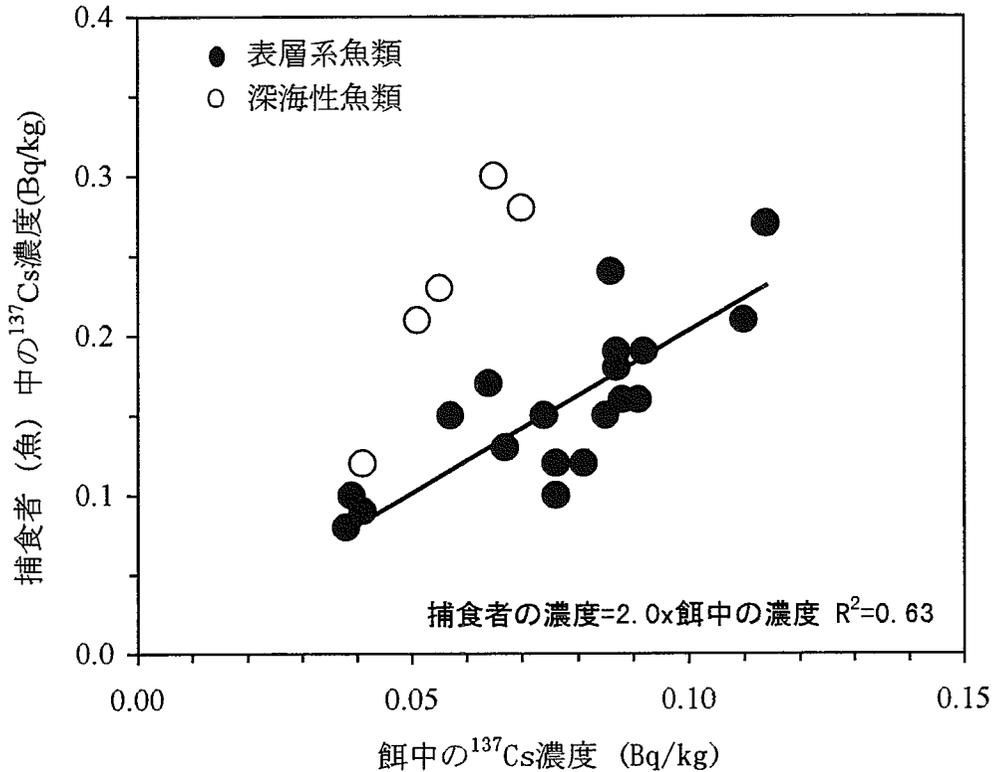


第8図 海産魚6種の平均全長の変化と胃内容物組成

の食性を十分に記述できません。そこで、4年間合計6シーズン（春と秋）で調査を行いました。これらの組成から、大型の魚を摂餌しているスズキやマダラの¹³⁷Cs濃度が高いこと、一方動物プランクトンやマクロベントス（主に多毛類）を摂餌しているマガレイやシタビラメ類の¹³⁷Cs濃度は低いという傾向が明らかになりました。

魚の大きさと¹³⁷Cs濃度との関係さをさらに見てみるために、大きさの変化（魚類の成長）に伴う餌の変化と¹³⁷Cs濃度との関係を調べてみました。第8図に、第6図で示した4魚種の成長（全長の増加）にともなう胃内容物組成変化を示しました。大きさが大きくなる（全長が増加する）にしたがい、魚体中の¹³⁷Cs濃度が増加するイシガレイ、マダラやマゴチでは、成長に伴い餌生物種を¹³⁷Cs濃度がより高い魚などの餌種へと変えていました。一方、大きさが大きくなっても¹³⁷Cs濃度が増加しないマガレイなどでは、成長に伴っても餌生物種を変化させず、ほぼ同じ餌種で推移していることが明らかとなりました。どうやら魚類の大きさと¹³⁷Cs濃度との関係を支配している要因は摂餌している餌生物種、すなわち餌の¹³⁷Cs濃度にある可能性が示唆されました。なお、アカガレイに関しては、成長するにともない¹³⁷Cs濃度の低いドスイカなど深海性小型頭足類に餌を変化させていることがわかっており、これが影響していると考えています。

餌からの¹³⁷Cs濃度の影響をより定量的に見てみると、表層系の魚類（ここでは、水深約100m以浅の海産魚）では、摂餌していた餌の¹³⁷Cs濃度に対して正の強い相関関係があり、魚体中の¹³⁷Cs濃度は、餌の¹³⁷Cs濃度の約2倍（生物濃縮2.0、95%信頼区間1.8-2.2）になるという値が得られました（第9図）。また、海産魚中の¹³⁷Cs濃度は魚の食地位（栄養段階）が上がるにしたがって増加することが示唆されました（第10図）。

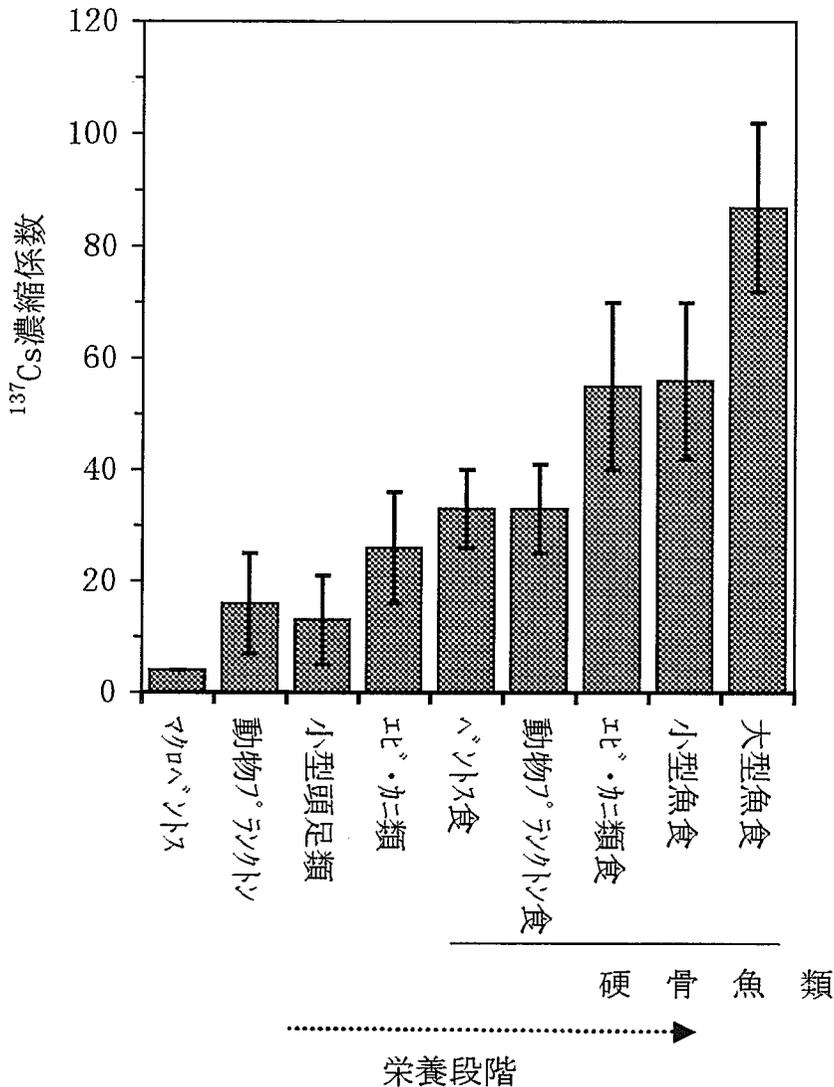


第9図 餌中の¹³⁷Cs濃度と捕食者(魚)の¹³⁷Cs濃度

¹³⁷Cs濃度と環境要因

海産魚中の¹³⁷Cs濃度水準が、魚の食性に強く影響を受けることを示しましたが、それでは魚体中の¹³⁷Cs濃度の水準と変動が、すべて餌からの寄与で説明できるのでしょうか。実は餌からでは説明できないグループがあります(図9中の白丸)。これらは、スケトウダラ、ホッケやニギスです。これらの魚種の餌生物中の¹³⁷Cs濃度はそれほど高くないにもかかわらず、これら魚種の¹³⁷Cs濃度が高くなっています。これらのことは、海産魚中の¹³⁷Cs濃度を支配しているあるいは制御している要因は、餌だけではないことを示唆しています。

そこで、これらの魚種の主な生息域を見てみると、比較的水深の深いところ(水深が150mから400m以深)に主な生息域をもっているという特徴があるこ



第10図 海産生物の栄養段階と ^{137}Cs 濃縮係数

とがわかりました。この様な深海の特徴は、環境温度が低い（水温が5℃以下）ことです。環境要因の一つである温度は、化学反応速度に影響を与えるとともに、生物の代謝活性にも大きく影響します。一般に水温が高いほど代謝が高まり、物質の取り込み・排出速度も高まると考えられています。 ^{137}Cs の取り込みや排出に関してもこれまでの研究から環境水温が約10℃下がると ^{137}Cs の排

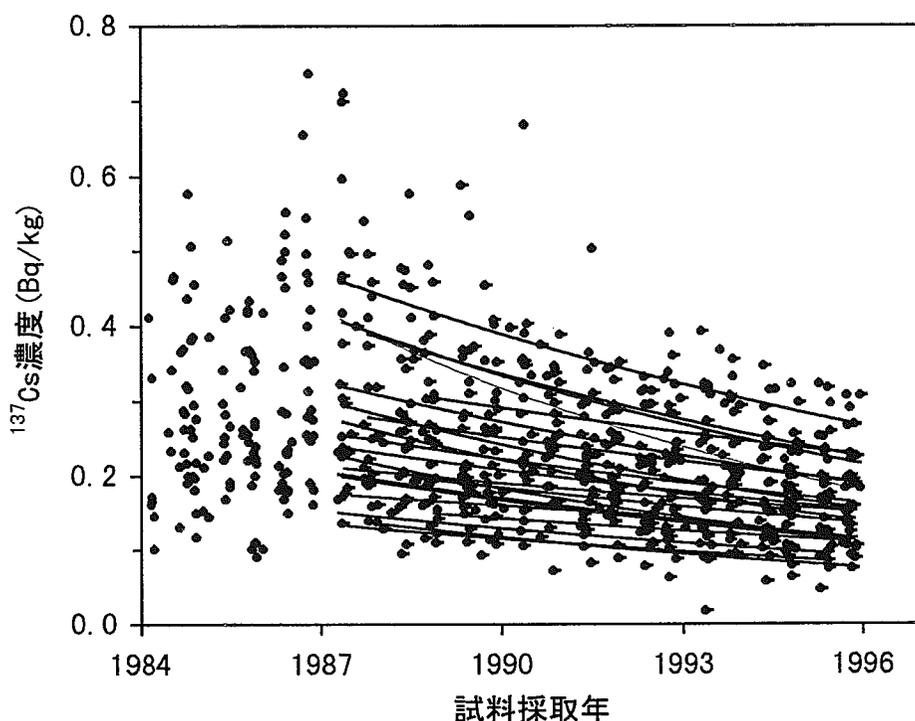
出が1.5～3倍程度長くなる（取り込みに変化がなければ、結果的に体内の濃度が高くなる）ことが示唆されており、生息域の環境水温が海産魚中の¹³⁷Cs濃度を制御している可能性があります。

その他に、海産生物にとって温度とともに重要な環境要因は水質です。なかでも塩分は重要な環境因子です。放射性核種の蓄積に関して共存元素（特に同族元素のカリウム）の存在との関係が古くから論議され研究されてきています。一般に、カリウム濃度の低い淡水に生息している魚類は、海産魚と比べて相対的に高い¹³⁷Csの濃縮係数をもつことが知られています。

スズキに関しては、その生活期間の一部を淡水と海水が交じり合う汽水域で過ごす事が知られています。海生研が行ったこれまでのラジオアイソトープを使ったスズキ幼魚飼育実験調査から、塩分が低い環境で飼育した供試魚の¹³⁷Cs排出速度は、塩分が高い環境で飼育した供試魚の排出速度より遅くなる（すなわち生物学的半減期が長くなる）ことが明らかとなっており、環境中の塩分が魚類の¹³⁷Cs濃度に影響を与える一つの要因であることも示唆されています。

海産魚中¹³⁷Cs濃度の経年変化

¹³⁷Csを含む人工放射性核種は、時間とともに物理的に崩壊しその濃度が減少します。生物中の¹³⁷Cs濃度は、この物理的崩壊による減少のほかに様々な要因が加わり様々に変化します。第11図に、1984年から1996年までに観測された海産魚23種中の¹³⁷Cs濃度の経年変化を示しました。これら23種の平均実効半減期（実際に環境中で濃度が半分になる年数）は、13年（±7年）と計算されました。¹³⁷Csの物理的半減期が30年ですから、日本沿岸の海産魚中の¹³⁷Cs濃度はそれより速い時間で減少しています。



第11図 海産魚中の ^{137}Cs 濃度の経年変化

おわりに

1860年ドイツの物理学者キルヒホッフと化学者ブンゼンによって鉱泉中から見出されたセシウム (Cs) は、その後1940年代後半から始まった核爆発実験によって生じる核分裂生成物中の放射性核種 ^{137}Cs によって世界の関心と懸念を集めることとなりました。これまで私どもは、日本沿岸で海産生物中の ^{137}Cs 濃度の変動とその変動を支配する要因を追究してきました。その結果、海産魚の ^{137}Cs 濃度の水準とそのバラツキは食性でかなり説明できることがわかりました。一方、環境水温や塩分も海産魚体内の ^{137}Cs 濃度とその蓄積に影響を与えている可能性が環境中のデータから示唆されてきています。今後、更にこれらの要因をより確証的に記述できるよう調査解析を進めていく予定です。

最後に、本リーフレットは、Kasamatsu and Ishikawa (1997), Kasamatsu and Inatomi (1998)および笠松不二男 (1999) などに示された成果の一部を中心に、海産生物中の ^{137}Cs 濃度の水準とその変動の実態を概説したものです。より詳しい内容を知りたい方は、「関連文献」を参照してください。

笠松不二男・川辺勝也・石川雄介・河村廣巳・飯淵敏夫・鈴木讓

関 連 文 献

江上信雄編. (1973). 放射能と魚類. 恒星社厚生閣.東京. 398pp.

石川雄介・丸茂恵右・笠松不二男・長屋裕・鈴木讓・坂元思無邪・中原元和・中村良一・中村清. 1997. スズキの放射性セシウム蓄積における海水塩分の影響, pp.81-82. In:第39回環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成8年度). 科学技術庁.

笠松不二男. 1999. 海産生物と放射能—特に海産魚中の ^{137}Cs 濃度を支配する要因について—. RADIOISOTOPES 48: 266-283.

KASAMATSU, F., and INATOMI, Y. (1998). The effective environmental half-life of ^{90}Sr and ^{137}Cs in coastal seawaters of Japan. J. Geophys. Res., 103,1209-1217.

KASAMATSU, F., and ISHIKAWA, Y. (1997). Natural variation of radionuclide ^{137}Cs concentration in marine organisms with special reference to the effect of food habits and trophic level. Mar. Ecol. Prog. Ser., 109:109-120.

SUZUKI, Y., ISHIKAWA, Y. KASAMATSU, F., NAGAYA, Y., SAKAMOTO, S., NAKAHARA, M. and NAKAMURA, R. (1998). Effect of environmental conditions on Cs-137 accumulations in Japanese seabass(Lateolabrax Japonicus). Abstract,in International Symposium on Marine Pollution, Monaco, Oct., 1998.



財団法人 海洋生物環境研究所
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

事務局 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町3-29 帝国書院ビル5階
TEL 03(5210)5961 / FAX 03(5210)5960

中央研究所 〒299-5106 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300
TEL 0470(68)5111 / FAX 0470(68)5115

表証試験場 〒945-0322 新潟県柏崎市荒浜4-7-17
TEL 0257(24)8300 / FAX 0257(24)5576

ホームページ <http://www.kaiseiken.or.jp/>