

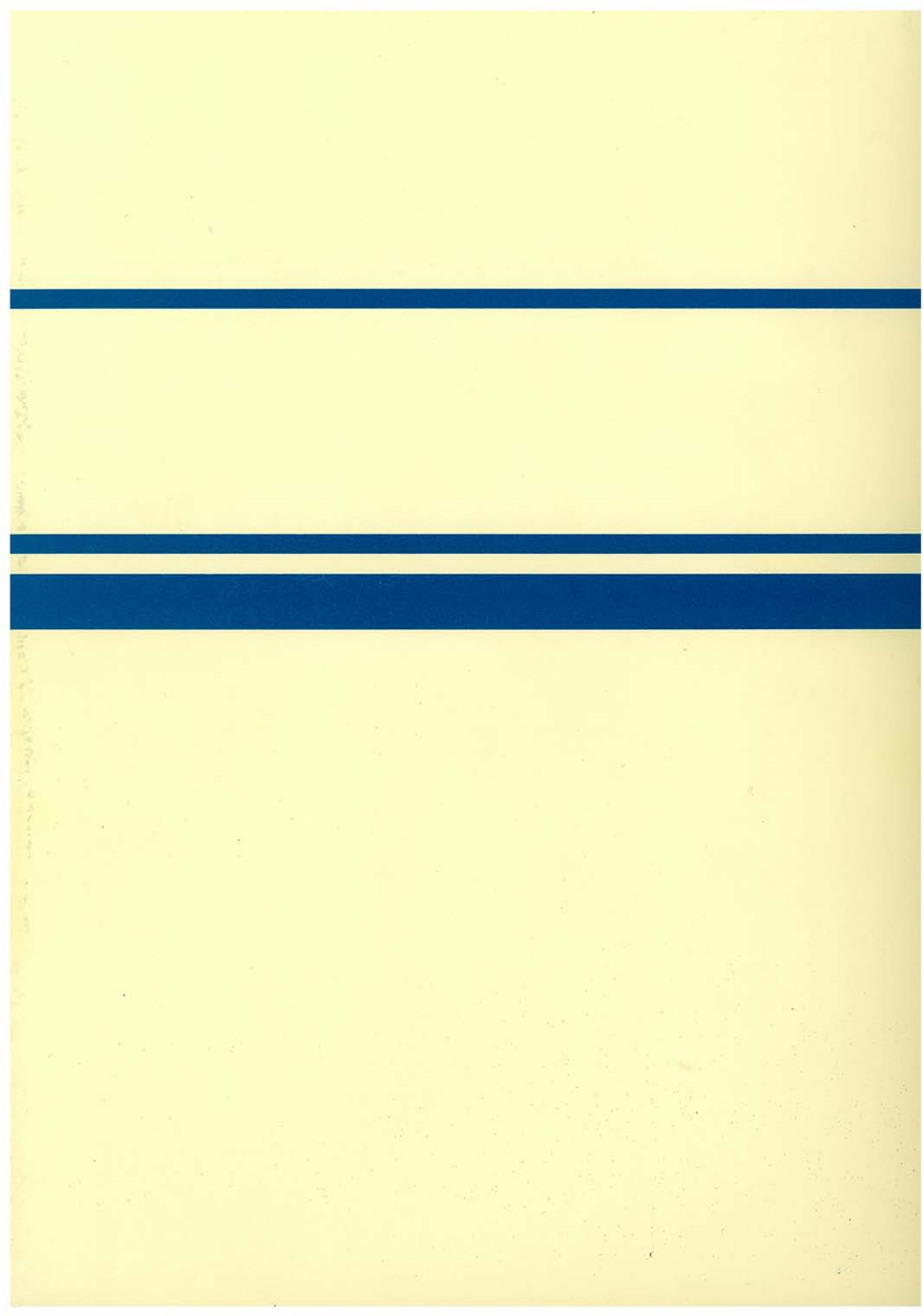
RWMC-96-P-18

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

財団法人

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
放射性核種の移行

ENVIRONMENTAL PARAMETER SERIES 6

Concentration Factors
of
Radionuclides
in the Marine Organisms

Radioactive Waste Management Center

まえがき

日本における原子力利用の歩みは、安全研究の成果を生かしつつ、常に安全性を確保しながら進展して参りました。今後も引き続いて、科学技術の粋を結集して、安全確保に努めることが大切であると考えます。

人間の生活する環境における放射能を安全に管理するには、人への放射性物質の移行を定量的に示す計算モデルによって被ばく線量を算定することが大切であります。すなわち、放射性核種の環境における各移行過程を定量的に表現している多くのパラメータを用いた計算モデルを設定する訳です。この計算モデルがいかに精密であっても、これに用いるパラメータが不適切では算定の結果は信頼されません。したがって、原子力施設立地の事前における安全評価や操業後の環境安全実証のために、その地域に適合して信頼性が高く、しかも実際的なパラメータを選定してゆくことが必要となります。

当センターにおきましては、合理的な環境パラメータの選定をめざしての検討を続けております。多岐にわたる環境パラメータのうちから、原子燃料サイクル施設関連の公衆の線量算定に重要で、かつ日本での検討の機会が乏しかったものから順次にとりあげて検討をしまりました。すなわち、専門科学者各位の協力によって、1988年に、「土壌から農作物への放射性核種の移行係数」についてまとめ、次いで、「土壌中における放射性核種の分配係数」、「淡水生物への放射性核種の移行係数」、「食品の調理・加工による放射性核種の除去率」、「飼料から畜産物への放射性核種の移行係数」、について順次にまとめて環境パラメータ・シリーズとして刊行し原子力関係者ならびに放射生態学などの科学者に配布してきました。このシリーズは、日本の原子力関連学会等で注目されたばかりでなく、海外の科学者の目にもとまるようになりました。そこで、IUR（国際放射生態学者連合）関係者等の要望に応じて、淡水魚関係（シリーズ No. 3）の英訳版も刊行しました。そして、今回は海洋生物関係の刊行に至りました。

さて本書は、日本の食文化の面からみても、歴史的に関わりが多く、しかも、日本人の食生活の中で、蛋白源として、また、カルシウム源として、重要な役割を果たしている海産物とこれに関連する海洋生物についての放射性核種の濃縮係数などのパラメータを集録したものです。また、諸外国におきましても、海産物の摂取は、保健食物としての評価が高まりつつある現今、本書を刊行することは好機を得ているものと思われまます。

本書の刊行にあたり、データの収集・整理にあられた線量評価パラメータ委員会主査および同委員会海洋生物分科会主査と委員ならびに協力科学者各位に心よりの御礼を申し述べます。

1996年 3月

財団法人 原子力環境整備センター

理事長 川 人 武 樹

目 次

まえがき

1. 緒 言	1
2. 濃縮係数に関する検討経緯	3
2-1. 濃縮係数に関する経緯	3
2-1-1. 濃縮係数の必要性和研究経過	3
2-1-2. 往時のデータ紹介	5
参考文献	8
2-1-3. 最近において国際的に使われている濃縮係数	12
2-1-4. IAEA Technical Reports Series No.247 (1985) 以降に 報告されている濃縮係数について	18
参考文献	18
2-2. 濃縮係数の求め方	19
2-2-1. 安定元素法	19
2-2-2. 自然界におけるトレーサー法	19
2-2-3. 室内実験によるトレーサー法	20
3. 濃縮係数の変動要因	21
3-1. 棲息環境に起因する要因	22
3-1-1. 海水中における元素の化学形	22
3-1-2. 海水中塩分濃度	25
3-1-3. 海水温度	26
3-1-4. 海水中光度	26
3-1-5. その他の要因	26
参考文献	27
3-2. 生物に起因する要因	28
3-2-1. 生物の食性	28
3-2-2. 生物の成長段階	28
3-2-3. 生物の生理特性	31
3-2-4. その他の要因	31
参考文献	36
4. 濃縮係数に関連する計算モデル	41
4-1. 動的モデル	41

4-2. 代謝パラメータ	51
参考文献	54
5. 代謝パラメーター一覧表	55
5-1. 取り込み速度定数	57
5-2. 排泄速度定数	66
5-3. 生物学的半減期	93
5-4. 消化管吸収率	137
参考文献	146
6. 濃縮係数一覧表	154
6-1. 濃縮係数一覧表をまとめるにあたって	154
6-2. オリジナル実験報告（原著論文）による濃縮係数一覧表	161
参考文献	223
6-3. 総説等による濃縮係数一覧表（政府機関等の資料も含む）	227
6-3-1. 日本（評価指針、動燃など）	227
6-3-2. 国際機関（IAEA、CECなど）	227
6-3-3. 諸外国	227
参考文献	231
6-3-4. 最近のデータ集（SAND 89-1585, UC-721, 1991）要約一覧表	233
参考文献	245
6-4. 放射能調査研究（モニタリングを含む）データから試算した濃縮係数	302
6-4-1. 国の環境放射能調査研究データからの濃縮係数試算	306
6-4-1-1. 科学技術庁・環境放射能調査研究のデータ	306
6-4-1-2. 水産庁・中央水産研究所のデータ	307
6-4-1-3. 科学技術庁・海洋環境放射能総合評価事業 （「原子力発電所等周辺海域」ならびに 「核燃料サイクル施設沖合海域」）における 財団法人・海洋生物環境研究所のデータ	311
6-4-2. 地方自治体や原子力事業者で実施している環境放射能 モニタリング・データからの濃縮係数試算	315
6-4-2-1. 青森県および日本原燃株式会社のデータ	315
参考文献	320
6-4-2-2. 茨城県、動力炉・核燃料開発事業団、等のデータ	321
参考文献	333

7. 長半減期核種の海洋生物への取り込みに関する研究の動向	334
7-1. 超ウラン元素	334
7-1-1. プランクトンおよび海藻	334
7-1-2. 無脊椎動物 (環形動物、棘皮動物、軟体動物および節足動物)	337
7-1-3. 魚類	350
参考文献	353
7-2. ポロニウム-210	355
7-2-1. 海洋におけるPo-210と海産生物による蓄積	355
7-2-2. 海産生物におけるPo-210/Pb-210比	358
7-2-3. 海洋の食物連鎖系におけるPo-210の蓄積	360
7-2-4. 海産生物におけるPo-210の代謝挙動	362
参考文献	363
7-3. テクネチウム-99	365
7-3-1. テクネチウムの水圏における挙動	367
参考文献	370
7-3-2. 室内実験によるテクネチウムの濃縮係数	371
参考文献	374
7-3-3. 日本沿岸の海洋生態系における Tc-99の分布と挙動	376
参考文献	379
8. 濃縮係数の要約表	380
8-1. 濃縮係数要約表をまとめるにあたって	380
8-2. 濃縮係数要約表	381
9. 海洋生物の摂食による人の被ばく線量試算	387
参考文献	389
線量評価パラメータ委員会および同委員会海洋生物分科会委員名簿	390
あとがき	393
CONTRIBUTORS	395
ACKNOWLEDGEMENT	397

1. 緒言

海洋における放射性核種の生物濃縮に関連するパラメータについては、既に多くの検討が行われてきたところである。即ち、国際的には、IAEA（国際原子力機関）、NEA/OECD（経済協力開発機構・原子力機関）、DOE（米国エネルギー省）などにおいて、国内的には、放射線医学総合研究所などの国立研究所や、(財)政策科学研究所、(財)原子力安全研究協会、(財)海洋生物環境研究所などによる検討のほかに、東京大学、近畿大学などの研究報告も見られる。また、実務の面からは、発電用軽水炉に関連した一部の放射性核種の海洋生物への濃縮係数（CF）は、つとに原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針（昭和51年9月28日決定、平成元年3月27日一部改訂）」に示されるに至った。

しかしながら、この指針の海産物の濃縮係数（CF）データには、再処理工場に関連するルテニウム（Ru）、セリウム（Ce）などについては記載されていない。原子力施設の種類が多様化した現在においては、被ばく線量算定のために更に多種類の放射性核種について信頼性の高い海洋環境パラメータ・データの整備が望まれる。つまり、最新の研究データに基づいたパラメータを計算モデルに用いて線量評価の精度向上を達成することが望ましい訳である。

したがって、海洋放射能による被ばく線量算定の精度向上を目指して、特に、日本原燃株式会社（JNFL）の再処理工場の本格的操業に先立って、国内外の海洋環境パラメータ・データに関する情報を収集し、データの信頼性などを勘案して整理に努めた。

(財)原子力環境整備センター（原環センター：RWMC）では、1987年から、被ばく線量算定に使用する環境パラメータに関してのデータの収集・整理を行ってきた。特に、日本において総合的に検討されていなかった事項について、専門科学者を結集した委員会において検討・整理し、下記を環境パラメータ・シリーズとして出版してきた。

- No.1 土壌から農作物への放射性核種の移行（環境パラメータ整備検討第一委員会）
- No.2 土壌と土壌溶液間の放射性核種の分配係数（環境パラメータ整備検討第一委員会）
- No.3 淡水から生物への放射性核種の移行（環境パラメータ整備検討第二委員会）
- No.3（英語版）Concentration Factors of Radionuclides in Freshwater Organisms
(Committee on Examination of Environmental Parameters)
- No.4 食品の調理・加工による放射性核種の除去率（環境パラメータ整備検討第三委員会）
- No.5 飼料から畜産物への放射性核種の移行係数（線量評価パラメータ委員会畜産分科会）

今回の海洋環境パラメータ・データの収集・検討・整理にあたっては、原環センター・線量評価パラメータ委員会に、次の二分科会を設置して検討を進めた。

- (1) 放射性核種の海洋生物への濃縮係数（CF）に関連するパラメータのデータ収集・検討・整理をする「海洋生物分科会」

(2) 放射性核種の海水懸濁物・海底堆積物に関連するパラメータのデータ収集・検討・整理をする「海水懸濁物・海底堆積物分科会」

そして、濃縮係数に関連する成果を環境パラメータ・シリーズNo.6、海水懸濁物・海底堆積物に関する成果を環境パラメータ・シリーズNo.7として刊行するものである。

海洋生物への放射性核種の濃縮係数(CF)に関連するパラメータのデータ収集にあたっては、1985年にIAEAから出版されているTechnical Reports Series No.247に記載されているデータよりも新しいものを主体とした。特に、濃縮係数(CF)データの乏しい α 核種(TRUなど)や自然放射性核種(Po-210やPb-210など)についてのデータ収集に努めた。

これらのデータの検討・整理にあたっては、総説とオリジナル実験報告を区別して、濃縮係数(CF)データの一覧表(元素別、生物種別、実験法別)に作成した。総説的文献については、最近のSANDIA REPORT(SAND89-1585・UC-721, 1991)について解説し、濃縮係数(CF)データ要約表を記載した。また、既存の国内外の濃縮係数(CF)データ(IAEA、NEA/OECD、DOEなど)の一覧表を作成し参考に供した。さらに、放射性核種の海洋生物への濃縮に関連するパラメータ(生物学的半減期など)のデータも収集整理して収録した。

また、日本においては、環境放射能の実測調査データが多いので、これらの中から信頼性の高いデータを収集し、濃縮係数(CF)を算定し、一覧表として表示した。

(佐伯 誠道)

2. 濃縮係数に関する検討経緯

2-1. 濃縮係数に関する経緯

2-1-1. 濃縮係数の必要性和研究経過

核爆発実験の放射性降下物による放射能海水より、海洋生物が亜鉛-65などの放射性核種を選択的に濃縮することは、つとに（1954～1956年）日本の放射化学分析（佐伯誠道ら：日本水産学会誌、1955年、天野慶之・川端俊治ら：日本水産学会誌、1956年）により明らかにされ、活魚を飼育してのラジオアイソトープ・トレーサー実験によって実証（佐伯誠道：日本水産学会誌、1956年）されたところである。この当時において、海藻がヨウ素やカリウムを海水の数千ないし数万倍濃縮すること、つまり海産生物が特定な成分を海水から摂取し蓄積することが知られていたものの、放射能汚染の影響評価と関連づけては注目されていなかった。つまり、当時は、南太平洋の放射能魚は核分裂生成物のセリウム-144などが主成分と推定（L. A. Donaldson, AEC-3446, USAEC, 1950年）され、英国セラフィールド再処理工場の放射性廃棄物の影響を受けた魚はプルトニウム、ルテニウム、セリウム、セシウム、ストロンチウムが主成分と推定（H. J. Dunster : A/Conf, 8/p, 419, 1955年, D. R. R. Fair, A. S. Mclean : A/Conf, 8/p, 420, 1955年）されているにすぎなかった。前記の日本の研究は、放射能海水中に棲む生物の放射性核種濃度を把握するには、特定な核種の選択的濃縮に着目する重要性を指摘したもので、当時における政府の安全評価に貢献した。

この日本の研究と前後して、放射性廃棄物の沿岸海域への流出にともなつての生物濃縮が着目され始め、放出安全規則に関連して、ルテニウムの海藻への濃縮（アイリッシュ海）や亜鉛のカキへの濃縮（コロンビア河口）が重視されるにいたつた。つまり、放射性核種の海洋生物への移行・蓄積の研究が、世界的に重要な研究課題としてクローズ・アップした。そして、1959年のIAEA・UNESCO・FAO共催の「放射性廃棄物処分に関する国際科学会議（モナコ公国）における重要なトピックスとなった。1960年代には、英・米・仏・独の諸国は、斯研究の研究組織を整えたり、専門研究所を開設（英、仏、独、IAEA）している。日本では、東京大学、近畿大学や放射線医学総合研究所（放医研）、国立公衆衛生院などで研究が進められてきた。そして1968～1969年には斯研究の専門機関として、茨城県那珂湊沿岸に放医研・臨海実験場（放医研・那珂湊支所）が充足し、農林水産省の研究所などとの協力のもとに、再処理工場の廃液処分に関する安全評価の基礎研究が重点的に進められてきた（佐伯誠道：放射線科学32(7), 1989年）。

さて、放射能海水中の魚を人が摂取したときの被ばく線量を予測するためには、海水から魚への放射性核種の移行・蓄積を把握する必要がある。このような生物への放射性核種の移行・蓄積を簡略化して表すために、「濃縮係数(CF)」が用いられる。英語ではConcentration Factorと称してい

るが、海洋生物は特定の元素だけを濃縮するにすぎないから、魚がすべての放射性核種を濃縮すると誤解され易い「濃縮係数」という用語は「濃度係数」とでも称した方が妥当であったかとも思われる（英語の Concentrationには「濃度」と「濃縮」の両義がある）。海洋生物の濃縮係数は海産生物の組織・器官の放射性核種濃度 C_{MF} （または安定元素濃度 C'_{MF} ）と、生物の棲息する環境海水の放射性核種濃度 C_{SW} （または安定元素濃度 C'_{SW} ）の比である。そして放射性核種や安定元素の濃度は、生物体については生試料の重量（グラム）当たりの量で表し、海水については容量（ミリ・リットル）当たりの量で表わすのが慣例になっている。一般には、濃縮係数は海洋生物の可食部（注、魚肉など）を対象とする。

$$CF = \frac{C_{MF}}{C_{SW}} \text{ または } \frac{C'_{MF}}{C'_{SW}}$$

濃縮係数を求めるには、下記の方法が採られる。

- ① 海水と生物の安定元素濃度を分析測定する方法（安定元素濃度法）
- ② ラジオアイソトープを添加した海水中に生物を飼育して、放射性核種の海水中と生物中の存在が平衡状態に達したときに、生物と海水の放射能を測定する方法（R I トレーサー実験法）
- ③ 海水および海洋生物中に現存する放射性降下物や放射性廃棄物の放射性核種を測定する方法（環境放射能の分析測定法）

一般に、安定元素は環境と生物の間で平衡状態に達していると考えられる。R I トレーサー実験法では、平衡状態を得るのが困難であるが、放射性核種の魚への移行をエラからの直接吸収や餌料を通じての消化管吸収に分けての観察が可能であり、吸収速度や排泄速度を測定できる利点がある。したがって、沿岸海域に放出されて海水で希釈されつつ移動する液体放射性廃棄物中の魚について、吸収速度などの生化学的特性を用いて放射能濃度を予測し得る。なお、各方法に共通する問題点として、濃縮係数は棲息環境条件（水温、光度など）や生物学的条件（成長段階など）、化学的条件（放射性核種の化学形など）の相違により異なることがあげられる。これらの点に関しては、別章を参照していただきたい。

濃縮係数に関する文献は数多く存在する。古くは、I A E A : Disposal of Radioactive Wastes（放射性廃棄物処分に関する国際科学会議（モナコ会議）報文集、I A E A、STI/PUB/18、1960年）を始めとして、Radioecology（ラジオエコロジー・シンポジウム報文集、Colorado, USA, 1963年、Michigan, USA 1969年）、ラジオエコロジー・国際シンポジウム報文集（仏国Cadarache, 1969年）、O E C D / N E A 海洋ラジオエコロジー・セミナー（仏国La Hague, 1968年、独国Hamburg, 1971年）などがあげられる。1971年に米国N R C 海洋委員会が編集したRadioactivity in the Marine Environment には、F. G. Lowman, T. R. Rice, F. A. Richards, と、V. A. Bowen, J. S. Olsen, C. L. Osterberg, J. Raveraとが、それぞれ濃縮係数一覧表を示している。I A E A は1958年以来、海洋放射能に関する多くの研究会（シンポジウムおよびパネル会合）を開催しており関連出版物が多い。

1985年には、「海洋環境における放射性核種の堆積物Kd（分配係数）と濃縮係数（Sediment Kds and Concentration Factors for Radionuclides in Marine Environment, IAEA Technical Reports Series No. 247, 1985年）」を刊行し、多くの関連文献よりデータを収集し整理している。その後も、放射線医学総合研究所、仏国Cadarache研究所などから多くの報文が発表されている。

（佐伯 誠道）

2-1-2. 往時のデータ紹介

表2-1-2-1と表2-1-2-2に、往時の濃縮係数文献を総覧して、魚類、甲殻類、軟体類、植物プランクトン、緑藻、褐藻、紅藻類、動物プランクトン、顕花植物に分類し、データは得られた実験法別に、すなわち、トレーサー実験、野外実験、安定元素量実験の3法別に分けて記載した。

（佐伯 誠道）

表 2-1-2-1. 有用海産動物の濃縮係数一覧

(T: RIトレーサー実験、F.S: 野外実験、S.E: 安定元素分析)

核種	動物プランクトン	甲殻類			軟体類			魚類			
		筋肉	内臓	殻	筋肉	内臓	殻	筋肉	内臓	骨	
Cs	T	1~5 ^{1) 4)} , 7~14.1 ^{1) 13)} 4)	8~9 ^{5) 6)}	8~9 ^{5) 6)}	15 ⁷⁾ , 0.1 ^{5) 6)}	6.8~10 ^{7) 7)} 13~18 ⁴⁾ 72 ⁴⁾		0 ⁸⁾ , 14 ^{5) 6)}	6~10 ^{9) 10)} 25~ 37 ^{7) 7) 5) 6)}	3~13 ^{11) 11) 5) 6)} 35 ⁴⁾	3~5 ¹²⁾
	F.S	5 26.1 ^{4) 13)}							24~27 ⁴⁾ , 50~ 62 ^{4) 100^{2) 5)}}		
	S.E	0.1~1 ¹³⁾ 17.0 ⁴⁾				3.2~8.2 ¹³⁾ 15~24 ^{10) 4)}			10.9~ 15.0 ¹⁰⁾ , 22.5 ~44 ^{10) 21)}	19~25 ^{5) 6)} 42~50 ²¹⁾	26 ⁴⁾ 64~84 ^{4) 21)} 244 ²¹⁾
Sr	T	0.1~0.9 ⁷⁾ 20) 13) 30)	0.2 ³⁾	1.3 ⁷⁾	>1.5 ^{5) 6)} 15 ³⁾ 180 ^{2) 7)} 180 ^{2) 7)}	0.2~ 0.5 ^{3) 5) 6)}	1.0~ 1.3 ^{3) 5) 6)}	6~10 ^{2) 7)} 10 ¹⁾ , 15 ^{5) 6)}	0.03~0.15 ^{7) 8)} 3) 2) 5) 6)	0.05~1.7 ^{5) 6)}	0.5~3 ⁷⁾
	F.S	1~5 ^{7) 13)} 10 ^{2) 7)}							0.31~0.6 ⁴⁾ 1.5 ⁹⁾		12 ⁴⁾ 8.5~20 ⁴⁾
	S.E	0.28~0.3 ¹²⁾ 70 ¹²⁾	0.1~1 ^{10) 21)}			0.1~0.4 ¹⁰⁾			0.1~0.3 ^{5) 6)}		
Ru-Rh	T	0.5~3.6 ¹³⁾ 12~26.2 ³⁾ 100 ^{2) 7)}	3~ 5.5 ^{2) 3) 5) 6)}	1.2~3 ^{2) 3)} 10~15 ^{5) 6)} 30 ^{3) 3)}	11~25 ^{2) 5) 6)} 193 ^{2) 2)}	1~2 ^{4) 3) 4)} 3.6~5 ^{3) 5) 6)}	2.5 ^{4) 4)} 14~18 ^{3) 3) 3)} >30 ^{4) 4)}	10 ^{4) 4)} 49~53 ^{3) 3)}	0.06 ^{5) 6)}	0.01~0.09 ^{2) 3)} 0.5~3.6 ^{5) 6)} 20 ^{3) 3)}	0.02~0.08 ^{2) 3)} 0.4 ^{2) 3)}
	Ce	1.4~4.4 ¹³⁾ 20.4~22 ¹³⁾ 152~611 ¹³⁾	5 ^{3) 5) 5) 6)} , 25 ²⁾	3~6 ^{2) 3)} >40 ^{5) 6)} , 200 ²⁾	2 ²⁾ , 400 ^{2) 5)} >10 ^{4) 4)}	4 ^{3) 4)} , 25 ^{5) 6)} 40 ^{2) 3)} , 200 ^{4) 4)}	2 ^{5) 6)} , 15 ³⁾ 40~50 ^{3) 11)}	0.27~1 ^{3) 4) 5) 6)} 12 ⁴⁾	4~20 ³⁾ 720 ^{4) 4)}	4 ²⁾	
Zr-Nb	T	14.5~43 ¹³⁾ 152~2475 ¹³⁾	2 ^{2) 3)}	0.6~3 ^{2) 3)}	350 ^{2) 3)}	2 ^{2) 3)}	20 ^{2) 3)}	4 ^{2) 2)} , 36 ^{2) 11)}	0.05 ^{2) 3)}	0.1 ^{2) 3)}	0.03~0.08 ^{2) 3)}
I	T					0.92~1 ^{2) 3)}	0.39~0.4 ^{2) 3)}	1~3 ^{2) 3)} , 60 ^{2) 2)}	0.2 ^{4) 4)}		
	S.E	100 ¹²⁾ 6,000 ¹²⁾	20~48 ¹⁰⁾			49~100 ¹⁰⁾			11~15 ^{5) 6) 10)}		
Zn	T	200 ⁷⁾	40 ³⁾	500 ³⁾	10 ^{4) 4)} , 150 ³⁾	0.25~ 1.75 ^{4) 4)} 13~24 ^{2) 3) 11)} >40 ^{5) 6)}	11~138 ¹¹⁾ >500 ^{4) 4)}	10 ³⁾ 35~49 ^{2) 2) 3) 11)} >150 ^{4) 4)}	1.4 ³⁾ 260 ^{5) 6)}	20~22 ^{2) 5) 6)}	3 ³⁾
	S.E		1,900~ 4,400 ^{10) 5) 6)} 17,000 ^{5) 6)}	1,000~ ~10,000 ^{4) 4)}		2,600~ 5,700 ¹⁰⁾ 10,000~ 40,000 ¹⁰⁾	11,000 ¹⁰⁾		540 ³⁾ 2,900~ 4,400 ¹⁰⁾		
Co	T					6~18 ^{11) 3) 3)} 125~186 ^{2) 2)}	8~10 ^{2) 3)}	10~36 ^{2) 2)} 152~ 500 ^{2) 2) 2) 11)}	0.54 ^{2) 2)}		
	S.E	220 ¹²⁾ 590~770 ^{4) 1)}	4,000 ¹⁰⁾			52~62 ¹⁰⁾ 170~200 ¹⁰⁾			14~84 ^{10) 5) 6)}		
Fe	T					>22 ^{2) 3)} 3,000~ 6,000 ^{2) 3)}		>8 ^{2) 3)} 52 ^{2) 11)}			
	S.E	10,000~ 50,000 ¹²⁾							400~ 3,000 ^{5) 6)}		
Cd	T		0.4 ³⁾ , 8 ^{3) 4)}	>250 ³⁾ 50~60 ^{5) 6)}					0.16~ 0.2 ^{2) 5) 6)}	10~60 ^{2) 5) 6)}	
	S.E			200,000~ 600,000 ^{5) 6)}							
Cr	S.E		360 ^{2) 11)}		1,200 ^{5) 11)} 1,600 ^{5) 11)}			280 ^{5) 11)}			
P	T	5.5 ⁴⁾		—				27 ⁴⁾			

表 2-1-2-2. 有用海産動物の濃縮係数一覧

(T: RIトレーサー実験、F.S: 野外実験、S.E: 安定元素分析)

核 種		顕花植物	植物プランクトン	海 藻		
				緑 藻	褐 藻	紅 藻
Cs	T	2 ¹⁾	1.2~2.6 ²⁾ , 15 ^{5 7)} , 30 ^{5 7)}	1~4 ^{5 6) 6) 3)} , 6~7 ^{4) 8) 1 7)}	2 ^{3) 8) 5 6) 1)} , 10~12 ⁶⁾ 27~30 ^{4) 6) 5) 7)} 32 ⁴⁾ , 53~57 ^{8) 2 7)} , 74 ⁴⁾	1~5 ^{3) 6) 5 6) 4) 1 7)} 10~25 ^{1) 2 7) 4)} , 50 ⁹⁾
	F. S					
	S. E			240 ⁴⁾	16~28 ^{8) 5 6)} , 34~50 ^{8) 4) 5 6)}	16~18 ^{4) 8)} , 22~28 ⁸⁾
Sr	T	3 ^{2 2)}	4~6 ^{2 2)} , 17 ^{2 3)} 560~1600 ^{2) 2 3)}	1~6.7 ^{2 4) 2 2) 6) 5 6)} , 560 ⁸⁾	2.0~6.5 ^{5 6) 3) 2 5)} 14~23 ^{2 4) 1)} 35~41 ^{1 8) 2 4) 2 2)} 16~60 ^{2 7)} , 55 ^{2 8)}	0.05~2 ^{2 5) 1) 2 4) 9)} 4~6.3 ^{1) 5 6) 2 5)}
	F. S	5 ^{2 2)}		0.85~3.2 ^{2 2) 2 5) 5 6) 4 7)}	8~20 ^{2 6) 4 7) 2 5) 2 7) 5 6)} 30~46 ^{2 7) 2 8) 2 4)} 90~100 ^{2 6) 5 6)}	0.2~5.8 ^{1 9) 9) 4) 5 6)} 58~83 ^{4) 4 7)}
	S. E					
Ru-Rh	T	181 ^{2 2)}		30~95 ^{2 2) 5 6)} 360~400 ^{3 3) 5 6)} 1,210 ^{2 5)}	170~200 ^{3 3) 2 2) 5 6)} 280 ^{2 5) 5 6)} , 360 ^{1 6)}	60~160 ^{5 6) 3 3) 2 5)} 593 ^{2 2)} , 800~1,000 ⁹⁾
	F. S					
Ce	T	130 ^{3 7)}	340 ^{2 2)} 2,000~3,300 ^{1 8) 3 8)} 4,500 ^{3 8)}	100~350 ^{3 9) 3) 1) 5 6)} 640 ^{1 9)} , 900 ¹⁾	200~350 ^{3) 3 9) 5 6)}	100~330 ^{3 9) 3) 1) 5 6)} 430~500 ^{9) 3 9) 1)} 900~1,100 ^{1) 3 9)}
Zr-Nb	T	1,120 ^{2 2)}		2,050 ^{2 2)}	170 ^{2 2)}	2,960 ^{2 2)} , 900 ⁹⁾ 200~336 ^{4 1)}
I	T	30 ^{2 2)}	30 ^{5 7)} , 130 ^{5 7)}	160~300 ^{2 2) 3 3) 5 6)}	140~300 ^{2 2) 3 3) 5 6)} 400~7,000 ^{1 9) 5 6)}	200~205 ^{3 3) 5 6)} , 500 ^{2 2)} 160 ^{1 9) 5 6)}
	S. E					
Zn	T	336 ^{2 2)}	40,000~50,000 ^{4 2) 5 7)} 90,000 ^{5 7)}	127 ^{2 2)} , 290 ^{3) 5 6)} 30 ^{1 7)} , 290 ^{1 7)} , 4,100 ^{5 6)}	186 ^{2 2)} , 3,300 ^{1 7)} 280~600 ^{1 7) 2 6) 4 3)} 1,000~3,300 ^{2 6) 1 7) 5 6)}	210~255 ^{1 7)} , 839 ^{2 2)} 80 ^{1 9) 5 6)} , 210~255 ^{1 7) 5 6)} 1,200 ^{5 6)}
	S. E					
Co	T		60 ^{5 7)} , 150 ^{5 7)}	20 ^{5 6)} , 116~400 ^{2 2) 2 3) 5 6)} 15 ^{1 9) 5 6)} , 440 ^{4 3)}	45 ^{2 2)} , 382~420 ^{3 3) 5 6)} 27 ^{1 9) 5 6)} , 160~400 ^{4 3) 2 6)} 560~740 ^{2 6)}	64 ^{1 9) 5 6)}
	S. E	120 ^{4 3)}				
Fe	T					>110 ^{5 6)}
	S. E			>110 ^{3 3)}	1,300~5,800 ^{1 9) 5 6)}	2,000~4,000 ^{1 9) 5 6)}
Mn	S. E			1,300~1,500 ^{1 9)}	300 ^{1 9)} , 7,500 ^{1 9)}	
Cd	T			11 ³⁾		
	S. E			1,500 ^{5 0)}	170 ^{5 0)} , 1,800~4,400 ^{5 0)}	
Cr	S. E			1,600~3,600 ^{5 1)} 5,600~6,400 ^{5 1)}	2,400~4,000 ^{5 1)}	
P	T	51 ⁴⁾	30,000~35,000 ^{5 7)}	162~328 ⁸⁾	30 ⁸⁾	15~257 ⁵⁾

文 献

1. Polikarpov, G.G. : Ability of some Black Sea organisms to accumulate the fission products, Science, 133. 1127-1128 (1961).
2. Boroughs. H., W.A. Chipman and T.R. Rice : Laboratory experiments on the uptake, accumulation and loss of radionuclides by marine organisms, In the effects of atomic radiation on oceanography and fisheries, NAS-NRC. 551.80 (1957).
3. Hiyama. Y. and M. Shimizu : On the concentration factors of radioactive Cs, Sr, Cd, Zn and Ce, Rec. Oceanogr. Works Japan, 7.2.43 (1964).
4. Bryan. G. W., A. Preston and W.L. Templeton : Accumulation of radionuclides by aquatic organisms of economic importance in the United Kingdom in Disposal of radioactive wastes into seas, oceans and surface water, I.A.E.A. symposium. SM-72/39 Vienna (1966).
5. Scott. R. : A study of cesium accumulation by marine algae in Radioisotope Conference. 1. 373(1954).
6. Polikarpov. G.G. : Radioecology of aquatic organisms, North Holland Pub. Co., 314(1966).
7. Chipman. W.A. : Accumulation of radioactive materials by fishery organisms, Miami Mar. Lab. Pros. Gulf. Carilbean Fish. Inst. 11th ann. session, 97(1958).
8. Smales. A.A. and L. Salmon : Determination by radioactivation of small amounts of rubidium and caesium in seawater and related materials of geochemical interest, The Analyst, 80.37 (1955).
9. Templeton. W.L. : Fission products and aquatic organisms in the effects of pollution on living materials, Inst. Biology. London, 8.125(1959).
10. Chipman, W.A. : Biological aspects of disposal of radioactive wastes in marine environments, in Disposal of Radioactive Wastes II.3(1960).
11. Bryan. G.W. : The accumulation of ^{137}Cs by brackish water invertebrates and its relation to the regulation of potassium and sodium, J. Marine Biol. Assoc (U.K.).43. 2.541(1963).
12. Ketchum, B.H. and V.T. Bowen : Biological factors determining the distribution of radioisotopes in the sea. Proc 2nd. U.N. Int. Conf. Peaceful Uses Atom Energy. Geneva. 18p/402(1958).
13. Ivanov, V.N. 1965. 1966 (Cited from Polikarpov 1966).
14. Bryan, G.W. and E. ward : Potassium metabolism and the accumulation of $^{137}\text{Caesium}$

- by decapod crustacea, J. Marine Biol. Assoc. 42,199(1962).
15. Bryan, G.W. : The accumulation of radioactive caesium in crabs, J. Marine Biol. Assoc. 41,551(1961).
 16. Polikarpov, Zayster et al. : (cited from Polikarpov 1966).
 17. Gutneckt, J: Uptake and retention of ^{137}Cs and ^{65}Zn by seaweeds, Limnol Oceanogr. 10, 1,58(1965).
 18. Burovina, I.V., V.V. Glazunov, V.G. Leontyev, V. P. Nesterov and I.A. Skulsky: 1964 (Cited from Polikarpov 1966).
 19. Ichikawa. R. : On the concentration factors of some important radionuclides in the marine food organisms, Bull. Japan Soc. Fish. 27. 1. 66(1961).
 20. Mauchlime, J. : The biological and geographical distribution in the Irish Sea of radioactive effluent from Windscale Works 1959 to 1960, UKAEA, AHSB. (RP). R27(1963).
 21. Fukai, R. and N. Yamagata : Estimation of the levels of Cs in sea water by the analysis of marine organisms, Nature, 194. 4827, 466(1962).
 22. Polikarpov, G.G. : Problemy morskoy radioekologu Dactoral thesis Sevastopol (Cited from Polikarpov 1966).
 23. Rice, T.R. : The accumulation and exchange of strontium by marine planktonic algae, Limnol, Oceanogr. 1, 2, 123(1956).
 24. Spooner, G.M. : Observations on the absorption of radioactive strontium and yttrium by marine algae, J. Marine Biol. Assoc(U.K.), 28. 587(1949).
 25. Iwashima, K, and N. Yamagata : Environmental contamination with radoruthenium 1961 ~1965. J. Radiation Res, 7, 2, 91(1966).
 26. Black, W.A.P. and R.L. Mitchell: Trace elements in the common brown algae and in seawater, J. Marine Biol. Assoc(U.K.). 30. 575(1952).
 27. Templeton, W.L. : The transfer of radionuclides from the environment through aquatic food product fo man, Agricultural and Public Health Aspects of Radioactive contamination in Normal and Emergency Situation Proc. FAO/WHO/IAEA Seminar, Dec. 11-15, 1961, Schevemingem, Holland 49.
 28. Kulebakina : [Cited from Potikarpov 1966].
 29. Boroughs, H., S.J. Townsley and W. Ego: The accumulation of ^{91}Y from equilibrium of ^{90}Sr - ^{90}Y by *Artemia salina*, Limnol. Oceanogr. 3, 4, 413(1958).
 30. Pojikarpov. G.G. and V.N. Ivanov : Concentration of the radioisotopes of strontium and yttrium by the egga of marine fishes, Radiobiologiya, 2, 2, 207(1962)

(Cited from Polikarpov).

31. Gong, J.K. W.H. Shipman, H.V. Weiss and S.H. Cohn : Uptake of fission products and neutron-induced radionuclides by the clam, Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 95, 451(1957).
32. Boroughs, H., S.J. Townsley and R. W. Hiatt : The metabolism of radionuclides by marine organisms, Biol. Bull. 111,3(1956).
33. Hiyama, Y. and J. M: Khan : On the concentration factors of radioactive I, Co, Ru and Fe in marine organisms, Rec Oceanogr. Works Japan, 7,2,79(1964).
34. Krumholz. L. A., E.D. Goldberg and H.A. Boroughs : Ecological factors involved in the uptake, accumulation and loss of radionuclides by aquatic organisms, NAS-NRC Publ. 551. 67-79(1957).
35. Zesenko, A. Ya. : The distribution of radionuclides within marine animals (cited from Polikarpov 1966).
36. Zesenko, A. Ya. and G.G. Polikarpov : Ruthenium-106 concentration and distribution factors in the organisms and tissues of marine molluscs, Radiobiologiya, S,1,320-322(1965)(Cited from Polikarpov 1966).
37. Polikarpov, G.G. : Concentration of fission product radioisotopes by marine organisms II. Accumulation of germanium-71 and cesium-137 by algae, sea anemones and mussels and of germanium-71, strontium-90, yttrium-91, cesium-137 and cerium-144 by flowering plants, Nauchn. dokl shkoly 3,92-98(1966)(Cited from Polikarpov 1966).
38. Rice, T.R. and V.M. Willis : Uptake, accumulation and loss of radioactive cerium-144 by marine planktonic algae, Limnol. Oceanogr. 4,3,277-290(1959).
39. Polikarpov, G.G. : Concentration of fission product radioisotopes by marine organisms, I Accumulation of strontium-90, yttrium-91 and cerium-144 by benthic plants and animals, Nauchn. dokl. vyssh. shkoly, 3,97-105(1960)(Cited from Polikarpov 1966).
40. Danckwerts, P.V. : Fission product disposal from Windscale Nuclear Engineering, 11,25-27(1956).
41. Fareman, E.E. and W.L. Templeton : The uptake of zirconium-95 and niobium-95 by Porphyra sp., UKA EA Rept. RDB(W)/TN-187. 15(1955).
42. Chipman, W.A., T.R. Rice and I.J. Price: Uptake and accumulation of radioactive Zinc by marine plankton. fish and shellfish, Fishery Bull. 135(1958).
43. Mauchline, J. : A review of the biological significance of certain neutron induced radiolotopes in the marine environment, U.K. AEF. Production and Engineering. Risley report PG-248(VI), 17(1961).

44. Mori, T. and M.Saiki : Studies on the distribution of administered radioactive Zinc in the tissues of fish, Bull. Japan Soc. Sci. Fish. 21, 8, 945-949(1955).
45. Townsley, S. J., D.F. Reid and W.Ego : Uptake of radioisotopes and their transfer through food chains by marine organisms, Ann. Rep. Hawaii Marine Laboratory 1959-1960, TID-9630(1961).
46. NAS-NRC pub-655 : Radioactive Waste Disposal into Atlantic and Gulf Coast Water, NAS-NRC, No. 655(1959).
47. Bowen, H. J. M : Strontium and barium in sea water and marine organisms, J. Marine Biol. Assoc. 36, 451-460(1956).
48. Agnedal, R. O., N. E. Barring, J. S. Lindhe and J. W. Smith: Biological investigations in the water-recipient at Studsvik, the research establishment of the Swedish Atomic Energy Company, Proc. 2nd U.N. Int. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy. Geneva, 18P /174(1958).
49. I. A. E. A. Safety series No. 5, Radioactive Waste Disposal into the Sea (1961).
50. Mullin, J. B. and J. P. Riley : The occurrence of cadmium in sea water and in marine organisms and sediments, J. Mar. Res. 15. 2(1956).
51. Fukal, R. and D. Broquet : Distribution of chromium in marine organisms, I. A. E. A. Radioactivity in the sea publ No. 16.
52. Radioactive Waste Disposal from Nuclear-Powered ships, NAS 658(1959).
53. Morgan, F. :The effects on marine foodstuffs of a large release of radioactivity into the sea, "Nuclear Detonations and Marine radioactivity" Kjeller, Norway, Norwegian Defence Research Establishment, 153(1963).
54. Mauchline, J. and W. L. Templeton : Artificial and natural radioisotopes in the marine environment, Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 2, 229(1964).
55. W. L. Templeton : B. E. S. Symposium, Ecology and the Industrial Society, Blackwell, Oxford(1965).
56. 檜山毅夫 : 放射性物質の海洋処分の放射能影響評価と規制法、日本原子力学会誌 6, 7, 406 (1964)
57. 佐伯誠道、高田紀美 : 水中懸濁物による放射性核種の濃縮 (第 3 報) 放医研年報、昭和40年度、105(1965).

2-1-3. 最近において国際的に使われている濃縮係数

数多くの報告があるが、現在、国際的に比較的広く用いられているものの一つとして、下記の I A E A (IAEA Technical Reports Series No.247, 1985) のデータが挙げられる。

(佐伯 誠道)

表 2-1-3-1. 濃縮係数 (魚類)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
H	1×10^0	Pd	(3×10^2)	W	1×10^1
C	2×10^4	Ag	5×10^2	Ir	2×10^1
		Cd	1×10^3	Hg	2×10^4
Na	1×10^{-1}	In	1×10^3	Tl	5×10^3
S	2×10^0	Sn	5×10^4	Pb	2×10^2
Cl	5×10^{-2}	Sb	4×10^2		
Ca	2×10^0	Te	1×10^3	Po	2×10^3
Sc	1×10^3	I	1×10^1	Ra	5×10^2
Cr	2×10^2	Xe	1×10^0	Ac	(5×10^1)
Mn	4×10^2	Cs	1×10^2	Th	6×10^2
Fe	3×10^3	Ba	1×10^1	Pa	(5×10^1)
Co	1×10^3	Ce	5×10^1	U	1×10^0
Ni	1×10^3	Pm	5×10^2	Np	1×10^1
Zn	1×10^3	Sm	5×10^2	Pu	4×10^1
Se	6×10^3	Eu	3×10^2	Am	5×10^1
Kr	(1×10^0)	Gd	5×10^2	Cm	5×10^1
Sr	2×10^0	Tb	6×10^1	Bk	(5×10^1)
Y	2×10^1	Dy	5×10^2	Cf	(5×10^1)
Zr	2×10^1	Tm	5×10^2		
Nb	3×10^1	Yb	2×10^2		
Tc	3×10^1	Hf	4×10^1		
Ru	2×10^0	Ta	6×10^1		

表 2 - 1 - 3 - 2. 濃縮係数 (甲殻類)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
H	1×10^0	Pd	(3×10^2)	W	1×10^1
C	2×10^4	Ag	5×10^3	Ir	(1×10^2)
		Cd	(1×10^4)	Hg	2×10^4
Na	1×10^{-1}	In	(1×10^4)	Tl	(1×10^3)
S	1×10^0	Sn	5×10^4	Pb	1×10^3
Cl	5×10^{-2}	Sb	4×10^2		
Ca	5×10^0	Te	1×10^3	Po	5×10^4
Sc	3×10^2	I	1×10^1	Ra	1×10^2
Cr	5×10^2	Xe	1×10^0	Ac	1×10^3
Mn	5×10^2	Cs	3×10^1	Th	1×10^3
Fe	5×10^3	Ba	1×10^0	Pa	1×10^1
Co	5×10^3	Ce	1×10^3	U	1×10^1
Ni	1×10^3	Pm	1×10^3	Np	(1×10^2)
Zn	5×10^4	Sm	1×10^3	Pu	3×10^2
Se	5×10^3	Eu	1×10^3	Am	5×10^2
Kr	(1×10^0)	Gd	2×10^3	Cm	5×10^2
Sr	2×10^0	Tb	1×10^3	Bk	(5×10^2)
Y	(1×10^3)	Dy	1×10^3	Cf	(5×10^2)
Zr	2×10^2	Tm	1×10^3		
Nb	2×10^2	Yb	1×10^3		
Tc	1×10^3	Hf	(1×10^3)		
Ru	1×10^2	Ta	3×10^3		

表 2 - 1 - 3 - 3. 濃縮係数 (頭足類を除く軟体動物)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
H	1×10^0	Pd	(3×10^2)	W	1×10^2
C	2×10^4	Ag	1×10^4	Ir	(1×10^2)
		Cd	2×10^4	Hg	1×10^4
Na	3×10^{-1}	In	(1×10^4)	Tl	5×10^3
S	4×10^0	Sn	5×10^4	Pb	(1×10^3)
Cl	5×10^{-2}	Sb	2×10^2	Po	(1×10^4)
Ca	1×10^0	Te	1×10^3	Ra	(1×10^3)
Sc	1×10^5	I	1×10^1	Ac	1×10^3
Cr	8×10^2	Xe	1×10^0	Th	1×10^3
Mn	5×10^3	Cs	3×10^1	Pa	5×10^2
Fe	3×10^4	Ba	2×10^1	U	3×10^1
Co	5×10^3	Ce	5×10^3	Np	4×10^2
Ni	2×10^3	Pm	5×10^3	Pu	3×10^3
Zn	3×10^4	Sm	5×10^3	Am	2×10^4
Se	6×10^3	Eu	7×10^3	Cm	3×10^4
Kr	(1×10^0)	Gd	5×10^3	Bk	(2×10^4)
Sr	1×10^0	Tb	3×10^3	Cf	(2×10^4)
Y	1×10^3	Dy	5×10^3		
Zr	5×10^3	Tm	5×10^3		
Nb	1×10^3	Yb	3×10^3		
Tc	1×10^3	Hf	(3×10^3)		
Ru	2×10^3	Ta	3×10^3		

表 2-1-3-4. 濃縮係数 (頭足類)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
Sc	2×10^1	Sr	2×10^0	Hg	2×10^4
Cr	2×10^3	Zr	5×10^1	Pb	7×10^2
Mn	3×10^2	Ru	5×10^1	Po	2×10^4
Fe	2×10^3	Cd	3×10^3	Th	6×10^1
Co	2×10^2	Sb	1×10^1	Pu	5×10^1
Ni	9×10^2	Cs	1×10^1	Am	1×10^2
Zn	2×10^4	Ce	3×10^1		

表 2-1-3-5. 濃縮係数 (海藻)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
H	1×10^0	Pd	(1×10^3)	W	1×10^2
C	1×10^4	Ag	2×10^3	Ir	(1×10^3)
Na	6×10^{-1}	Cd	5×10^3	Hg	2×10^4
S	4×10^0	In	(5×10^3)	Tl	(1×10^3)
Cl	5×10^{-2}	Sn	2×10^4	Pb	1×10^3
Ca	6×10^0	Sb	4×10^2	Po	1×10^3
Sc	8×10^4	Te	1×10^4	Ra	1×10^2
Cr	2×10^3	I	1×10^3	Ac	1×10^3
Mn	6×10^3	Xe	(1×10^0)	Th	2×10^2
Fe	3×10^4	Cs	5×10^1	Pa	1×10^2
Co	1×10^4	Ba	1×10^2	U	1×10^2
Ni	2×10^3	Ce	5×10^3	Np	5×10^1
Zn	2×10^4	Pm	3×10^3	Pu	2×10^3
Se	1×10^3	Sm	3×10^3	Am	8×10^3
Kr	(1×10^0)	Eu	3×10^3	Cm	8×10^3
Sr	5×10^0	Gd	3×10^3	Bk	(8×10^3)
Y	1×10^3	Tb	2×10^3	Cf	(8×10^3)
Zr	3×10^3	Dy	3×10^3		
Nb	3×10^3	Tm	3×10^3		
Tc	1×10^3	Yb	8×10^2		
Ru	2×10^3	Hf	(3×10^3)		
		Ta	(3×10^3)		

表 2 - 1 - 3 - 6. 濃縮係数 (動物プランクトン)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
H	1×10^0	Pd	(1×10^3)	W	(1×10^3)
C	2×10^4	Ag	5×10^3	Ir	(1×10^3)
		Cd	1×10^4	Hg	1×10^4
Na	1×10^0	In	(1×10^4)	Tl	(1×10^3)
S	1×10^0	Sn	5×10^4	Pb	1×10^3
Cl	1×10^0	Sb	6×10^1	Po	3×10^4
Ca	1×10^1	Te	1×10^3	Ra	1×10^2
Sc	3×10^3	I	3×10^3	Ac	1×10^4
Cr	4×10^2	Xe	1×10^0	Th	1×10^4
Mn	1×10^3	Cs	3×10^1	Pa	1×10^3
Fe	1×10^4	Ba	1×10^2	U	5×10^0
Co	2×10^3	Ce	4×10^3	Np	(1×10^2)
Ni	1×10^3	Pm	1×10^3	Pu	1×10^3
Zn	2×10^4	Sm	1×10^3	Am	2×10^3
Se	1×10^4	Eu	1×10^3	Cm	(2×10^3)
Kr	(1×10^0)	Gd	1×10^3	Bk	(2×10^3)
Sr	1×10^0	Tb	1×10^3	Cf	(2×10^3)
Y	(1×10^3)	Dy	1×10^3		
Zr	2×10^4	Tm	1×10^3		
Nb	(2×10^4)	Yb	1×10^3		
Tc	1×10^2	Hf	(1×10^3)		
Ru	3×10^4	Ta	(1×10^3)		

表 2 - 1 - 3 - 7. 濃縮係数 (植物プランクトン)

元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数	元 素	濃縮係数
H		Pd	1×10^3	W	(1×10^4)
C	9×10^3	Ag	1×10^4	Ir	(1×10^4)
Na	1×10^{-1}	Cd	3×10^4	Hg	2×10^4
S	1×10^0	In	(1×10^3)	Tl	(1×10^3)
Cl	1×10^0	Sn	5×10^4	Pb	7×10^3
Ca	3×10^0	Sb	(1×10^3)	Po	3×10^4
Sc	2×10^3	Te	(1×10^3)	Ra	2×10^3
Cr	2×10^3	I	1×10^3	Ac	1×10^4
Mn	6×10^3	Xe	1×10^0	Th	2×10^4
Fe	6×10^4	Cs	2×10^1	Pa	1×10^3
Co	5×10^3	Ba	1×10^2	U	2×10^1
Ni	3×10^3	Ce	9×10^4	Np	1×10^2
Zn	3×10^4	Pm	(1×10^3)	Pu	1×10^5
Se	8×10^3	Sm	(1×10^4)	Am	2×10^5
Kr	(1×10^0)	Eu	(1×10^4)	Cm	3×10^5
Sr	3×10^0	Gd	(1×10^4)	Bk	(3×10^5)
Y	(1×10^2)	Tb	(1×10^4)	Cf	2×10^5
Zr	6×10^4	Dy	(1×10^4)		
Nb	1×10^3	Tm	(1×10^4)		
Tc	5×10^0	Yb	(1×10^4)		
Ru	2×10^5	Hf	(1×10^4)		
		Ta	(1×10^4)		

2-1-4. IAEA Technical Reports Series No. 247(1985)以降に
報告されている濃縮係数について

P. J. Coughtrey ら⁽¹⁾ は1985年にCECとMAFFの支援により、海洋生物（海藻、甲殻類、軟体動物、魚類など）について、安定元素および放射性元素からSb, Br, Cd, Cs, Cl, Cr, Co, Cm, Actinides, I, Fe, Lanthanides, Mn, Mo, Ni, Np, Pu, Rb, Ru, Se, Ag, Na, S, Sr, Tc, Te, Zn, Zrの濃縮係数を算出しており、CF計算値（平均値）とその範囲、最適推定値とその範囲を示している。

T. M. Postonら^(2, 3) は1988年に、Ru, Sc, Tc, Zr, Nb, Sb, I, P, Ce, Am, Np, Pu, Th, Uについて魚類の濃縮係数（CF）推奨値一覧表をまとめている。

L. S. Gomez ら⁽⁴⁾ は1991年に線量評価のために重要な核種〔Fe-55、Co-60、Tc-95m（Tc-99 類似核種として）、Cs-134、Cs-137、Pb-210、Po-210、Ra-226、Np-235、Np-237、Pu-237、Pu-239、Pu-239+240、Am-241〕について、ほぼ全世界の海洋生物の濃縮係数（CF）データと生物学的半減期データを収集・整理・統計解析して、一覧表を作成し、さらに生物種ごと、実験手法ごとに要約表も作成している。これらのデータの中には、日本の研究者のデータも多数引用されている。これはSANDIA REPORT(SAND 89-1585 UC-721、1991)として出版されており、最新のCF一覧表と言えるもので、「6-3-4. 最近のデータ集」として、要約と参考文献を本書で紹介している。

（佐伯 誠道・木村 健一）

参考文献

- (1) P. J. Coughtrey, D. Jackson, M. C. Thorne : Radionuclides Distribution and Aquatic Ecosystems, A Compendium of Data. Vol. 6, (1985). Associated Nuclear Services, Epson, UK, A. A. BALKEMA/ROTTERDAM/BOSTON.
- (2) T. M. Poston, D. C. Klopfer : Concentration Factors used in the Assessment of Radiation Dose to Consumers of Fish : A view of 27 Radionuclides. Health Physics, 55, 5, 751-766, (1988).
- (3) T. M. Poston, D. C. Klopfer : A Literature Review of the Concentration Ratios of Selected Radionuclides in Freshwater and Marine Fish. PNL-5484, UC-11. (1988). US. DOE.
- (4) L. S. Gomez, M. G. Marietta, D. W. Jackson : Compilation of Selected Marine Radiological Data for the Formerly Utilized Sites Remedial Action Program : Summaries of Available Radiological Concentration Factors and Biological Half-lives. Sandia Report, SAND89-1585 UC-721, (1991). Sandia National Laboratories, USA.

2-2. 濃縮係数の求め方

現在考えられている海洋生物の濃縮係数を求めるのに、1) 安定元素分析による方法、2) 天然の海水および海産生物中の放射性核種の計測による方法、3) ラジオアイソトープ (RI) や安定元素をトレーサーとして使って生物を飼育し、生物のとり込み及び排出速度を求めその比から計算する方法などがある。

一般的には、棲息水中の放射性核種 (あるいは安定元素) と生物体中の放射性核種 (あるいは安定元素) が平衡状態にある場合、下記の式により、濃縮係数 (CF) が求められる。

$$\text{濃縮係数 (CF)} = \frac{\text{生物中放射性核種濃度 (Bq/kg)(あるいは安定元素濃度mg/kg)}}{\text{棲息水中放射性核種濃度 (Bq/kg)(あるいは安定元素濃度mg/kg)}}$$

2-2-1. 安定元素法

海水および生物の安定元素を定量し、その比から求める方法である。天然での平衡状態を知るために有効であり、比較的再現性のある値が得られる。しかし問題となる人口放射性核種に対応する安定元素が極めて微量である場合が多く測定には困難を伴うと同時に、放射性核種と物理化学的挙動が全く同じである保障はなく、それに伴って生物への移行も異なるものが多いと云われている。つまり、海水と生物の比放射能が必ずしも平衡関係にあるとは限らない。したがって安定元素から求めた濃縮係数を人工放射性核種の濃縮係数にそのまま置き換えることには異論があるが生物濃縮について安定元素は有力な情報源となることは間違いない。最近、分析法の著しい進歩によって、これらの微量元素を効率的にしかも精度よく測定できるようになり、データの蓄積がはかられ解析に広く利用されている。微量元素の生物生理との係わりについても未知の分野が多いだけに、今後期待するところが大きい。

2-2-2. 自然界におけるトレーサー法

実際の環境試料の分析値から直接的に求める方法として最も普通に行われて来た。1950年代から1960年代前半の中部太平洋での大気圏内核実験以降、植物プランクトンから大型魚にいたるまで人工放射性核種を高濃度に蓄積した海洋生物が次々と見つかり、この項から濃縮係数の考え方が定着して来た。原子力平和利用の進展に伴って核種原子力施設からの液体廃棄物の沿岸放出等によって核分裂生成種でなく誘導放射性核種の生物濃縮が数多く報告された。放射性降下物の現象によって最近わが国では ^{90}Sr 、 ^{137}Cs の他は、長半減期核種の ^{99}Tc 、 ^{129}I および $^{239,240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am など

一部の核種しか検出できない。又、大抵の場合、海水中濃度の鉛直分布に勾配があり、また生物の棲息深度の違いなどにも注意して濃縮係数を求める必要がある。前節でも述べたように環境水と生物との間に平衡状態に達しているか否かの情報が得がたい弱点もあるが、我が国沿岸での生物生産は、いわゆる水深 200米迄の大陸棚が最も大きく、この海域での放射性降下物核種は、一部を除けばもはや平衡関係に近いとして濃縮係数を算出しているのが一般的である。核実験由来の放射性核種濃度は年々現象してはいるが可能な限り、又あらゆる手段をつくしてデータの蓄積をはかりそれから生物濃縮機構を解明して行くことが重要である。

2-2-3. 室内実験によるトレーサー法

安定元素やRIをトレーサーとし室内実験によって求める方法である。RIを使う場内は、法律で定められた施設で行わなければならないが、目的に応じてトレーサーや対象とする生物、実験規模などの選択が可能である。また単純化された生態系の中で、生物による放射性核種のとり込みや排出の状況を観察できるなどモデル実験としての多くの利点がある反面、生きた生物の入手や制御された条件のもとでの生物の生理活性の変化などにも問題がある。この方法の考え方は、対象として生物の放射性物質のとり込み速度と排出速度を求め、その比から濃縮係数を算出するものであり、これらの代謝速度はその生物に固有の定数であると考えられるが、実際は、同一種であっても年齢や飼育条件によって変わることもあり、一定の濃縮係数を与えることは、なかなか難しい。しかし、生物のとり込み速度や排出速度は、原理的には環境水の放射性核種濃度に関係しない定数であるから、濃度勾配があるような海域であっても生物中の放射性核種濃度を予測することが出来る。海産生物の経口摂取による被曝線量を推定する場合、濃縮係数を用いて海産生物の放射核種濃度を求めると過大に評価する恐れがあるが、これらの定数を用いることによってより現実的な推定値に近づくことが出来ると考えられる。(詳細は4.濃縮係数に関連する計算モデル参照)

濃縮係数の算定には3法とも一長一短があり、現在の時点では、その値に変動巾があるのはむしろ当然であると思われる。しかし、データが蓄積され変動要因が更に解明されることが今尚求められている。

(鈴木 譲)

3. 濃縮係数の変動要因

海洋生物における放射性核種の濃縮係数は、平衡状態下における生物体内及び海水中の核種の濃度比として定義され、海洋生物の放射能による汚染の最高レベルを予測する目的で使用されるが、本来両者共時間的、空間的に変動する値であり、したがってその比にもかなりの変動が見られるのが普通である。

線量評価パラメータとしての濃縮係数にオーダー以上の精度を要求する必要はないとする見方もあるが、中には変動幅が数桁にも及ぶ例もあり、採用する数値によって結果的に評価線量にも大差を招くことから、広範な変動幅の中から如何なる数値を最適値として選定するかがきわめて重要なポイントとなり、線量評価の精度向上を図る上からも、変動要因の解明が不可欠の検討課題となっている。

濃縮係数の変動要因としては、海水の温度や水質など生物を取り巻く環境の諸条件に起因するものと、それぞれの生物種における雌雄の差や成長段階など生物自身の条件に因るものと考えられるが、放射性核種の物理・化学形など海水中における存在形態の変化には生物活動に因って誘発されるものも多く、また生物はその生息環境の変化に適応したり忌避したりすることによって、ある元素濃度を維持するとも考えられるところから、環境要因と生物学的要因との間に明確な線を引き出すことは必ずしも容易ではなく、また現実的でもない。

ただ、原子力施設周辺環境における放射性物質の動向や、それに起因する一般住民の放射線実効線量当量を推定・評価するに際しては、評価の対象となる現場での実測値に基づいて算出された濃縮係数をパラメータとして適用するのが最も現実的であるとされており、その適用値の決定に当たって、それがどの様な環境条件のもとで、如何なる生物種によって与えられた数値であるかを吟味することは絶対に不可欠である。その場合に、環境要因あるいは生物学的要因の影響範囲を確認することはきわめて重要であり、なかでも現場では得難いパラメータを他所での観測値に基づいた値によって代替する場合には、それら要因の影響度合いが採用すべきパラメータの適不適を判定する重要な決め手となる。

環境要因として、放射性核種の海水中濃度が希釈・拡散等によって急激に変化する場合、あるいは生物要因として、一旦生物体に固定された放射性核種が殆ど排出されない場合などには、生物体内濃度と海水中濃度との間に単純な比例関係は成立せず、濃縮係数の概念の適用にも問題が生じる。究極的な定常状態下における濃度を推定する静的な解析に留まらず、環境の変化、生物の代謝活性に基づいて体内濃度を動的に解析するためには、濃縮係数だけでなく、別章で取り上げられている各種代謝パラメータの適用が重要であり、データの蓄積とデータベースの構築が望まれるところである。

3-1. 棲息環境に起因する要因

3-1-1. 海水中における元素の化学形

海洋に存在する元素は、海水中に溶存するものとそれ以外のもの、すなわち不溶性のものとは大別されるが、海洋における放射性核種および微量元素の物理科学的形態をその粒径から、 $0.001\mu\text{m}$ 以下のものを溶存態、それ以上 $0.10\mu\text{m}$ までをコロイド態、そして 0.1 から $50\mu\text{m}$ までのものを粒子態と分類した報告例（表3-1-1-1.）がある。

表3-1-1-1. 海洋における放射性核種および微量元素の物理科学的存在形態⁽¹⁾

真正溶液 ($0.001\mu\text{m}>$)	(1) 単純水とイオン (2) 無機錯イオン (3) 有機キレート (4) 分子および高分子質 (5) イオン対
コロイド ($0.001\sim 0.10\mu\text{m}$)	(1) 鉱物質 (2) 加水分解および沈降生成物 (3) 生体高分子およびデトリタス
粒子 ($0.1\sim 50\mu\text{m}$)	(1) 有機態粒子 A) プランクトン B) デトリタス C) バクテリアおよび微生物 (2) 無機態粒子 A) 鉱物質 B) 沈降および凝結粒子

表に見られる様に、溶存しているもの、不溶性のものそれぞれに種々の形態が考えられているが、微量元素の場合は、きわめて低い濃度でしか存在しない化学種の同定が困難であるために、必ずしも全ての存在形態が確認されているとは限らない。特に沿岸海域においてはそれら微量元素の存在形態あるいは分布などの動向に影響を及ぼす因子が数多く存在するために、それぞれの元素について表示される様なカテゴリー別に明確に分類することは難しく、報告値にもかなり変動巾がみられる。

まして、あらたに導入される放射性核種については、その起源によって生成時から既に形態が異

なるばかりでなく、海洋生態系における移行過程においても各種要因による形態の変化が考えられるところから、既存の安定同位体との間に形態上からも平衡関係が成立するに至るまでの間は、異なる形態での存在並びに挙動を考慮する必要がある。

濃縮係数に関してこの様な元素の化学形が問題になるのは、それぞれの形態によって生物に対する可給性が異なることと、濃縮係数の算定に必要な分母の海水中元素濃度として海水中全濃度を採用するか、特定の形態の元素濃度のみを採用するかとの2点である。すなわち、限られた形態でのみ蓄積される元素の生体中濃度を同元素の海水中全濃度で割れば濃縮係数は過少評価され、逆に形態を問わず生物体に濃縮されている元素について、海水中の溶存濃度を分母とすれば濃縮係数は過大評価されることになる。濃縮係数の定義から見れば、生物がいかなる経路であるかを問わず元素を取り込み、排出し、最終的に環境水としての海水との間に濃度の平衡関係が成立した時に与えられるのが濃縮係数であって、形態別取り込みや組織器官別濃縮機構等の中間過程は問題ではないとする見方もあるが、それでも海水中濃度の決定という課題は残される。

さらに放射性核種とその安定同位体との間に化学形の差がある場合には、いずれの形態がより可給性であるかによって生物の比放射能 (dpm/gram of element) と海水の比放射能との比が1以上あるいは1以下になる、つまり放射性核種の濃度比としてもとめた濃縮係数と安定元素の濃度比で計算した濃縮係数とが一致しない結果となる。

これらの現象は放射性降下物や放射性廃棄物に由来する放射性核種を対象とするフィールドサーベイやラジオアイソトープをトレーサーとした室内実験などで数多く検討されているが、濃縮係数に及ぼす影響は元素間でも生物種間でも異なり、単純に性格付けすることは難しい。表3-1-1-2に代表的な元素の海水中における主な化学種についての報告例を示したが、これらもなお変動の可能性を含んでいる。

表3-1-1-2 海水中における元素の存在状態 (括弧内は濃度)⁽²⁾

Mn : 通常粒子状 ($2 \mu\text{g}/\text{kg}$)、嫌気性雰囲気では($500 \mu\text{g}/\text{kg}$)、に達する。

Fe : 河川から水酸化物のようなイオン性の粒子として供給されるが、海水中では有機(錯)錯体として存在する ($10 \mu\text{g}/\text{kg}$)。

Co : 主に粒子状 (90%) 懸濁物質として存在、10%は溶解性 (Co^{2+}) あるいは有機物と錯形成、生物活動との関連でビタミン B_{12} として広く存在 ($0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$)。

Zn : 大部分粒子状で一部イオン性。

Sr : ほとんど (約90%) が溶解性 (Sr^{2+}) ($800 \mu\text{g}/\text{kg}$)。

Ru : 懸濁物質 (80%)、コロイド状 (20%)、イオン状は1%未満。

I : イオン形 (I^- 、 IO_3^-) が90%、2%が粒子状 ($50 \mu\text{g}/\text{kg}$)。

Cs : ほとんどが溶解性 (Cs⁺)、粒子状は0.1%未満 (0.4 μg/kg)。

Ce : 懸濁物質 (70%)、コロイド状 (25%)、イオン状は5%未満。

Pu : 粒子状 (4 価) およびイオン形 (5、6 価)。

一般に海水中に溶けず水酸化物の様な粒子状あるいはコロイド状で存在する化学種では生物の体表、外殻などへの物理化学的吸着による濃縮が顕著であるのに対し、イオン形その他の比較的安定した溶存状態の化学種では吸収、代謝による取り込みが優先するという傾向が見られ、無機態、有機態の間にも同様の差異が観察される場合が多いが、底生の軟体動物等では、粒子状や底質に吸着された形の⁵⁰Coや⁶⁵Znがよく取り込まれるという報告例もあり、一概には決め難い。むしろ海水の分析に際して、いかなる前処理法、分析法を採用するかによって、適切な海水中元素濃度を把握出来るかどうかが左右されると言う事が出来よう。一例として、普通孔径0.45 μmのフィルターが用いられる濾過海水と未濾過海水とを用いた場合の濃縮係数に現れる差異を比較した結果を表3-1-1-3.に示した。すなわち、一般に粒子状あるいはコロイド状での存在が推定されている元素ほど、両者間の違いは大きく、とくに海藻類でそれが顕著であることが示されている。

表3-1-1-3. 濾過海水および未濾過海水を用いて算出した濃縮係数の比較

		Sr	Cs	Ru	Ce	Ru
魚 類	濾過海水 ⁽³⁾	2 (0.3~10)	100 (10~300)	2 (0.1~20)	50 (10~100)	40 (0.5~100)
	未濾過海水 ⁽⁴⁾	3 (1~7)	25 (12~38)	12 (3~37)	17 (2~27)	92
貝 類	濾過海水 ⁽³⁾ (軟体類)	1 (0.3~10)	30 (10~50)	2,000 (1-5×10 ³)	5,000 (1-10×10 ³)	3,000 (5-50×10 ²)
	未濾過海水 ⁽⁴⁾	5.1 (2~13)	7.2 (4~14)	260 (63~576)	200 (49~451)	200
頭足類	濾過海水 ⁽³⁾	2	10	50	30	50
	未濾過海水 ⁽⁴⁾	1.6 (1~4)	10 (8~12)	20 (8~38)	21 (3~54)	46
甲殻類	濾過海水 ⁽³⁾	2 (0.1~5)	30 (10~50)	100 (10~1,000)	1,000	300 (100~1,000)
	未濾過海水 ⁽⁴⁾	28 (11~47)	11 (8~17)	180 (21~583)	120 (17~251)	250
海 藻	濾過海水 ⁽³⁾	50 (0.3~10)	50	2,000	5,000	2,000
	未濾過海水 ⁽⁴⁾	11 (5~25)	20 (7~33)	97 (2~242)	69 (6~173)	290

(括弧内は範囲)

海水の分析に際しては濾過を施すのが通例となっており、とくに沿岸海水の場合には、濾過によって失われる元素も多いことから、観測値の相互比較等においては十分な注意が必要であろう。

3-1-2. 海水中塩濃度

海産生物による放射性核種の濃縮係数は、種々の起源から海洋環境に導入される放射性物質の移行を解析する上で欠くことの出来ない重要なパラメーターの一つであるが、放射性物質が放出される環境は必ずしも海洋には限らない。すなわち、湖沼河川等に放出されたものが沿岸海域に流入するもの、あるいは沿岸放流されたものがその近辺に流入する河川水によって希釈拡散されるもの等、海水とは異なる塩濃度をもつ環境で移行し、生物に取り込まれる状況を考察しなければならない。例えば大型核燃料サイクル施設の建設が進められている青森県六ヶ所村の周辺には、尾駮沼をはじめ鷹架沼、小川原湖等の汽水湖が存在し、それらの汽水湖は一部が外海と通じているため、潮の干満によって海水が浸入してくる。核燃料再処理施設等から沿岸海域に放出された放射性核種が、その様な状況下でいかに生物濃縮されるかを明らかにするためにも、海水中塩分濃度が濃縮係数におよぼす影響を解明する必要がある。一例として、塩分濃度の異なる海水中で数種のRIの取り込み、排出実験をハゼの一種ビリンゴで観察、比較した結果を表3-1-2-1.に示す。

表3-1-2-1. ビリンゴ *Chaenogobiuscastanea* による濃縮係数への塩分濃度の影響⁽⁵⁾

	⁵⁷ Co		^{95m} Tc		¹⁰³ Ru		¹⁴¹ Ce	
	CF	Tb _{1/2}	CF	Tb _{1/2}	CF	Tb _{1/2}	CF	Tb _{1/2}
20%海水	5.1	35 d	1.4	32 d	0.7	59 d	28.0	48 d
40%海水	5.1	36 d	1.5	16 d	1.0	33 d	13.4	37 d
60%海水	5.6	42 d	2.9	38 d	1.1	38 d	20.8	92 d
尾駮沼水 (50%海水)	4.5	35 d	2.7	37 d	1.2	57 d	27.8	78 d

表からも明らかな様に ¹⁴¹Ceを除いて環境水の塩分濃度が高くなると濃縮係数が少し高めになる傾向が見られる。汽水域を考慮に入れたこの程度の塩分濃度の変化では、上記核種に関する限り濃縮係数が大きく変化することは無いと言える。しかし、SrやCsなどについてはその影響を無視することは出来ない。また生物学的半減期に関しても大きな変動は無く、Co、Tc、Ru、Ceに関しては、生物濃縮に関わるパラメータについて汽水魚と海水魚との間で大きな差異はないと思われる。

3-1-3. 海水温度

変温動物である海産生物では代謝その他の生物学的過程の速度が温度の増加と共に増え、10°Cの温度上昇に対してほぼ倍の速度になることが知られている。放射性核種の取り込み、排出においてもその効果が見られ、10°Cの温度差で ^{137}Cs の濃縮係数が約2倍になること、あるいは ^{65}Zn の生物学的半減期が約 $\frac{1}{2}$ に短縮されること等が、海産魚や甲殻類で観測されている⁽²⁾。これらの現象は生物体内でも代謝活動の盛んな臓器や組織において顕著であることから、生物によって吸収され代謝経路に取り込まれる放射性核種に限って観測される可能性があり、むしろ生物学的要因として取り上げられるべきものと考えられるが、温度変化の影響を受けるのは必ずしも生物活動のみとは限らず、 ^{65}Zn では底質への分配係数も温度上昇によって増加することが報告されていることから、生物体表面への物理化学的吸着が主因となる様な生物濃縮に関しても濃縮係数への海水温度の効果を考慮しなければならない。また寒冷地域あるいは熱帯地域等では10°C以上の温度差も十分考えられるところから、温度効果に十分配慮した適切な濃縮係数の選定が必要であろう。

3-1-4. 海水中光度

沿岸海域に生息する植物プランクトンや海藻等にとって光が重要な環境要因であることは言うまでもないが、放射性核種の取り込みが光によって促進されることが、のりによる ^{65}Zn の濃縮で観測されている⁽⁶⁾。この場合も海水温度の影響と同様に、生物による炭酸同化作用と言う生物学的要因が ^{65}Zn の取り込み、そして濃縮係数と密接に関係していることを示唆するものと推定され、 ^{85}Sr や ^{106}Ru の濃縮に対しては光度の影響は明らかでないことから、海藻によるそれら放射性核種の取り込みが代謝活動とは直接関係のない表面吸着によることを裏付けるものと見ることもできる。しかしながら一方で、海藻による濃縮現象には、元素の物理化学的存在形態の他に特定元素に高い親和性を示す成分の含有など海藻の種特異性による影響も大きいことが知られており、単一の因子として光度の影響を定量的に記述することは難しい。むしろトレーサー実験における飼育条件としての配慮が求められよう。

3-1-5. その他の要因

生息環境に関わる影響要因として、底質の影響がある。一般に底質は多くの汚染物質を海水中よりも高い濃度で蓄積しており、海水中濃度が希釈拡散等によって減少した後も高濃度を保持して長期的な環境汚染源となることがしばしば問題となっている。放射性核種に関しても底質に対する高い分配係数での濃縮現象が認められるところから、海底に生息して堆積物中の生物やデトリタスを

補食摂取している底生生物に対して、底質と結合した放射性核種がどの程度直接または間接的に生物体に移行し、最終的に濃縮係数にいかなる影響を及ぼすかを明らかにすることが求められる。食性等、生物に起因する要因については別項で取り上げられているので省略するが、生息環境としての底質が及ぼす影響としては、底質と放射性核種の結合状態のうちどの程度が可溶態、すなわち交換態であるかが重要因子で、たとえその割合が僅かであっても分配係数がきわめて高い放射性核種の場合にはその溶出量を無視することは出来ない。また底質への蓄積中に化学形が変化することも別な重要因子で、還元型や有機態への変化によって新たに生物可給態としての溶離も考慮する必要がある。

(小柳 卓)

参考文献

- (1) Robertson, D.E.: Influence of the physico-chemical forms of radionuclides and stable trace elements in seawater in relation to uptake by the marine biosphere. "Marine Radioecology", OECD ENEA, p.21-93(1972)
- (2) IAEA, Methods of Surveying and Monitoring Marine Radioactivity. Safety Series No.11, Vienna(1965)
- (3) IAEA, Sediment Kds and Concentration Factors for Radionuclides in the Marine Environment. Technical Report Series No.247, Vienna(1985)
- (4) Kurabayashi, et al.: Concentration Factors of Marine Organisms used for the Environmental Dose Assessment. OECD/NEA, Third Seminar of Marine Radioecology(1979)
- (5) 原子力安全研究協会：再処理施設の周辺環境の安全確保に関する調査、平成5～6年度（最終報告書）(1995)
- (6) 山県登編著：生物濃縮－環境科学特論－、産業図書（1979）

3-2. 生物に起因する要因

線量評価においては対象とする地域や環境の自然科学的あるいは社会科学的な様々な特性に十分な配慮がなされることが望まれる。濃縮係数に関しても生物濃縮に影響を及ぼす変動要因を考慮に入れ、評価の前提となっているいろいろな条件に適した値（濃縮係数）を選択することが必要である。

我が国では、海産生物による放射性核種の生物濃縮に関しては、多くの研究者によって研究が行われ、これ迄に多数の有益な情報が得られている。海産生物による放射性核種（元素）濃縮に影響を及ぼす変動要因については、佐伯¹⁾らによって実験的に検討されており、また、清水による変動要因に関する総説^{2), 3)}にくわしく解説されている。濃縮係数を適用する際の指針として利用することが推奨される。

ところで、濃縮係数は海産生物に対する環境水中の放射性核種（元素）濃度比で表わされる。一般に、生物の濃度は生重量当りの値がとられる。海水および海産生物中の放射性核種（元素）濃度に関しては、数多くの報告値があり、濃縮係数を求めるために利用されている。これらの濃度の値は必ずしも濃縮係数を求めることを意図し得られたものばかりでないので、データの収集、解析段階でデータ間の整合性を考慮することが必要であり、濃縮係数の算出にあたっては、充分に変動要因も考慮に入れながら適切な値を採択することが望まれる。

- 1) 佐伯誠道他：「海洋放射能調査報告書 — 放射性核種の海産生物への移行に関する研究ならびに水産食品消費の実態調査」NIRS-R-3、放射線医学総合研究所、1974。
- 2) 清水 誠：生物濃縮とくに水産生物における濃縮係数とその変動、Isotope news, 8月号、2-5 (1979)。
- 3) 清水 誠：環境における放射性物質の生物濃縮について Radioisotopes, 22(11), 62-73(1973)。

3-2-1. 生物の食性

海洋生物は放射性元素を主として海水および餌経由で取り込み、海洋生態系では、両方の経路からの合計としての濃縮係数（Concentration Factor）に達する。この濃縮係数に対する海水および餌からの相対的寄与は、放射性元素によって、また、生物種によって異なる。取り込み経路が異なっても生物体内に取り込まれた放射性元素が体内で同一挙動すると仮定すれば、海洋生物の放射性元素の濃縮係数に対する海水および餌からの相対的寄与は、ラジオアイソトープ・トレーサー実験法により、単位時間（日）に海水および餌経由で生物体内に取り込まれる放射性元素量を両者で比較することで推定される。餌からの放射性元素の取り込みは、餌料の種類、消化管内での滞留時間、

吸収率、摂餌量あるいは、餌料生物の濃縮係数などに左右されるので、海洋生物における放射性元素の濃縮係数の取扱いに対しては、海洋生物の食性にも充分な考慮を払うことが必要である。海洋生物の食性に関しては、草食性、(Herbivorous)、肉食性 (Carnivorous)、デトリタス食性 (detritus feeder) および雑食性 (Omnivorous) に分類される。前述のように、餌の種類すなわち食性が異なれば餌の寄与の割合も変化する為、海洋生物の食性の違いは濃縮係数の変動要因の1つと考えられ、実際にいくつかの例が報告されている。¹⁻⁸⁾

また、同一種でも棲息場所や季節の違いや、成長段階での食性の変化によって生物中の放射性元素(安定元素)濃度が異なっているようであり、濃縮係数も食性によって数倍(セシウム)から二桁(プルトニウム、アメリカシウムなど)異なる値を与えている例がある。^{9) 10)}

フィールドにおける放射性元素の食物連鎖系を介しての移行については、¹³⁷Cs、⁶⁵Znの水棲生物への転移、蓄積は大きいものに対して、¹⁰⁶Ru、⁹⁰Sr、⁶⁰Co、²³⁹⁺²⁴⁰Puなどでは小さいことが認められている。¹¹⁻¹⁶⁾

3-2-2 生物の成長段階

海洋生物の成長に伴う放射性元素(安定元素)の体内濃度すなわち濃縮係数が変わる例は多く知られている。図3-2-2-1.に1例を示した。ニホンヤモリザメの筋肉中の諸元素濃度と体長の大きさ(全長)との関係である。Hg、As、Csのように体が大きくなるにつれて濃度が高くなるもの、Zn、Fe、Cu、Coのように負の相関を示すもの、Seのように体の大きさと濃度との間に特に関係の認められないものというように、元素によって体の大きさと濃度の関係に3つの型が認められる¹⁷⁾。元素ごとに体の大きさとどういった関係を示すかということは生物の種類、臓器別に若干変わるが、何れにしても体の大きさに応じて濃度が変動(系統的変動)することが認められている。その他としては、ホワイトオーク湖のブルーギルの¹³⁷Cs濃度は体重が増すにつれて増加することが報告されている。¹⁸⁾ 一方、アカガレイ*Hippoglossoides dubius*のように体の大きさと筋肉中¹³⁷CsおよびCs濃度の間に負の相関が認められる例もある。²⁰⁾

個体差に起因する変動要因としては、東京湾のカレイ、ムラサキイガイ、そして、各地のサメ、エイ類の例では、種々の元素濃度の変動は、変動係数(標準偏差/平均値)で表すと20-80%程度であるといわれ、これは元素や生物の種類、臓器などで異なることが報告されている^{17)、18)}。また、濃度の度数分布は高濃度側に尾をひき、正規分布より対数正規分布があてはまる場合が多いとされている。海洋生物の放射性元素や安定元素の分析データを得るにあたっては、充分な頻度で充分な試料数が得られるようなサンプリング計画が必要であろう。

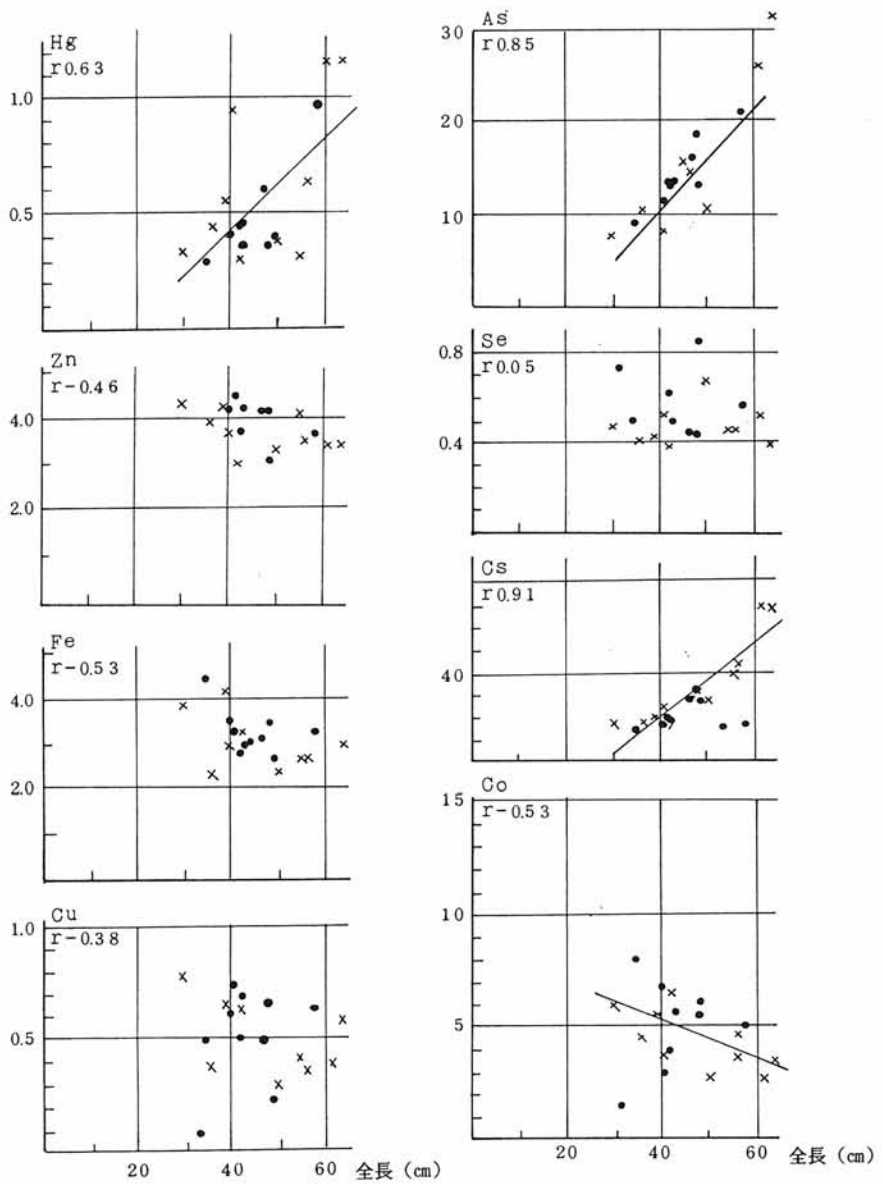


図3-2-2-1. ニホンヤマリザメ筋肉中の微量元素濃度と体長との関係

●♂、×♀、縦軸は濃度 (ppm wet, Cs, Co はppb wet) rは相関係数

3-2-3. 生物の生理特性

生体における元素の動態はそれぞれの元素によって特有の型を示す。亜鉛などのように生体に必須な元素は生体恒常性（ホメオスタシス）により一定の濃度に保たれるが、カドミウムや鉛のように必須性の認められない元素は年齢とともに臓器中濃度が増加する例がみられる。プルトニウムやアメリカシウムなどでは骨組織に蓄積する傾向があると報告されている。²¹⁾ この様な例からも海洋生物における濃縮係数の適用にあたっては、海洋生物の生理特性も十分に考慮することが望まれる。元素の生体内分布は臓器間で異なるが、濃縮係数は、一般には可食部に対しての値が使用される。筋肉は他の臓器に比べて、概して、元素濃度は低い。しかし、小型魚のように個体全体を食用に供する場合もあるので、食用とする状況に適合した濃縮係数を採用することも必要である。

硬骨魚と軟骨魚（サメ、エイ類）では、体液の浸透圧調節機構が異なるため、放射性元素の代謝挙動に差が認められる。エイ *Raja clavata* およびカレイ *Pleuronectes platessa* による放射性元素の摂取実験から、エイではカレイに比べて取り込みが大きいことが報告されている。²²⁻²⁶⁾ したがって、海産魚における濃縮係数の適用にあたっては、この点も十分に考慮することが望まれる。

3-2-4. その他の要因

3-2-4(1). 特定臓器における特異濃縮

海洋生物の元素濃縮は棲息環境や生物自身の要因によって変動するが、多くの場合、変動の幅はそれ程大きくない。しかし、自然界では特定の元素を特異的に高濃縮する生物が観察され、濃縮部位によっては通常の濃縮係数より数桁高くなることもある。

貝類では、サンゴ礁に棲息するシャコガイ類 *Tridacna* の Co 濃縮、²⁷⁻³¹⁾ カキの仲間による Cu、Zn の濃縮、³²⁻³⁴⁾ ワスレガイやホタテガイの仲間、その他による Mn の濃縮等³⁵⁻³⁹⁾ が観察されている。これらの濃縮は主として腎臓でなされ、海水または餌を経由して生物体内に取り込まれた元素が代謝されて、最終的に排泄器官である腎臓で結石や色素顆粒の形で濃縮されたものである。イカやタコの仲間が属する頭足類では、マダコの鰓心臓への Co、Fe や U、Am、Pu 等の元素の濃縮⁴⁰⁻⁴⁷⁾ が報告されている。鰓心臓は頭足類特有の臓器であるが、マダコの鰓心臓にはアデノクロムという茶褐色をした色素成分を含む顆粒が多数存在し、この色素成分と上記の元素との間に強い親和性がある為に高濃縮されるものと考えられている。^{48、49)} イイダコの鰓心臓やシャコガイの腎臓にも類似の色素成分が観察されている。^{30、50)} この他にもイセエビの仲間である *Homarus gammarus* の肝臓や排泄器官である緑腺への Tc の濃縮^{51、52)}、ある種のホヤや多毛類のエラコによる V の濃縮⁵³⁻⁵⁶⁾、海藻では、ある種の褐藻、特にヒバマタの仲間 (*Fucus*) の Tc の濃縮⁵⁷⁾ などの報告例がある。以上の

ように、特異濃縮は生物および元素ともに多岐にわたっているが、多くの場合、腎臓のような小さい部位で観察される例が多く、魚類をはじめとして主要な可食部である筋肉の元素濃度は、概して低めである。さらに、海洋生物全体を考えれば、特異濃縮する生物の存在量は僅かであるので、元素濃度のより低い他の多くの生物によって摂取され、稀釈されるので、特異濃縮する生物が海洋生物の濃縮係数の変動に影響を与えることは考えられない。むしろ、特異濃縮を示す生物は、放射性元素や他の公害元素による海洋汚染の程度を知る上で有効な指標生物として利用可能と考えられる。

3-2-4(2). 雌雄性

ある種の貝類では、成熟した雌の性腺でMn含量が雄の性腺に比べて一桁高いことが知られている。⁵⁸⁾ Mnの生理的役割は、まだ、解明されていないが、卵細胞の急速な増殖の間、Mnが触媒として作用していることは妥当性があるとされている。イガイ*Mytilus edulis*の性腺中の微量元素元素含量を比較したところ、雌/雄比はCuで0.5、Pbで1.7、Znで0.6となり、Cu、Znは卵巣で高く、Pbは精巣で高い結果が得られ、Cr、Agでは、雌雄間で有意な差がないことが報告されている。⁵⁹⁾ 棘皮動物のキタムラサキウニ*Strongylocentrotus nudus*の生殖腺では、P、Mg、およびZnで雌雄差が認められ、P、Mgは雄で高く、Znは雌が高いことが観察されている。⁶⁰⁾ また、Znに関しては、雄性腺のZn濃度は周年あまり大きな変動を示さないのに対して、雌性腺では季節的な変動が見られ、雌性腺の成熟度との関連が窺われた(図3-2-4(2)-1.)。魚類でも、性成熟したサケ*Oncorhynchus nerka*(雌)は雄よりも3倍以上Zn濃度が高いことが報告されている。⁶¹⁾

3-2-4(3) 季節変動

ヒバマタ*Fucus vesiculosus*中のZn、CdおよびPb含量の年変動を調べた結果では、Zn含量は2月に最高値を示すのに対して、9月では最低であった。⁶²⁾ 鉛含量は8月に最も高く、2月には最低値を示した。同様に、Cdは8月に最高値を示した。ホタテガイ*Pecten maximus*や海産二枚貝*Chlamys opercularis*のCo、Cu、Fe、Mn、Ni、PbおよびZn含量は、一般に、秋および冬期に最高値を示した。³⁵⁾ 図3-2-4(3)-1.および同3-2-4(3)-2に魚類における¹³⁷Cs含量の季節変動の1例として、鯉の体内¹³⁷Cs含量の年変動と摂取された餌の年間サイクルを示した。魚体内の¹³⁷Cs含量は摂取される餌の年間サイクルに依存し、春および秋に最高値を示し、夏および冬は最低であった。⁶³⁾ ブルーギルでも体内¹³⁷Cs含量の季節変動が認められている。¹⁹⁾ 海産魚の鱒の1種*Coregonus nasus*の肝臓中のCu濃度は冬で高く、夏および秋では低いことが認められている。⁶⁴⁾

以上、生物に起因する要因について述べたが、線量評価に用いる濃縮係数の採択にあたっては、生物濃縮に及ぼす変動を十分に考慮した上で、科学的かつ合理的な値(濃縮係数)の採用を図りつつ、实际的で安全な線量評価を行うことが期待される。

(木村 健一・中原元和)

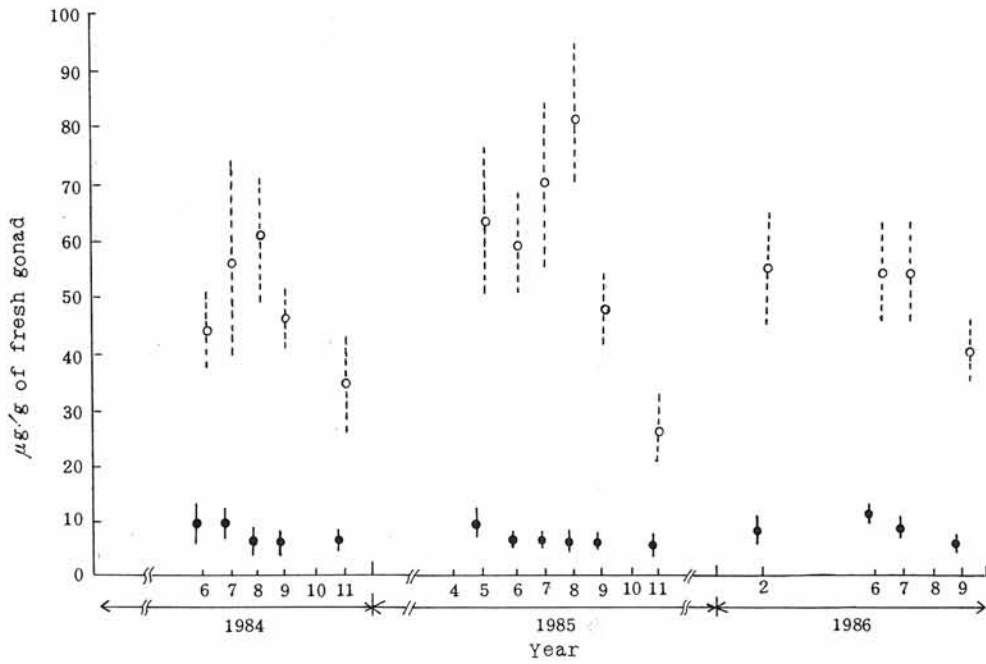


図 3 - 2 - 4 (2) - 1. キタムラサキウニの性腺中のZn濃度の経時変化

○ 雌性腺 ● 雄性腺

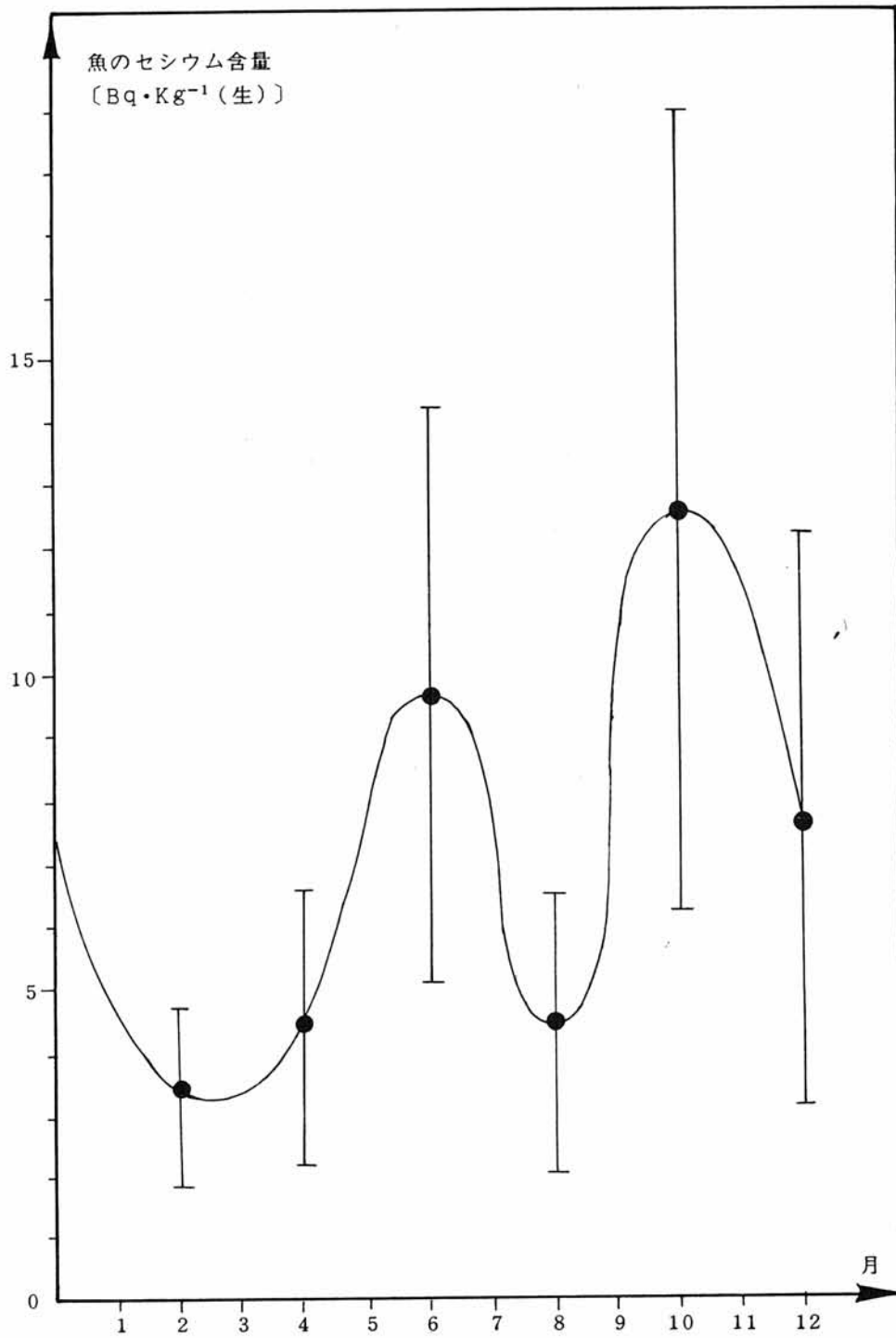


図3-2-4(3)-1. 鯉における ¹³⁷Cs含量の季節変動

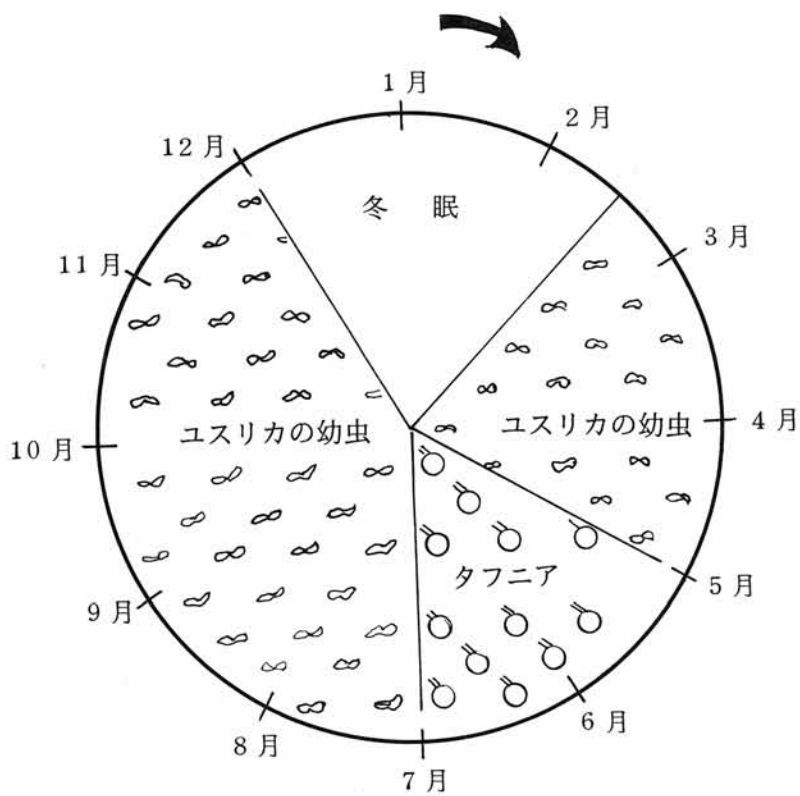


図 3 - 2 - 4 (3) - 2. 鯉の餌の年間サイクル

参考文献

- 1) Häsänen, F. and Miettinen, J.K. : Caesium-137 content of fresh-water fish in Finland, *Nature*, 200, 1018-1019(1963).
- 2) Nakamura, R., Nakahara, M., Suzuki, Y. and Ueda, T. : Relative importance of food and water in the accumulation of radionuclides by sea urchin *Strongylocentrotus nudus*, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 52, 703-710(1986).
- 3) Pellegrini, D. and Barghigiani, C. : Feeding behaviour and mercury content in two flat fish in the northern Tyrrhenian sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 20, 443-447(1989).
- 4) Dixon, R. and Bryn, J. : Mercury concentrations in stomach contents and muscle of five fish species from the North East Coast of England. *Mar. Pollut. Bull.*, 28, 741-745(1994).
- 5) 木村健一 : 魚類における放射性核種の吸収。第8回放射医研環境セミナー「海洋における生物濃縮とそれに影響をおよぼす因子」報文集、108-129(1980)。
- 6) Kimura, K. : Accumulation and Retention of Cesium-137 by the Common Goby. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 50, 481-487(1984).
- 7) Kimura, K. and Ichikawa, R. : Accumulation and Retention of Ingested Cobalt-60 by the Genuine Goby. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 38, 1097-1103(1972).
- 8) Kimura, K. and Ichikawa, R. : Accumulation and Retention of Ingested Ruthenium by Genuine Goby. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 35, 434-440(1969).
- 9) Gustafson, P.F., Brar, S.S. and Muniak, S.E. : Cesium in edible freshwater fish. *Nature*, 211, 843-844(1966).
- 10) Eyman, L. D. and Trabalka, J.R. : Patterns of Transuranic Uptake by Aquatic organisms : Consequences and Implications. "Transuranic Elements in the Environment." edited by Hansen, W.C., TIC/USDOE, P. 612-624(1980).
- 11) Pendleton, R.C. and Hanson, W.C. : Absorption of Cesium-137 by Components of an Aquatic Community. Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, 18, 419-422(1958).
- 12) Osterberg, C., Pearcy, W.G. and Curl, Jr, H. : Radioactivity and its Relationship to the Oceanic food chains. *Journal of Marine Research*, 22, 2-12(1964).
- 13) 南迫洋子, 梅津武司 : 東海村沿岸域の海産生物中のルテニウム 106濃度。東海区水研報告, 77, 103-111(1959)。
- 14) Ophel, I. L. : The fate of radiostrontium in a freshwater Community. *Radioecology* (Reinhold publ. Co.), 213-216(1963).

- 15) Ophel, I. L. and Fraser, C.D. : The fate of Cobalt-60 in a Natural Freshwater Ecosystem. Radionuclides in Ecosystems, 323-327(Proceedings of the Third National Symposium on Radioecology, May 1971).
- 16) Guary, J.C. and Fraizier, A. : Health Physics, 32, 21-28(1977).
- 17) 清水誠 : 濃縮係数を用いる際の問題点. 第8回放射医研環境セミナー「海洋における生物濃縮とそれに影響をおよぼす因子」報文集, 337-350(1980).
- 18) Taguchi, M., Yasuda, K., Toda, S., and Shimizu, M. : Study of Metal Contents of Elasmobranch Fishes : Part 1-Metal Concentration in the Muscle Tissues of a Dogfish. *Squalus mitsukurii*. Marine Environmental Research, 2(3), 239-249(1979).
- 19) Kolehmainen, S.E. : The Balance of ^{137}Cs , Stable Cesium and Potassium in the White Oak Lake Bluegill. ORNL-4446, 128-136, Oak Ridge National Laboratory(1970).
- 20) Ishikawa, Y., Yamada, K., Nonaka, N., Marumo, K. and Ueda, T. : Size-dependent Concentration of Radiocesium and Stable Elements in Muscles of Flathead Flounder *Hippoglossoides dubius*. Fisheries Science, 41(6), 981-985(1995)
- 21) 松原純子 : 線量評価と臓器蓄積モデルの選択. 第8回放射医研環境セミナー「海洋における生物濃縮とそれに影響をおよぼす因子」報文集, 321-335(1980).
- 22) Pentreath, R.J. : The Accumulation of ^{110m}Ag by the Plaice, *Pleuronectes platessa* L. and the Thornback Ray, *Raja clavata* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 29, 315-325(1977).
- 23) Pentreath, R. J. : ^{237}Pu Experiments with the Plaice *Pleuronectes platessa* L. Marine Biology, 48, 327-335(1978).
- 24) Pentreath, R.J. : ^{237}Pu Experiments with the Thornback Ray *Raja clavata* L. Marine Biology, 48, 337-342(1978).
- 25) Pentreath, R.J. : The Accumulation and Retention of ^{65}Zn and ^{54}Mn by the Plaice, *Pleuronectes platessa* L. J. Exp Mar. Biol., 12, 1-18(1973).
- 26) Pentreath, R. J. : The Accumulation from sea water of ^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{58}Co and ^{59}Fe by the Thornback Ray, *Raja Clavata* L. J. Exp. Mar, Biol. Ecol., 12, 327-334(1973).
- 27) Weiss, H.V. and Shipman, W.H. : Biological concentration by killer clams of cobalt-60 from radioactive fallout. Science, 125, 695(1957)
- 28) Lowman, F.G. : Marine biological investigations at the Eniwetok test site. in Proc. of Symp. on Disposal of Radioactive Wastes, (IAEA), Vienna, 106-148(1960)
- 29) 吉田勝彦 : 軟体動物の特定部位への ^{60}Co の蓄積 — 野外調査による検証、バックグランドレベル及び移行経路に関する若干の考察 — 、第8回放射医研環境セミナー報文集、NIRS-M-39、207-226(1981)

- 30) Ueda, T., Suzuki, Y., Nakamura, R. and Nakahara, M. : Accumulation of Co by bivalve *Tridacna crocea*, Nippon Suisan Gakkaishi, 48, 1293-1297(1982)
- 31) Ishii, T., Okoshi, K., Otake, T. and Nakahara, M. : Concentrations of elements in tissues of four species of Tridacnidae. Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 1285-1290(1992)
- 32) Galtsoff, P.S. : The American oyster, *Crassostrea virginica* Gmelin. Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service, 64, 387-390. (1964)
- 33) Shuster, C.N. Jr. and Pringle, B.H. : Trace metal accumulation by the American eastern oyster, *Crassostrea virginica*. 1968 Proc. of National Shellfisheries Association, 59, 91-103(1969)
- 34) 生田國雄 : ミドリガキに関する研究、宮崎大学農学部研究報告、19, 1-116(1972)
- 35) Bryan, G. W. : The occurrence and seasonal variation of trace metals in the Scallops *Pecten maximus* (L.) and *Chlamys opercularis* (L.). J. mar. biol. Ass. U.K., 53, 145-166(1973)
- 36) Carmichael, N.G., Squibb, K.S. and Fowler, B.A. : Metals in the molluscan kidney: A comparison of two closely related bivalve species (*Argopecten*), Using X-ray microanalysis and atomic absorption spectroscopy. J. Fish. Res. Board Can., 36, 1149-1155(1979)
- 37) George, S.G. Pirie, B.J.S. and Coombs, T.L. : Isolation and elemental analysis of metal-rich granules from the kidney of the scallop, *Pecten maximus* (L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 42, 143-156(1980)
- 38) Ishii, T., Ikuta, K., Otake, T., Hara, M., Ishikawa, M. and Koyanagi, T. : High accumulation of elements in the kidney of the marine bivalve *Cyclosunetta menstrualis*. Nippon Suisan Gakkaishi, 52, 147-154(1986)
- 39) Ishii, T., Kodama, M., Ishikawa, M., Matsuba, M., Kurosawa, M. and Koyanagi, T. : Relationship between concentrations of elements and body size of the clam *Cyclosunetta menstrualis*. Nippon Suisan Gakkaishi, 53, 1095-1102(1987)
- 40) Miramand, P. and Guary, J.C. : High concentration of some heavy metals in tissues of the Mediterranean Octopus. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 24, 783-788(1980)
- 41) Miramand, P. and Guary, J.C. : Association of americium-241 with adenochromes in the branchial hearts of the cephalopod *Octopus vulgaris*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 4, 127-129(1981)
- 42) Nakahara, M., Koyanagi, T., Ueda, T. and Shimizu, C. : Peculiar accumulation of cobalt-60 by the branchial heart of Octopus. Nippon Suisan Gakkaishi, 45, 539(1979)

- 43) Ueda, T., Nakahara, M., Ishii, T., Suzuki, Y. and Suzuki, H.: Amounts of trace elements in marine cephalopods. *J. Radiat. Res.*, 20, 338-342(1979)
- 44) Nakahara, M., Ueda, T., Suzuki, Y., Ishii, T. and Suzuki, H.: Concentration factors of mesopelagic organisms. in *Marine Radioecology, Proceedings 3rd NEA Seminar*, Tokyo, 1979, OECD, Paris, 323-334(1980)
- 45) Nakahara, M., Koyanagi, T., Ueda, T. and Shimizu, C.: Uptake and excretion of cobalt-60 taken up from seawater by *Octopus vulgaris*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 48, 1739-1744(1982)
- 46) Guary, J.C., Higgs, J.J.W., Cherry, R.D. and Heyraud, M.: High concentrations of transuranics and natural radioactive elements in the branchial hearts of the cephalopod, *Octopus vulgaris*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 4, 123-126(1981)
- 47) 石井紀明・中原元和・松葉満江・石川昌史: 誘導結合プラズマ質量分析法による海洋生物中の²³⁸Uの定量. *日水誌*, 57, 779-787(1991)
- 48) Fox, D.L. and Updegraff, D.M.: Adenochrome, a glandular pigment in the branchial hearts of the Octopus. *Archs. Biochem.*, 1, 339-356(1943)
- 49) Nakahara, M. and Shimizu, C.: Cobalt-binding substances in the branchial heart of *Octopus vulgaris*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 1195-1199(1985)
- 50) Koyanagi, T., Nakahara, M., Matsuba, M. and Hirano, S.: Metabolism of radionuclides in a cephalopods, *Idako Octopus ocellatus*. *J. Radiat. Res.*, 23, 105-118(1982)
- 51) Swift, D.J.: The accumulation of ^{95m}Tc from sea water by juvenile lobsters (*Homarus gammarus* L.). *J. Environ. Radioactivity*, 2, 229-243(1985)
- 52) Fowler, S.W., Benayoun, G., Parsi, P., Essa, M.W.A. and Schulte, E.H.: Experimental studies on the bioavailability of technetium in selected marine organisms. in *Impacts of radionuclides releases into the marine environment*, (Proc. Symp., Vienna, 1980), IAEA, Vienna, 319-339(1981)
- 53) Pirie, B.J.S. and Bell, M.V. The localization of inorganic elements, particularly vanadium and sulphur, in haemolymph from the *Ascidia mentula* and *Ascidella aspersa*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74, 187-194(1984)
- 54) Michibata, H., Terada, T., Anada, N., Yamakawa, K. and Numakunai, T.: The accumulation and distribution of vanadium, iron and manganese in some solitary ascidians. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., Woods Hole*, 171, 672-681(1986)
- 55) Ishii, T., Nakai, I., Numako, C., Okoshi, K. and Otake, T.: Discovery of a new vanadium accumulator, the fan worm *Pseudopotamilla ocellata*. *Naturwissenschaften*,

80, 268-270(1993)

- 56) Ishii, T., Otake, T., Okoshi, K., Nakahara, M. and Nakamura, R.: Intracellular localization of Vanadium in the fan worm *Pseudopotamilla ocellata*. *Marine Biology*, 121, 143-151(1994)
- 57) Pentreath, R.J.: The biological availability to marine organisms of transuranium and other long-lived nuclides. in *Impacts of radionuclide releases into the marine environment*, (Proc, Symp., Vienna, 1980), IAEA, Vienna, 241-272(1981)
- 58) 生田國雄: 軟体類の重金属濃縮. 第8回放射医研環境セミナー「海洋における生物濃縮とそれに影響を及ぼす因子」報文集, 320-335(1980).
- 59) 生田國雄: 重金属濃縮と雌性. *放射線科学*, 27, 197-200(1984).
- 60) Ueda, T., Ishii, T., Nakahara, M., Nakamura, R., Suzuki, Y. and Shimizu, C.: Elements in Gonad of the Sea Urchin *Strongylocentrotus nudus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1095-1102(1991).
- 61) Fletcher, G.L. and King, M.J.: Copper, Zinc, Calcium, Magnesium, and Phosphate in the Gonad and Livers of Sockeye Salmon *Oncorhynchus nerka* during spawning migration. *Comp. Biochem. Physiol.*, 60A; 127-130(1978)
- 62) Gisela Steinhagen-Schneider: *Fucus vesiculosus* als Schwermetall Bioakkumulator. Der Einfluss von Temperatur, Salzgehalt and Metall-kombination auf die inkorporationsleistung. Bericht aus dem Institut Für Meere kunde an der Christian-Albrechts-Universität, Kiel(Nr.93), 1981.
- 63) Lambrechts, A.: Essai de Modelisation du Transfert du Cesium Dans les Compartiments d'Un Ecosysteme d'Eau Douce Simplifie. Rapport CEA-R-5268. 181P(1984)
- 64) Hyvarinen, H. and Valtonen, T.: Seasonal Changes in the liver mineral content of *Coregonus nasus* (Pallas), *sendu* Svardson, in the Bay of Bothnia. *Comp. Biochem. Physiol.* 45B: 875-881(1973).

4. 濃縮係数に関連する計算モデル

4-1. 動的モデル

放射性物質の環境への放出が伴う事業や行為は、適切な事前評価を行い結果として生ずるヒトに対する線量を予測し、線量限度との比較によりその行為の正当性を判断し、また可能な限り線量を低減するための最適化を図ることが、放射線防護の基本的な原則になっている。この線量予測は、放射性物質の放出源に関する情報、輸送・伝播媒体、食物連鎖、そしてヒトの放射性物質の摂取と代謝に関し移行量や分布割合等を数学的モデルを用いて計算によって行われる。大気、水圏への放出に対して輸送媒体中の放射性物質の挙動、生態学的移行機構、またヒトの器官・組織における生理学的挙動等に関して適切なモデルの選択や構築が求められているわけである。国際放射線防護委員会（ICRP）は、環境中の放射性物質の挙動、ヒトへの移行を表すための数学的モデルの設定法を同委員会の刊行物、ICRP Pub. No.29 (International Commission on Radiological Protection : Radionuclide Release into the Environment : Assessment of Doses to Man, ICRP Publication 29(Annals of the ICRP, 2(2)), ICRP, Oxford, New York, Frankfurt(1979))において勧告している。

近年自然科学、社会科学を問わず様々な研究分野で相互に関連しあう複雑なシステムの挙動に関する研究が広範に行われてきている。これらの手法や経験は、生態学や環境研究の分野にも応用され、生態系に及ぼす種々のストレスの影響やいろいろな生態系での状態を理解するための手段として用いられシステム生態学として一つの分野を形成しつつある。システム生態学では、「任意の時刻における生態系の状態を数的に表現することができ、そのシステム内の変化を数的に記述できる」という仮定に基づいて議論が進められる（高倉 直監訳、古在豊樹、佐藤治雄、城田安幸、訳、C.T.ドウィット、J.ハウドリアン著：生物ダイナミクス、生物科学におけるコンピュータ入門、講談社サイエンティフィック（1977））。生態系の状態を決定するための要因には状態に依存する要因、システムに内在する要因、あるいはシステム外からシステムに影響を及ぼす要因など様々なものがあり、モデルにおいては、変数として表現されることになる。一般に、生態系の状態を物理、化学、及び生物学的な諸法則に矛盾なく数的に表現することは、必ずしも容易ではない。また、利用し得る定量的な生態学的データや環境データが欠けているために移行パラメータが実際に決定できるかが問われる場合もある。しかし、煩雑な諸条件が捨象できるような条件下では、比較的簡易な数学的記述で系の応答を表現することが可能である。

ICRP Pub. No.29においては、被ばく経路に沿うブロックダイアグラムの作成、放射性物質の生態学的移行に関する数学的モデル化手法、そのモデルで用いられる移行係数の決定法、そして決定核種と経路および移行パラメータの不確かさを解析する方法等、線量予測のための一連の手順が

与えられている。放射性物質の生態学的移行を表す方法としては、濃縮係数法（CF法）、システム解析法（SA法）が提案され、二つの方法を適用するための要件について検討が加えられている。濃縮係数法は、静的な手法ということができ、放出率と環境中の放射性物質の濃度との間に平衡な関係が仮定できる場合や放射性物質の長期的な放出状況での系の応答を予測する場合などに適用できる方法である。この方法では、ブロックダイアグラムの個々の構成員（コンパートメント）は濃度と対応づけられ、コンパートメント間の移行は濃度比として表現される。パラメータを求める方法としてはコンパートメント中の諸量の時間微分、ゼロに相当する平衡条件を実験的に再現し濃度比を求め、あるいは、放射性元素の安定同位体の平衡濃度を測定しコンパートメント間での比較することなどが考えられている。一方、動的な手法（システム解析法）では、コンパートメントの減少率とコンパートメント間の移行率によって系の応答を示す、より一般的な表現手法で、短期放出にともなう物質の時空間的分布を予測するために適用できる方法である。コンパートメント間の放射性物質の時間的な移動は、微分方程式で記述され、最も単純な定数係数の線形一次の常微分方程式では、個々の流入、流出の項は、速度定数と供給側コンパートメントの物質濃度の積として表される。この手法においては、濃度が適当な水準に達するまでであるコンパートメントへの流入を観察し、流入を取りやめた後の濃度の減少率を測定するといったような実験によって移行係数、移行関数を求めることが可能である。

水圏における放射性物質移行も静的な、あるいは動的な手法によって表現される。放射性核種の水棲生物による取り込みを動的にとらえるために生物の取り込みを環境水中の濃度、そして、生物による排出を生物中の濃度と間の一次反応とみなして表現する手法が広く用いられている。すなわち、時刻 t における生物中および水中の放射性核種濃度を C_i 、 C_w 、生物による放射性核種の摂取率、排出率を i 、 k とすると生物中の放射性核種濃度は次式のように表すことができる。

$$\frac{dC_i}{dt} = i \cdot C_w - (k + \lambda) \cdot C_i \quad (1)$$

C_w が一定の値 C_w^{const} であれば、

$$C_i = \frac{i \cdot C_w^{const}}{k + \lambda} \left\{ 1 - e^{-(k+\lambda)t} \right\} \quad (2)$$

である。ただし、 λ は、放射性核種の壊変定数である。

C_i は実際の環境では拡散などによって時間とともに変動すると考えられるが、もし、物理学的な壊変による減少のみを考慮すればよい場合には、初期濃度を C_w^0 とすれば、

$$C_w = C_w^0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

であり、(1)の解として次式を得る。

$$C_t = \frac{i \cdot C_w^0}{k} \left\{ e^{-\lambda t} - e^{-(k+\lambda)t} \right\} \quad (4)$$

生物中の放射性核種濃度を水中の濃度に対する比で表すと(2)式および(4)式で表された場合について、それぞれ、次式が得られる。

$$\frac{C_t}{C_w} = \frac{i}{k+\lambda} \left\{ 1 - e^{-(k+\lambda)t} \right\} \quad (5)$$

$$\frac{C_t}{C_w} = \frac{i}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (6)$$

濃縮係数 (CF) は放射性核種の分布が生物中と水中で平衡に達したときの両者の濃度の比であるから(5)、(6)式で $t \rightarrow \infty$ とした値とすることができる。したがって、

$$CF = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C_t}{C_w} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{i}{k+\lambda} \left\{ 1 - e^{-(k+\lambda)t} \right\} = \frac{i}{k+\lambda} \quad (7)$$

および、

$$CF = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C_t}{C_w} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{i}{k} (1 - e^{-kt}) = \frac{i}{k} \quad (8)$$

を得る。この方法は元素の生物濃縮現象を極めて単純化して捉えているものであり、得られた濃縮係数を適用する際にはその効用と限界について十分に吟味することが必要である。

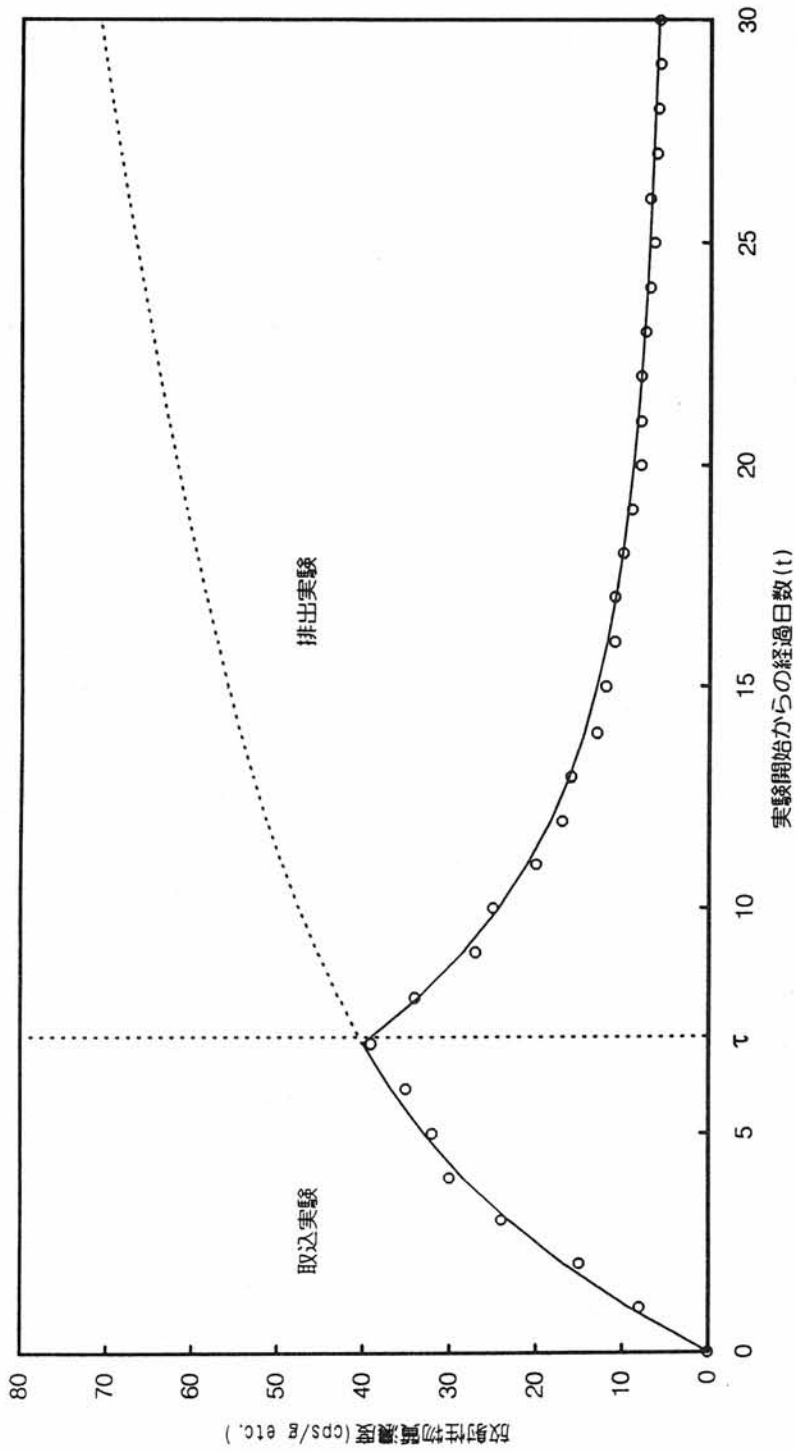
濃縮係数や摂取率、排出率等の代謝パラメータは、放射性同位元素などを用いた取り込み実験データから回帰分析によって求められる。しかし、生物は、体内の諸器官・組織における代謝に対応して複雑な多相的な取込・排出を示すことが一般である。このような場合には、生物体を複数のコンパートメントで表現し、それらコンパートメント間の移行の結果として観察されるような放射性物質代謝パターンが得られたと考えることがより適当である。既に述べたように、動的手法において移行係数を実験的に求めるには、濃度が適当な水準に達するまであるコンパートメントへの流入を観察し、流入を取りやめた後の濃度の減少率を測定するといった手法によって行われる。

海産生物による放射性物質の取込・排出実験では、実験開始よりある器官、 τ 日間は海産生物を一定の放射性物質濃度の汚染海水中で飼育し、その後放射性物質を含まぬ清澄海水に個体を移しその間生物中の放射性物質の濃度あるいは総量を経時的に測定するという手法がとられる。このような実験では、図4-1-1.に示すような結果が典型的な例として得られる。生物体内での放射性物質の滞留を最も単純な場合として排出速度の異なる互いに独立な複数のコンパートメントにおける滞留の和として表すと、実験開始より τ 日後以降の滞留は、

$$(9)$$

で表される。ただし、 β_1 、 β_2 、 \dots 、 β_n は、各コンパートメントからの排出定数、および $t \geq \tau$

図4-1-1. 海産生物による放射性物質取込・排出実験例



とする。

この生物が汚染海水中に飼育された場合の実験開始からの放射性物質の取込は、各コンパートメントの取込速度定数を α_1 、 α_2 、 \dots 、 α_n とすると、一般に、

$$\begin{aligned}
 G(t)_{t \rightarrow T} &= \int_0^T g(t) dt = \int_0^T \{ \alpha_1 \exp(-\beta_1 t) + \alpha_2 \exp(-\beta_2 t) + \dots + \alpha_n \exp(-\beta_n t) \} dt \\
 &= \left[-\frac{\alpha_1}{\beta_1} \exp(-\beta_1 t) - \frac{\alpha_2}{\beta_2} \exp(-\beta_2 t) + \dots + \frac{\alpha_n}{\beta_n} \exp(-\beta_n t) \right]_0^T \\
 &= \frac{\alpha_1}{\beta_1} \{ 1 - \exp(-\beta_1 T) \} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \{ 1 - \exp(-\beta_2 T) \} + \dots + \frac{\alpha_n}{\beta_n} \{ 1 - \exp(-\beta_n T) \}
 \end{aligned} \tag{10}$$

と表されるから、 τ 日間では、

$$G(\tau) = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \{ 1 - \exp(-\beta_1 \tau) \} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \{ 1 - \exp(-\beta_2 \tau) \} + \dots + \frac{\alpha_n}{\beta_n} \{ 1 - \exp(-\beta_n \tau) \} \tag{11}$$

である。排出実験開始時の放射性物質の体内滞留は、(9)式から、

$$f(\tau) = K_1 + K_2 + \dots + K_n \tag{12}$$

を得、(9)式から(12)式の右辺各項の比較から、

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{\alpha_1}{\beta_1} \{ 1 - \exp(-\beta_1 \tau) \} \\
 K_2 &= \frac{\alpha_2}{\beta_2} \{ 1 - \exp(-\beta_2 \tau) \} \\
 &\dots\dots \\
 K_n &= \frac{\alpha_n}{\beta_n} \{ 1 - \exp(-\beta_n \tau) \}
 \end{aligned} \tag{13}$$

となる。したがって、取込曲線は、(10)、(13)式より

$$G(t) = \frac{K_1 \{ 1 - \exp(-\beta_1 t) \}}{1 - \exp(-\beta_1 \tau)} + \frac{K_2 \{ 1 - \exp(-\beta_2 t) \}}{1 - \exp(-\beta_2 \tau)} + \dots + \frac{K_n \{ 1 - \exp(-\beta_n t) \}}{1 - \exp(-\beta_n \tau)} \tag{14}$$

によって表されることになる。一方、濃縮係数 (CF) は、(14)式で、 $t = \infty$ とした値に相当するから、

$$CF = \lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = \frac{K_1}{1 - \exp(-\beta_1 \tau)} + \frac{K_2}{1 - \exp(-\beta_2 \tau)} + \dots + \frac{K_n}{1 - \exp(-\beta_n \tau)} \tag{15}$$

を得、取込定数は、(13)式から明らかなように、実験データより次式、

$$\begin{aligned}
\alpha_1 &= \frac{K_1 \cdot \beta_1}{1 - \exp(-\beta_1 \tau)} \\
\alpha_2 &= \frac{K_2 \cdot \beta_2}{1 - \exp(-\beta_2 \tau)} \\
&\dots\dots \\
\alpha_n &= \frac{K_n \cdot \beta_n}{1 - \exp(-\beta_n \tau)}
\end{aligned}
\tag{16}$$

によって得られる。

実験データの(9)式、(14)式によるカーブフィッティングは、電算機処理によって行うことが便利であるが、専用のプログラムは、放射線医学総合研究所、柴田貞夫氏によっても開発されている。また、昨今は、パーソナルコンピュータ上で稼働する数値解析ソフトが多数市販されており、容易に解析が可能な状況になっている。

海域に放出される放射性物質は、環境水中の濃度も食物連鎖上の構成員間の分布も時間とともに変化するのが通常であり、環境移行の動的な解析のためには各移行経路の寄与を明らかにする必要性が生ずる。水産食品として利用される海産生物の生産は、一般に、自然環境の生産性に委ねるものであり、食物連鎖上の重要な移行経路の寄与を定量化しておくことは環境汚染評価上も意味のあることである。海産動物は放射性物質を海水と餌料から体内に摂取する。餌料による取込を海水からの取込と同様に取り扱い、上述の(8)式によって餌料による濃縮係数を表すことができるとすると海水中濃度で規格化した餌料経由の摂取率 i_f は、

$$i_f = \frac{q_{AB} \cdot C_B \cdot r}{W_A \cdot C_w}
\tag{17}$$

ここで、 q_{AB} は重量 W_A の海産動物Aによる放射性物質濃度 C_B の餌料Bの日摂取量である。また r は餌料の腸管吸収率である。したがって、式(9)は、次式と同義である。

$$i_f = q_{AB}^* \cdot CF_B \cdot r
\tag{18}$$

ただし、 q_{AB}^* 、 CF_B は、それぞれ、餌料日摂取率、餌料の濃縮係数である。

したがって、餌料経由の濃縮係数 CF_f は、

$$CF_f = \frac{q_{AB}^* \cdot CF_B \cdot r}{k}
\tag{19}$$

と考えることができる。餌料の腸管吸収率は、RIを用いた取込・排出実験において排出実験に切り替えた際の最大体内負荷量から初期の速やかな排出成分を除去した成分の割合を用いたり、あるいは経験的に48時間後の体内負荷量の最大負荷量に対する割合が用いられている。海藻-アワビの例では、通常、 q_{AB}^* は3%程度、 r は45%程度である。海水から取り込まれる放射性元素と餌料か

ら取り込まれる放射性元素の体内での挙動が等しいときには、濃縮係数におけるそれぞれの移行経路の寄与は、海水経路の濃縮係数を CF_w とすると、前者では、 $CF_w/(CF_w+CF_i)$ 、後者では $CF_i/(CF_w+CF_i)$ を考えればよいとされている (Ryoichi Nakamura, Motokazu Nakahara, Yuzuru Suzuki, and Taishi Ueda, Effects of Chemical Forms and Intake Oathways on the Accumulation of Radioactive Cobalt by the Abalone *Haliotis discus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 48(11), 1639-1644, 1982.)。

餌料寄与の濃縮係数を考察する際にも餌料の種依存性など様々な変動要因を考える必要があることはいうまでもない。海産生物による放射性物質の濃縮係数値を適用するためには、生物学的な観点からの変動要因、あるいは環境に起因する変動要因等、後に述べる様々な変動要因を理解することが必須である。

上で述べたように、海産生物における代謝パラメータが得られた場合には、動的モデルを用いて水域での放射性物質の分布を予想することが可能である。一例として図4-1-2.に示した北方海域での有用水産物間での ^{137}Cs の分布を考察することにする。それぞれの生物では放射性同位元素を用いたトレーサー実験によって、代謝パラメータが得られており、また摂取率、吸収率も観察によって得られている。これらを一覧表(表4-1-1.)に示した。ただし、生物から排出された放射性物質の海水中濃度に対する影響は無視し得るものとした。海水に ^{137}Cs の放出があった場合に1日あたり10%の水の交換率がある水域で、初期海水濃度に対する相対的な ^{137}Cs 濃度は、容易に計算され、図4-1-3.に示すような関係を得ることができる。図では、急速な環境水中の ^{137}Cs 減少が見られる一方で生物中には周囲の水よりも高いレベルで ^{137}Cs の滞留が起こり得ること、またその水準は体内に排出速度定数の小さなコンパートメントを有する魚類などでより緩やかに推移すること等が理解される。動的なモデルを用いることにより任意の条件の下での放射性物質による時空間的な汚染状態が予想されるなど有用な情報を得ることができる。

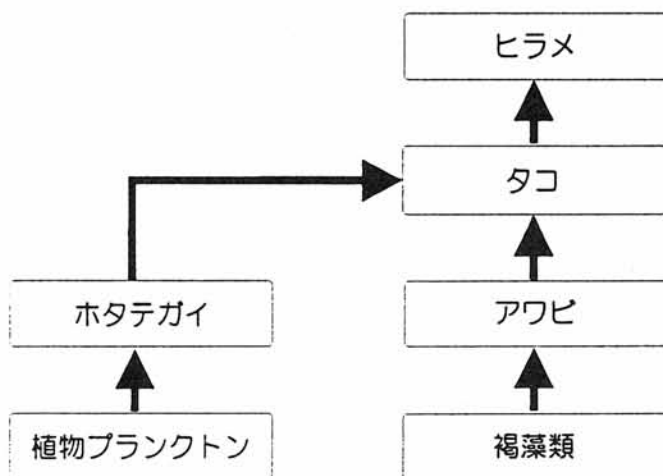


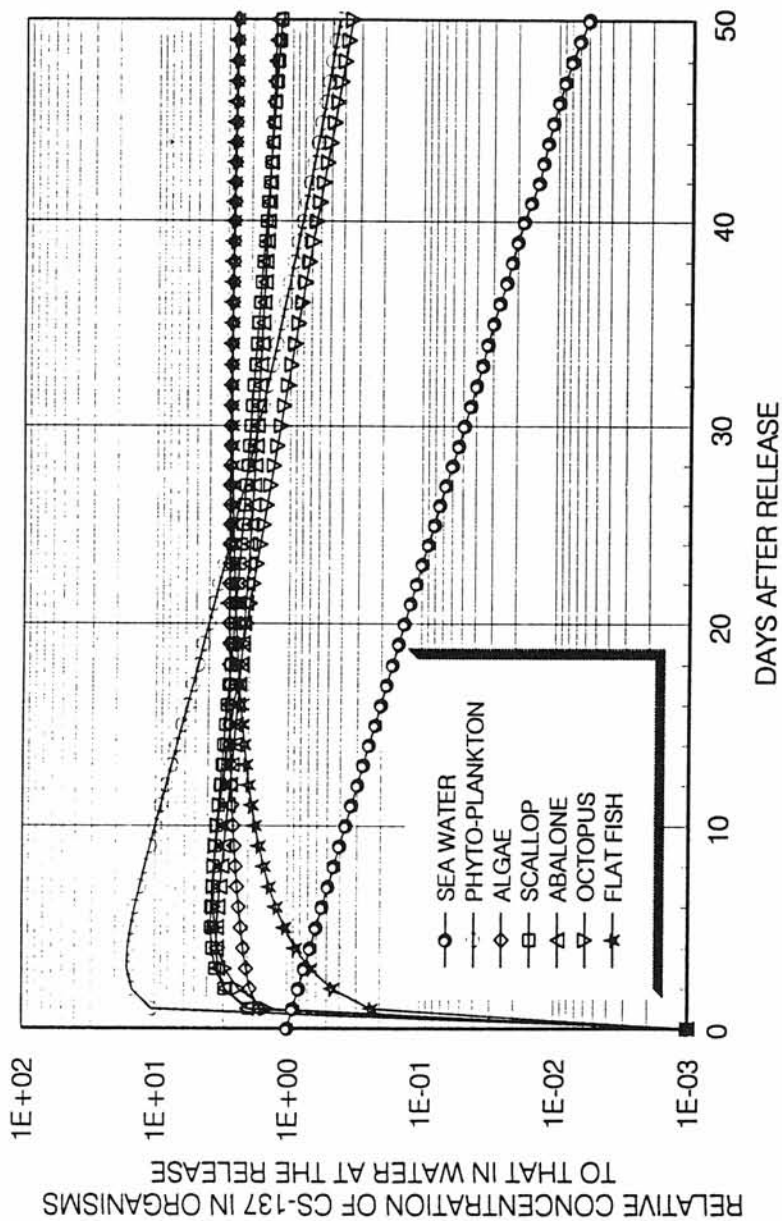
図 4 - 1 - 2. 北方海域における食物連鎖

表4-1-1-1. 北方海域食物連鎖における移行パラメータの一例 (単位: 1/ d)

移行先	移行元	海水*		植物プランクトン		褐藻類		ホタテガイ		アワビ		タコ		ヒラメ	
		速	遅	速	遅	速	遅	速	遅	速	遅	速	遅	速	遅
植物プランクトン	海水*	0.10006													
	速	15.37	0.69076												
褐藻類	遅	0.0885		0.03036											
	速	3.4829			2.22496										
ホタテガイ	遅	0.3271				0.00586									
	速	2.3285						0.58746							
アワビ	遅	0.3058		0.00015					0.02426						
	速	2.6724								0.69546					
タコ	遅	0.2106				0.007					0.02576				
	速	1.3587										0.35656			
ヒラメ	遅	0.3615											0.07216		
	速	0.1253							0.00125	0.00125	0.00125				
	遅	0.1116										0.031	0.031		0.01116

*: 海水の交換率を1日あたり10%と仮定.

図4—1—3. 北方海域食物連鎖におけるCs-137の分布



(渡部 輝久)

4-2. 代謝パラメータ

濃縮係数は海洋生物が放射性核種を蓄積して、生物とその生息海水中の放射性核種濃度が平衡状態になった時の生物対海水の濃度比と定義される。したがって、ある生態系で海水中の放射性核種の濃度が与えられた場合、その濃度と生物の濃縮係数との積は、その生態系でその生物が生活して到達する最高の濃縮レベルと考えられる。この点から、原子力発電所や核燃料再処理施設などの安全審査の際に、施設の稼働により予測される海水中放射能濃度が与えられると生息生物の汚染の最高レベルが簡単に計算される為、濃縮係数は有効な係数となる。しかし、実際に放射性核種が海洋環境中に放出された場合、そこに生息する生物は直ぐに汚染の最高レベルに到達するわけではなく、生物の種類や核種にもよるが、かなりの時間を要するのが普通である。その間に海水中の核種濃度は潮流等により拡散・希釈され、また生物自身及び生物を取り巻く環境要因も変動する為、生物と海水の核種濃度は平衡関係にならない場合が多い。このような条件下での海洋生物の放射能汚染の推移を実態に則して動的に予測する時には、濃縮係数ではなく、生物が放射性核種を体内に取り込む速度定数と体外に排泄する速度定数が必要・不可欠となる。これらの速度定数は、生物の物質代謝に深く関連しているので代謝パラメータとも呼ばれ、主として放射性核種をトレーサーとした室内実験から推定される。室内実験で求めた代謝パラメータを野外調査に適用した例を図4-2-1および2に示した¹⁾。図4-2-1は福井県浦底湾で観測されたホンダワラ（褐藻の一種）の⁶⁰Co濃度の経時変化（観測値）と、水槽実験で求めたホンダワラの⁶⁰Coの代謝パラメータを用いて計算した理論値である。図4-2-2は湾内に生息する種々の生物がホンダワラの場合と同一条件下に置かれた場合に、生物の⁶⁰Co汚染がどの様に推移するかを各々の生物の代謝パラメータを用いて計算したものである。濃縮係数だけでは予測できない海洋生物の放射能汚染を動的に推定するのに代謝パラメータが有効であることを示している。

海洋生物が生息環境から放射性核種を取り込む経路として、植物プランクトンや海藻は海水から直接取り込む経路（海水取り込み）だけを考えれば良いが、その他の生物は海水取り込みの他に餌を介して取り込む経路（餌取り込み）も考慮しなければならない。海洋生物の放射性核種濃縮における両経路の寄与の割合が、核種の違いや生物自身の食性の違いによって異なることは3章の濃縮係数の変動要因の所で述べられている。水槽実験でも植物プランクトンや海藻以外の生物については、自然の生態系を模擬して海水及び餌の両経路から同時に放射性核種を取り込ませる実験が理想であるが、実験の困難さやデータ解析の複雑さの為に、海水取り込み実験と餌取り込み実験とは独立して別々にやられることが多く、代謝パラメータも経路別に求められるのが普通である。海水取り込み実験では、生物を汚染海水で飼育し、その後汚染した生物を非汚染海水で飼育して観察される生物による放射性核種を取り込みと排出の結果に前項で説明されたコンパートメントモデルを当てはめることにより海水取り込みの代謝パラメータが得られる（図4-2-3.）。餌からの取り込

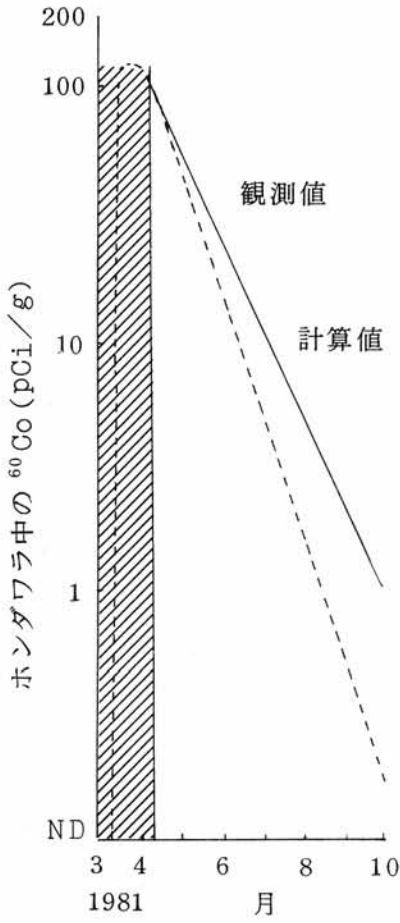


図4-2-1. 浦底湾のホンダワラの観測値と理想値
 — : 観測値、
 : 計算値、
 斜線部分の点線は式を用いて推定した計算値

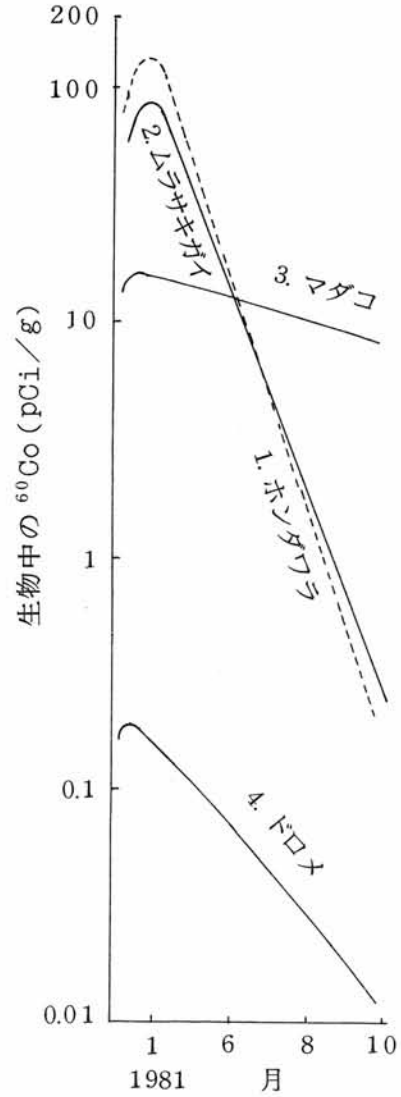


図4-2-2. 浦底湾の生物中の⁶⁰Co濃度の推定

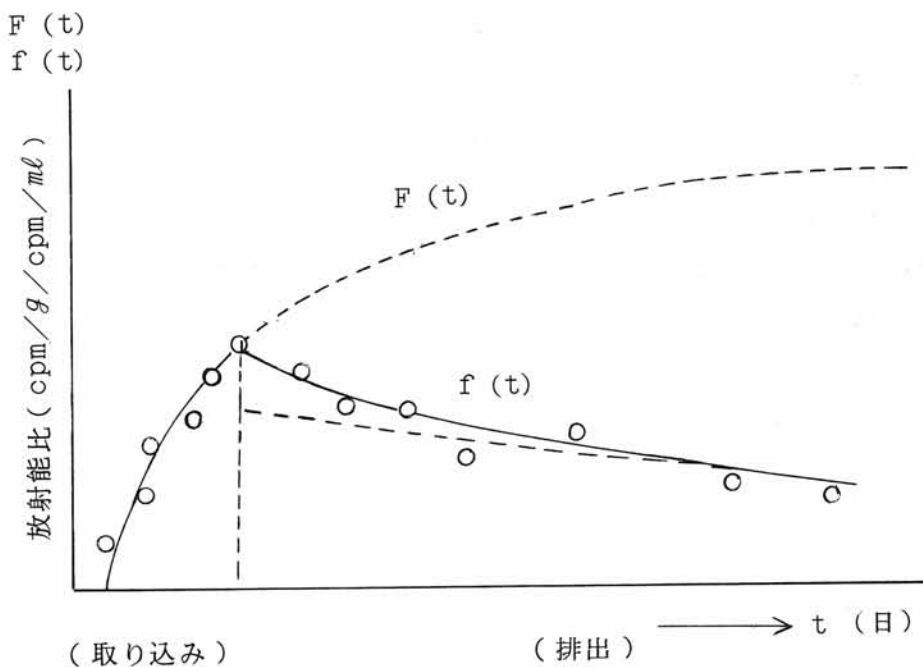


図 4 - 2 - 3. 海産生物による放射性物質の取り込み及び排出

$$f(t) = K_1 e^{-\beta_1 t} + K_2 e^{-\beta_2 t} + \dots$$

$$F(t) = \frac{U_1}{\beta_1} (1 - e^{-\beta_1 t}) + \frac{U_2}{\beta_2} (1 - e^{-\beta_2 t}) + \dots$$

$$CF = F(\infty) = \frac{U_1}{\beta_1} + \frac{U_2}{\beta_2} + \dots$$

$f(t)$: 排出曲線

$F(t)$: 取り込み曲線

K_n : n 番目のコンポーネントの値

u_n : 取り込み定数

β_n : 排出定数

CF : 濃縮係数

み実験では、放射性核種で一定濃度に標識した餌を毎日一定量づつ連続投与して、生物による餌からの核種の取り込みを観察し、その後、汚染餌を非汚染餌に切り替えて生物からの核種の排出を観察することにより、図4-2-3.同様の取り込み・排出曲線が得られる。この曲線にコンパートメントモデルを当てはめて、餌取り込みの代謝パラメータが推定される。しかし、生物をストレスのかかる実験条件に置いて、汚染餌を連続して摂餌させることが困難である為、汚染餌を一回投与して核種の消化管吸収率を推定し、その後の排出状況を観察することにより餌取り込みの代謝パラメータを求める実験法が便法となる。この場合、排泄速度定数は排出曲線から推定されるが、餌からの取り込み速度定数は前項でも説明された様に次式で求められる。

$$\text{餌経由の取り込み速度定数} = \text{核種の消化管吸収率} \times \text{餌の日間摂取率} \times \text{餌の濃縮係数}$$

海水及び餌取り込み実験共に、海洋生物に放射性核種を取り込ませた後、排出実験に移すと核種によって程度の差はあるが多くの海洋生物は排出初期に速く排出される成分と、その後比較的ゆっくり排出されるいくつかの成分からなる排出曲線を示す。排出の速い成分は、生物の殻や鰓、腸管壁等の体表面部位に付着したり、組織の間隙に入り込んだ様なものと考えられ、排出の遅い成分は実際に生物の体内に取り込まれて代謝の流れに乗って排出されたものと考えられているが、まだ不明な点が多い。いずれにしても、海洋生物が代謝速度の異なるいくつかの成分を有することが観察されているので、代謝パラメータも各々の成分毎に計算されるのが普通である。このような情報は排出実験からのみ得られるので、代謝パラメータを推定するには取り込み実験と排出実験を対で行なうのが望ましい。また、排出実験も十分な長さを取らないと、排出の遅い成分を見落す危険がある。²⁾

(中原 元和)

参考文献

1. 上田泰司 : Field-Laboratory Comparability— 室内実験と野外調査の関連 —、放医研環境セミナーシリーズNo.14「海産生物汚染機構の動的解析」、NIRS-M-70, 31-43(1988).
2. M. Shimizu : Conditions necessary on estimating parameters for kinetics of radionuclides in aquatic organisms, Presented at Int. Symp. "Interaction between water and living matter" 6-10 October 1975, Odessa, USSR.

5. 代謝パラメーター一覧表

代謝パラメータとして、取り込み速度定数、排泄速度定数、生物学的半減期、及び消化管吸収率を文献から収集して一覧表にまとめた。これらのパラメータは放射性核種を用いた水槽実験から導かれたものが大部分である。文献は実験方法についても吟味し、代謝パラメータの変動に影響が大きいと考えられる元素の化学形、実験水温、生物のサイズ、元素の取り込み及び排出の方法、その期間等についてもできるだけ記載した。

元素や生物の種類によってはデータの殆んど無いものもあり、今後もデータの蓄積が必要と思われる。また過去の実験結果への式の当てはめによるパラメータの計算も必要となるものと思われる。一覧表中の記載内容については、下記の注を参照して頂きたい。

- 1) 実験に用いた核種を元素記号一質量数で表示し、化学形またはイオン価も記載した。
- 2) 実験生物は、魚類、原索類（ホヤの仲間）、棘皮類（ウニ・ナマコの仲間）、貝類、頭足類（イカ・タコの仲間）、甲殻類（エビ・カニの仲間）、腔腸動物（クラゲ・イソギンチャクの仲間）、多毛類（ゴカイの類）、褐藻、緑藻、紅藻、植物プランクトン、動物プランクトンに分類した。貝類については、さらに二枚貝と巻貝に分けた。
- 3) 生物名は和名、英名、学名の順に記した。外国産のもので和名の不明なものは、「…の一種」とした。英名も個有名の不明なものは、一般のグループ名を記した。例えばカニの仲間なら crab、コエビの仲間なら shrimp とした。
- 4) 生物のサイズについては、実験に使われたものの平均体重、または体重の範囲で示した。
- 5) 部位は全身についてのものが多かったが、解剖したものは解剖部位を示した。また、雌雄の別があるものは、カッコ内に記した。
- 6) パラメータは日単位で示した。また、いくつかの成分に分けられたものは、代謝の速い成分の順に 1 st、2 nd、3 rd とした。特に記載が無いものは、一成分として計算されたものである。また、成分毎の割合が判ったものについては、カッコ内に % で示した。
- 7) 消化管吸収率は、投与した餌または投与直後の生物全身の放射能に対しての % である。また、その値を得た時点については条件の欄に記した。
- 8) 実験法は、海水からの取り込み実験を海水、餌からの取り込み実験を餌、海水及び餌の両方から同時に取り込ませた実験を海水+餌と記した。また特殊な場合として、腹腔内注射等と記した。実験海水中の安定元素濃度を変えて実験したものについては、カッコ内に濃度を記載した。
- 9) 条件の欄には、海水からの取り込み実験では取り込み及び排出の期間を記した。例えば、汚染海水中で7日間飼育し、その後非汚染海水中で10日間排出実験をした場合には、取7日、排

10日と記した。

餌からの取り込み実験では、汚染餌の種類、投与法（1回投与か連続投与かの別）、その後の排出期間等を記した。

実験中の水温は、平均水温または範囲で示した。また、パラメータ計算に当って、排出実験なしに取り込み実験からのみ計算したものについては、その旨を記した。

- 10) 文献は全一覧表の通し番号とし、この項の最後の参考文献の頁に一括して記載した。

(中原 元和)

5-1. 取り込み速度定数

表5-1-1. 取り込み速度定数一覧表 (Uptake rate constants)

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度定数 (/ 日)	実験法	条件	文献	
Mn-54 (塩化物)	貝類 (巻貝)	モソソガイ	Perry whelk	<i>Volutharpa ampullacea</i>	3-15 g	全身 (♂)	15.7943	海水	取9日 排20日	15°C	1
					6-19 g	全身 (♀)	13.8361				
Co-60 (塩化物)	魚類	ニシンの一種	Atlantic menhaden	<i>Brevoortia tyrannus</i>	0.05 g	全身	0.358	海水	取16日	20°C	2
					9 g	全身	0.115				
		ゴマソイ	Crimson sea bream	<i>Egymnis japonica</i>	筋肉	0.009	海水	取20日	20°C	2	
					全身	0.115					
	原索類	ブ	Yellowtail	<i>Seriola quinqueradiata</i>	453 g	全身	0.026	海水	取131日 排30日	15°C	2
					筋肉	0.004					
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	744 g	全身	0.077	海水	取120日 排52日	15°C	2
					筋肉	0.016					
貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ	シロボヤ	Sea squirt	<i>Styella plicata</i>	内臓	1.7	海水	取15日	17~20°C	3	
					生殖腺	20.3					
					軟体部	9.5					
	イガイの一種		Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	カラ	9.7	海水	取30日	17~20°C	3	
					全身	2.22					
			Mussel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	5.6 g	全身	2.22	海水	取75日	15°C	4
									取り込みカーブより推定		

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度定数 (/ 日)	実験法	条件	文献	
Co-60 (塩化物)	貝類 (二枚貝)	イガイの一種	Mussel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	5.6 g	軟体部	4.41	海水	取75日 取り込みカーブより推定	15°C	4
						カラ	1.39				
						外套膜	0.64				
						内臓	5.81				
						筋肉	6.82				
						全身	0.13				
Co-57 (トリシナ グリシナ ト錯体)	イガイの一種	Mussel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	5.6 g	軟体部	0.32	海水	取75日 取り込みカーブより推定	15°C	4	
					カラ	0.05					
					外套膜	0.15					
					内臓	1.00					
					筋肉	0.14					
					全身	0.13					
Co-58	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 4 - 6.5 cm	軟体部	4.5	海水	取35日 取り込みカーブより推定		5	
					外套膜	0.6					
					鰓	1.5					
					閉殻筋	0.75					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Co-58	貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ				肝	19.8			5
						カ	6.4			
						足	138			
Co-60 (塩化物)	甲殻類	イソスエビ	Shrimp	<i>Leander pacificus</i>		筋	0.64	海水	取25日 取り込みカーブより推定 22-25°C	3
						カ	2.2			
Zn-65 (塩化物)	魚類	メジナ	Hermit crab	<i>Clibanarius virescens</i>	2-5 g	全身	26	海水	取35日 取り込みカーブより推定	6
						全身	0.9075			
						全身	0.7853			
						全身	0.5375			
						全身	0.5375			
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	褐藻	ウミトラノオ	Brown algae	<i>Sargassum thunbergii</i>			2 nd	海水	取7日 排30日 15°C	7
						ネジモク	268			
						アラメ	68			
						ヒジキ	2 nd			
						マコンブ	2 nd			
						アヲオサ	2 nd			
						アヲオサ	2 nd			
アヲオサ	0.777	海水	取7日 排30日 15°C	7						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献	
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	紅藻	ハリガネ	Red algae	<i>Ahnfeltia paradoxa</i>			0.289	海水	取7日 排30日	15°C	7
		ツノマタ		<i>Chondrus ocellatus</i>			0.247				
Ru-103 (ニトロ シルニト ラト錯体)	魚類	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegeli</i>	6 g	全身	1 st (44%) 0.6223 2 nd (56%) 0.0306	海水	取12日 排51日	15°C	8
					303 g	全身	1 st (42%) 0.1555 2 nd (58%) 0.0155		取12日 排51日		
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	10 g	全身	1 st (47%) 0.2040 2 nd (53%) 0.0180	海水	取12日 排51日	15°C	8
					392 g	全身	1 st (87%) 0.3809 2 nd (13%) 0.0149		取10日 排19日		
原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia voretzi</i>	35 g	全身	1 st (13%) 1.2183 2 nd (87%) 1.2740	海水	取8日 排64日	15°C	9	
					軟体部	1 st 0.2227					
棘皮類	キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylo- centrotus nudus</i>	110 g	全身 (♂)	1 st (43%) 0.2393 2 nd (57%) 0.1155	海水	取10日 排34日	15°C	10	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献							
Ru-103 (ニトロホルミ ン錯体)	棘皮類	キタムラサキ ウニ				性腺 (♂)	1 st (20%) 0.0539			10							
							2 nd (80%) 0.1661										
						全身 (♀)	1 st (33%) 0.1571										
							2 nd (67%) 0.1257										
						性腺 (♀)	1 st (14%) 0.0340										
							2 nd (86%) 0.1337										
	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	1 st (6%) 2.3838	海水	取14日	排59日	8°C	11					
							2 nd (94%) 0.3549										
						軟体部	1 st (25%) 4.5097										
							2 nd (75%) 0.1768										
						全身	1 st (17%) 2.5661						海水	取7日	排60日	10°C	10
							2 nd (83%) 1.5623										
軟体部	1 st (28%) 0.7308																
	2 nd (72%) 0.7235																
貝類 (巻貝)	エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus kamai</i>	34 g	全身	1 st (1%) 1.5099	海水	取9日	排62日	15°C	11						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロソニト 引錯体)	貝類 (巻貝)	エゾアワビ				全身	2nd (99%) 0.0925			11
		ワカメ	Brown algae	<i>Undaria pinnatifida</i>		切断片	1st (1%) 0.6875 2nd (99%) 8.7815	海水	取12日 排28日 15°C	11
	褐藻	マコンブ		<i>Laminaria japonica</i>	長さ 190cm	一部	1st (17%) 4.3189 2nd (83%) 7.2935	海水	取9日 排54日 10°C	10
		植物 プランクトン	テトラセルミス	Phytoplankton	<i>Tetraselmis tetrahele</i>			1st (59%) 5031 2nd (41%) 305	海水	取6日 排14日 20°C
Cs-137 (塩化物)	動物 プランクトン	シオミズ ツボムシ	Zooplankton	<i>Brachionus plicatilis</i>	3 µg	全身	174	海水 +餌	取6日 排11日 20°C	12
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	27 g	全身	0.256	海水	取21日 排14日 20-22°C	13
	魚類	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	6 g	全身	1st (26%) 0.1303 2nd (74%) 0.1479	海水	取12日 排51日 15°C	8
					303 g	全身	1st (1%) 0.0587 2nd (99%) 0.0818	海水	取12日 排51日 15°C	
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys otivaceus</i>	10 g	全身	1st (15%) 0.2871 2nd (85%) 0.2436	海水	取12日 排51日 15°C	8

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137 (塩化物)	魚類	ヒラメ			392 g	全身	1 st (10%) 0.1253 2 nd (90%) 0.1116	海水	取10日 排19日 15°C	8
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	35 g	全身 軟体部	1 st (58%) 0.2329 2 nd (42%) 0.0600 1 st (49%) 0.4173 2 nd (51%) 0.2810	海水	取8日 排64日 15°C	9
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	110 g	全身 (♂) 性腺 (♂)	1 st (82%) 0.7822 2 nd (18%) 0.0504 1 st (24%) 0.5268 2 nd (76%) 0.3930	海水	取10日 排34日 15°C	10
	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	110 g 151 g	全身 (♀) 性腺 (♀)	1 st (75%) 0.6828 2 nd (25%) 0.0729 1 st (27%) 0.2666 2 nd (73%) 0.1568	海水	取14日 排59日 8°C	11

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類 (二枚貝)	ウバガイ				全	2 nd (76%) 0.0626			11
						軟体部	1 st (18%) 1.2698			
							2 nd (82%) 0.3665			
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全	1 st (63%) 0.5824	海水	取7日 排60日 10°C	10
						軟体部	2 nd (37%) 0.1069			
							1 st (71%) 2.3285			
							2 nd (29%) 0.3058			
	貝類 (巻貝)	エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	34 g	全	1 st (33%) 1.3362	海水	取9日 排62日 15°C	11
	褐藻	ワカメ	Brown algae	<i>Undaria pinnatifida</i>		切断片	2 nd (67%) 0.1053	海水	取12日 排28日 15°C	11
		マコソブ		<i>Laminaria japonica</i>	長さ 190cm	一部	1 st (3%) 3.4829	海水	取9日 排54日 10°C	10
							2 nd (97%) 0.3271			
							1 st (28%) 0.4674			
							2 nd (72%) 0.2711			
	植物 プランクトン	テトラセルミス	Phytoplankton	<i>Tetraselmis tetrahele</i>			1 st (98%) 15.369	海水	取6日 排14日 20°C	12
							2 nd (2%) 0.0885			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	取り込み速度定数 (/日)	実験法	条件	文献		
Cs-137	動物 プランクトン	シオミズ ツボワムシ	Zooplankton	<i>Brachionus plicatilis</i>	3 μg	全 身	46.2	海水 +餌	取6日 排11日 20℃	12		
U-235 UO ₂ (NO ₃) ₂ 6H ₂ O	貝類 (巻貝)	ニシキウスズ科の カイ	Zebra winkle	<i>Austrocochlea constricta</i>		全 身	0.167	海水 (10 ⁻⁹ mgU/l)	取40日 (無投餌) 20℃ 取り込みカーブより推定		14	
						全 身	0.223	(5.0 mgU/l)				
						全 身	0.370	(10 ⁻⁹ mgU/l)				
						全 身	0.199	海水 (10 ⁻⁹ mgU/l)				
						全 身	0.259	(5.0 mgU/l)				
						全 身	0.206	(10 ⁻⁹ mgU/l)				
						全 身	0.487	海水 (10 ⁻⁹ mgU/l)				取40日 (無投餌) 20℃ 取り込みカーブより推定
						全 身	0.424	(5.0 mgU/l)				
甲殻類	イワガニの一種	Crab		<i>Pachygrapsus laevis</i>		全 身	0.582	(10 ⁻⁹ mgU/l)	取40日 (投餌) 20℃ 取り込みカーブより推定			
						全 身	0.603	海水 (10 ⁻⁹ mgU/l)				
						全 身	0.645	(5.0 mgU/l)				
						全 身	0.573	(10 ⁻⁹ mgU/l)				

表5-2-1. 排泄速度定数一覧表 (Excretion rate constants)

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度定数 (/ 日)	実験法	条件	文献
Cr-51 (塩化物)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Micropogon undulatus</i>	23-70 g	全身	1st (94%)	腹腔内注射	排25日 7-10°C	15
							1.386			
Cr-51 (III)	甲殻類	オオギガニの一種	Crab	<i>Xantho hydrophilus</i>		全身	2nd (6%)	海水	取2日 16-20°C	16
							0.0099			
Cr-51 (IV)	甲殻類	オオギガニの一種	Crab	<i>Xantho hydrophilus</i>		全身	1st (26%)	海水	取28日 16-20°C	16
							0.37			
						全身	2nd (74%)			
							0.0122			
						全身	1st (7%)			
							0.52			
						全身	2nd (93%)			
							0.0097			
Cr-51 (IV)	甲殻類	オオギガニの一種	Crab	<i>Xantho hydrophilus</i>		全身	1st (45%)	海水	取2日 16-20°C	16
							0.55			
						全身	2nd (55%)			
							0.0206			
						全身	1st (2%)	海水	取35日 16-20°C	17
							0.52			
Mn-54	魚類	イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	84-290 g	全身	2nd (98%)	餌	汚染体積物1回投与	
							0.0066			
						全身	1st (80%)			
							0.8684			
						全身	2nd (20%)			
							0.0132			
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st (0.11)	海水	取8日 排28日 15°C	18
							0.011			
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nuanus</i>	27 g	全身	1st (43%)	海水	取7日 排42日 15°C	19
							0.233			
						全身	2nd (57%)			
							0.026			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/ 日)	実験法	条件	文献
Mn-54	棘皮類	キタムラサキ ウニ				全身	1st (41-52%) 0.299-0.656 2nd (48-59%) 0.104	餌	汚染海藻1回投与 排16日 15℃	19
			貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	全身	1st (29%) 0.80 2nd (61%) 0.054	海水
		イガイの一種		Purplish bifurcate mussel	<i>Septifer virgatus</i>	8 g	全身	1st (25%) 1.31 2nd (75%) 0.041	海水	取7日 排7日 20℃
	貝類 (巻貝)	モソソガイ	Perry whelk	<i>Volutharpa ampullacea perryi</i>	3-15 g	全身 (♂)	0.0110	海水	取9日 排20日 15℃	1
					6-19 g	全身 (♀)	0.0106			
		クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	27-38 g	全身 (♂)	0.087	海水	取19日 排25日 20℃	21
					全身 (♀)	0.055				
					全身 (♂)	0.055	60% 海水	取19日 排25日 20℃		
	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	43 g	全身	1st (56%) 0.2186 2nd (44%) 0.0214	外套腔 内注射	排16-70日	22

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/ 日)	実験法	条件	文献
Fe-59 (Ferrous sulfate)	魚類	イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	192 g	全 身	1st 0.4708	餌	汚染餌1回投与 排21日 16°C	23
							2nd 0.0361			
							1st (97%) 1.7482			
Fe-59 (塩化物)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgogon undulatus</i>	23-70 g	全 身	1st (4%) 0.1733	腹腔内 注射	汚染堆積物1回投与	17
							2nd (3%) 0.0688			
							2nd (96%) 0.0032			
Fe-59 (塩化物)	原素類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全 身	1st (18%) 0.149	海水	取8日 排28日 15°C	18
							2nd (81%) 0.012			
							1st (31%) 1.13			
Fe-59 (塩化物)	貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	全 身	2nd (69%) 0.054	海水	取7日 排7日 20°C	20
							1st (21%) 0.98			
							2nd (79%) 0.031			
Fe-59 (ferrous sulfate)	貝類 (巻貝)	タマキビの一種	Periwinkle	<i>Littorina obtusata</i>	1-2 g	全 身	0.063	餌	汚染海藻連続投与(100日間) 取り込みカーブより推定	24
							1st 0.0363			
							2nd 0.0136			
Fe-59 (ferrous sulfate)	貝類 (巻貝)	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus</i>	13 g	全 身	1st 0.0363	海水	取6日 排21日 16°C	23
							2nd 0.0136			
							1st 0.0363			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献	
Fe-59 (ferrous sulfate)	貝類 (巻貝)	クロアワビ				全身	1st 0.2744	餌	汚染餌1回投与 排21日 16°C	23	
							2nd 0.0162				
Fe-59 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	43 g	全身	1st (30%) 0.0825	外套腔 内注射	排16-70日	22	
							2nd (70%) 0.0215				
Co-60 (塩化物)	褐藻	ヒバマタの一種	Brown algae	<i>Fucus serratus</i>	10-20 g	全身	0.0038	海水	取100日 排100日 10°C	24	
	魚類	ニシンの一種	Atlantic menhaden	<i>Brevoortia tyrannus</i>	0.05 g	全身	0.050	海水	取16日	20°C	2
		チダイ	Crimson sea bream	<i>Epinxys japonica</i>	9 g	全身	0.024	海水	取62日 排25日 15°C		2
							0.018				
ゴマソイ	Rockfish		<i>Sebastes nivosus</i>	269 g	全身	0.011	海水	取20日	20°C	2	
ブリ	Yellowtail		<i>Seriola quinqueradiata</i>	453 g	全身	0.022	海水	取131日 排30日 15°C		2	
						0.013					
ヒラメ	Japanese flounder		<i>Paralichthys olivaceus</i>	744 g	全身	0.014	海水	取120日 排52日 15°C		2	
						0.011					
イシガレイ	Stone flounder		<i>Kareius bicoloratus</i>	84-290 g	全身	1st (76%) 0.7392	餌	汚染堆積物1回投与	17		
						2nd (24%) 0.0316					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献	
Co-60 (塩化物)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgobon undulatus</i>	23-70 g	全身	0.0224	腹腔内注射	排59日 20-6℃	15	
		ハタの一種	Sea bass	<i>Serranus scriba</i>	8-42 g	全身	1st (95%) 1.53 2nd (5%) 0.0128	餌	汚染餌1回投与 排45日	25	
Co-57 (コウミン)		ハタの一種	Sea bass	<i>Serranus scriba</i>	8-42 g	全身	1st (66%) 0.086 2nd (34%) 0.0149	餌	汚染餌1回投与 排45日	25	
Co-60	原索類	シロボヤ	Sea squirt	<i>Styella plicata</i>		生殖腺	0.05	海水	取15日 17-20℃ 取り込みカーブより推定	3	
Co-57		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	0.012	海水	取8日 排28日 15℃	18	
Co-60 (塩化物)	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	全身	0.018	海水	取7日 排42日 15℃	19	
						全身	1st (45-89%) 0.362-0.637 2nd 0.071	餌	汚染海藻1回投与 排16日 15℃		
Co-58	貝類(二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 4-7 cm	軟体部	0.07	海水	取35日 取り込みカーブより推定		5
						外套膜	0.05				
						鰓	0.04				
						閉殻筋	0.05				
		肝臓			0.06						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/ 日)	実験法	条件	文献
Co-58	貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ				足	0.09			5
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>		カラ	0.05			
Co-60		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	軟体部	0.07	海水	取30日 取り込みカーブより推定	3
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>		カラ	0.05			
Co-60 (塩化物)		イガイの一種	Purplish bifurcate mussel	<i>Septifer virgatus</i>	8 g	全身	1st (9%) 0.63 2nd (91%) 0.010	海水	取7日 排7日 20°C	20
		イガイの一種	Muscel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	6 g	全身	1st (19%) 0.30 2nd (81%) 0.013	海水	取7日 排7日 20°C	
Co-57 (トリスグリシ ト錯体)		イガイの一種	Muscel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	6 g	全身	0.10	海水	取70日 取り込みカーブより推定	4
		イガイの一種	Muscel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	6 g	軟体部	0.45			
Co-60		セイヨウオオノガイ	Soft-shell clam	<i>Mya arenaria</i>	60-100 g	全身	0.09 0.24	海水	取70日 取り込みカーブより推定	26
						軟体部	0.09			
						外 套 膜	0.015 0.011	海水 + 餌	取179日 取り込みカーブより推定	
						筋 肉	0.0074			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献
Co-60	貝類(二枚貝)	セイヨウ オオノガイ	Soft-shell clam	<i>Mya arenaria</i>	60-100 g	内臓	0.0088	海水	取48日 排177日(野外)	26
		セイヨウ オオノガイ				全身 外套膜	0.0055 1st (33%) 0.046 2nd (67%) 0.0024			
Co-60 (塩化物)		マ ガ キ	Giant Pacific oyster	<i>Crassostrea gigas</i>		筋肉	0.0038	海水	取48日 排300日 10-15°C	55
						内臓	1st (72%) 0.079 2nd (28%) 0.0041			
						全身	1st (80%) 0.017 2nd (20%) 0.0034			
						軟体部	1st (80%) 0.099 2nd (20%) 0.0052			
						カラ	1st 0.018 2nd 0.0064			
						筋肉	1st 0.058 2nd 0.0023			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献	
Co-60 (塩化物)	貝類 (巻貝)	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	190 g	全身	0.0059	海水	取7日 排55日	15°C	27
						全身	0.0073 -0.0094		汚染海藻1回投与 排53-63日		
Co-57 (ジ/コバ ミン)		クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	190 g	全身	0.0032	海水	取7日 排47日	15°C	27
						全身	0.0029 -0.0044		汚染海藻1回投与 排53-63日		
Co-60 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	43 g	全身	1st (8%) 0.1064	外套腔 内注射	排16-70日		22
						全身	2nd (92%) 0.0189				
Co-57 (ジ/コバ ミン)		イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	43 g	全身	0.0259	外套腔 内注射	排16-70日		3
						筋	0.12		取25日		
Co-60	甲殻類	イソスジエビ	Shrimp	<i>Leander pacificus</i>		肉	0.12	海水	取り込みカーブより推定		3
						カラ	0.12		取り込みカーブより推定		
Co-60 (塩化物)	緑藻	アシアオサ	Green algae	<i>Ulva pertusa</i>		全身	0.05	海水	取25日	22-25°C	3
							0.070		取り込みカーブより推定		
Co-60 (塩化物)	植物 プランクトン	キートセラス	Phytoplankton	<i>Chaetoceros pseudocurvisetum</i>			2nd (44%) 1.189	海水	取7日 排10日	18°C	25
							2nd (97%) 0.157		海水取り込みより推定		
Co-57 (コバミン)		キートセラス	Phytoplankton	<i>Chaetoceros pseudocurvisetum</i>				海水	取7日 排10日	18°C	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献
Zn-65 (塩化物)	魚類	カダヤシ	Mosquito fish	<i>Gambusia affinis</i>	0.10 -0.32 g	全 身	1st (9%) 0.280	海水	取100日 排120日 16-21°C	29
							2nd (4%) 0.0510			
							3rd (91%) 0.0030			
		メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>	2-5 g	全 身	海水 (14.3 µg/n/l)	0.0055	27°C	6
							海水 (44.1 µg/n/l)	0.0083		
							海水 (341.7 µg/n/l)	0.0123		
		イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	84-290 g	全 身	1st (74%) 0.6328	餌	汚染堆積物1回投与	17
							2nd (26%) 0.0574			
		ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microponon undulatus</i>	23-70 g	全 身	1st (10%) 0.1066	腹腔内 注射	排103日 4-15°C	15
							2nd (90%) 0.0050			
		ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microponon undulatus</i>	23-70 g	全 身	1st (17%) 0.69	餌	汚染魚肉14日間投与後 排出実験	15
							2nd (6%) 0.0147			
3rd (77%) 0.0081										
ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microponon undulatus</i>	23-70 g	全 身	1st (14%) 0.69	海水	取3日	15		
					2nd (26%) 0.0273					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/ 日)	実験法	条件	文献				
Zn-65 (塩化物)	魚類	ニベの一種					3rd (61%) 0.0077			15				
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全	1st (9%) 0.292	海水	取8日 排28日	15°C	18			
						全	2nd (89%) 0.003							
棘皮類	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus radus</i>	27 g	全	0.015	海水	取7日 排42日	15°C	19			
						全	1st (33%) 0.336					餌	汚染アラメ1回投与 排16日	15°C
						全	2nd (67%) 0.027							
貝類 (二枚貝)	貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	全	0.034	海水	取7日 排7日	20°C	20			
						全	1st (29%) 2.44					海水	取7日 排7日	20°C
						全	2nd (81%) 0.033							
貝類 (巻貝)	貝類 (巻貝)	タマキビの一種	Periwinkle	<i>Littorina obtusata</i>	1-2 g	全	0.049	海水	取50日	24				
						全	0.078				餌	汚染ヒバマタ 100日間連続 投与より推定		
						全	0.0094							
頭足類	頭足類	マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	1570 g	全	0.0094	海水	取7日 排28日	15°C	30			
						全	0.0109					餌	汚染貝肉7日連続投与 排28日	15°C
						全	1st (21%) 0.554							
魚類	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgogon undulatus</i>	23-70 g	全	0.554	腹腔内 注射	排32日 23-30°C	15				
						全	2nd (79%) 0.0050							

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献
Sr-85 (nitrate)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Micropogon undulatus</i>	23-70 g	筋	1st (89%) 0.128	腹腔内注射	排32日 23-30°C	15
						骨	2nd (11%) 0.0069			
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st (38%) 1.03	海水	取8日 排28日 15°C	18
Zr-95	魚類	マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	38 g	全身	0.0081	海水	取14日 排90日 15-17°C	31
Nb-95	魚類	マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	38 g	全身	0.0018	海水	取14日 排90日 15-17°C	31
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>		全身	2nd 0.026-0.054	餌	汚染海藻1回投与 排30日 15°C	7
						全身	2nd 0.037-0.076			
	貝類(巻貝)	アカネアワビ	Red abalone	<i>Haliotis rufescens</i>	14-23 g	全身	1st (70%) 0.099	海水	取35日 排85日 16°C	32
	甲殻類	イワガニの一種	Crab	<i>Rachygrapsus marmoratus</i>	13 g	全身	1st (62%) 0.044	海水	取30日 排110日 19°C	33
	褐藻	ウミトラノオ	Brown algae	<i>Sargassum thunbergii</i>		全身	2nd (36%) 0.011	海水	取7日 排30日 15°C	7
						2nd 0.008				
		アラム		<i>Eisenia bicyclis</i>			2nd 0.004	海水		

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献	
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	褐藻	ヒジキ	Brown algae	<i>Hizikia fusiforme</i>			2nd 0.008			7	
		マコンブ		<i>Laminaria japonica</i>			2nd 0.016				
	緑藻	アオサ	Green algae	<i>Ulva pertusa</i>				海水	取7日 排30日	15℃	7
紅藻	藻	ハリガネ	Red algae	<i>Abnfeltia paradoxa</i>			0.082			7	
		ツノマタ		<i>Chondrus ocellatus</i>			0.292				
	魚類	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	6g	全身	1st (44%) 2.1613 2nd (56%) 0.0116	海水	取12日 排51日	15℃	8
魚類	魚	クソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	303g	全身	1st (42%) 1.3686 2nd (58%) 0.0176	海水	取12日 排51日	15℃	8
					13g	全身	1st (98%) 2.6003 2nd (2%) 0.0681	餌	汚染ベレット1回投与 排45日	15℃	8
	魚	ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	352g	全身	1st (97%) 0.5345 2nd (3%) 0.0230	餌	汚染魚1回投与 排50日	15℃	8
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	10g	全身	1st (47%) 1.0895 2nd (53%) 0.0141	海水	取12日 排51日	15℃	8

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/ 日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロソ/ニト ソ錯体)	魚類	ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	392 g	全身	1st (87%) 1.3789 2nd (13%) 0.0240	海水	取10日 排19日 15°C	8
					15 g	全身	1st (98%) 0.8771 2nd (2%) 0.0738	餌	汚染ベレット1回投与 排45日 15°C	8
					405 g	全身	1st (95%) 4.0211 2nd (5%) 0.0211	餌	汚染魚1回投与 排30日 15°C	8
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	35 g	全身	1st (13%) 0.8653 2nd (87%) 0.0102	海水	取8日 排64日 15°C	9
					26 g	軟体部	0.0089	餌	汚染プランクトン1回投与 排79日 15°C	9
						全身	1st (76%) 1.5602 2nd (5%) 0.1653 3rd (19%) 0.0285			
						軟体部	1st (85%) 2.3051 2nd (10%) 0.0972 3rd (5%) 0.0135			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Ru-106 (塩化物)	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia yoretzi</i>	150-400 g	全身	1st (19%) 0.241	海水	取8日 排28日 15°C	18
						全身	2nd (81%) 0.012			
Ru-103 (ニトロソニト ラ錯体)	棘皮類	キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylo- centrotus nudus</i>	110 g	全身 (♂)	1st (43%) 0.2661	海水	取10日 排34日 15°C	9
						性腺 (♂)	2nd (57%) 0.0071			
						全身 (♀)	1st (20%) 0.0670			
						性腺 (♀)	2nd (80%) 0.0055			
						全身 (♀)	1st (33%) 0.2377			
						性腺 (♀)	2nd (67%) 0.0064			
					158 g	全身	1st (99.5%) 0.5134	餌	汚染マコンブ1回投与 排46日 15°C	9
						性腺	2nd (0.5%) 0.0265			
						性腺	1st (96%) 0.2989			
						性腺	2nd (4%) 0.0034			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロソニト ト錯覚)	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	1 st (6%) 1.3700	海水	取14日 排59日 8℃	11
						軟体部	2 nd (94%) 0.0076			
							1 st (25%) 0.4328			
							2 nd (75%) 0.0068			
							1 st (82%) 3.4352	餌	汚染プランクトン1回投与 排42日 10℃	9
						2 nd (18%) 0.0071				
							1 st (73%) 8.0607			
							2 nd (18%) 0.4945			
							3 rd (9%) 0.0043			
Ru-103		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	1 st (17%) 1.0601	海水	取7日 排60日 10℃	10
						軟体部	2 nd (83%) 0.0041			
							1 st (28%) 0.4578			
							2 nd (72%) 0.0062			
							1 st (30%) 1.3440	餌	汚染プランクトン1回投与 排44日 10℃	12
						2 nd (42%) 0.0566				

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献
Ru-103	貝類(二枚貝)	ホタテガイ				軟体部	3 rd (28%) 0.0034			12
							1 st (46%) 1.0677			
							2 nd (32%) 0.1514			
Ru-103 (二枚貝)	貝類(巻貝)	エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	34 g	全身	1 st (1%) 6.1981	海水	取9日 排62日 15°C	11
							2 nd (99%) 0.0054			
							1 st (23%) 0.1138			
Ru-103 (二枚貝)	褐藻	ワカメ	Brown algae	<i>Undaria pinnatifida</i>	115 g	全身	2 nd (77%) 0.0052	餌	汚染マコソブ1回投与 排53日 15°C	9
							1 st (1%) 0.1180			
							2 nd (99%) 0.0072			
Ru-103 (二枚貝)	緑藻	アオサ	Green algae	<i>Laminaria japonica</i>	長さ 190cm	切断片	1 st (17%) 0.3009	海水	取9日 排54日 10°C	10
							2 nd (83%) 0.0065			
							0.029			
Ru-103 (二枚貝)	植物 プランクトン	テトラセルミス	Phytoplankton	<i>Tetraselmis tetrathele</i>			1 st (59%) 3.0211	海水	取り込みカーブより推定 18°C	28
							2 nd (41%) 0.0887			
							取6日 排14日 20°C			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (β放射体)	動物 プランクトン	シオミズ ツボウムシ	Zooplankton	<i>Brachionus plicatilis</i>	3 μg	全 身	0.5306	海水 +餌	取6日 排11日 20°C	12
	魚	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgogon undulatus</i>	23-70g	全 身	1st (10%) 0.198 2nd (90%) 0.0031	腹腔内 注射	排34日 17-11°C	15
Sb-125 (塩化物)	貝類 (二枚貝)	アサリ	Short-necked clam	<i>Tapes japonica</i>	10g	全 身	1st (56%) 0.2022 2nd (37%) 0.0120	海水	取10日 排46日 20-22°C	34
I-131 (Iodide)	魚	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgogon undulatus</i>	23-70g	全 身	1st (59%) 2.772 2nd (40%) 0.2772 3rd (1%) 0.0289	腹腔内 注射	排34日 17-11°C	15
Cs-137 (塩化物)	魚	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	6g	全 身	1st (26%) 0.0824 2nd (74%) 0.0144	海水	取12日 排51日 15°C	8
					303g	全 身	1st (1%) 0.7430 2nd (99%) 0.0078			
		クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	13g	全 身	1st (15%) 1.3482 2nd (85%) 0.0138	餌	汚染ベレット1回投与 排45日 15°C	8
					352g	全 身	1st (17%) 0.3500			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137 (塩化物)	魚	クロソイ					2 nd (83%) 0.0126	海水	排51日 15°C	8
							1 st (15%) 0.4044			
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	10 g	全身	2 nd (85%) 0.0095	海水	取12日 排19日 15°C	8
							1 st (10%) 0.2591			
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	15 g	全身	2 nd (90%) 0.0111	餌	汚染ベレット1回投与 排45日 15°C	8
							1 st (3%) 1.8386			
		ツノガレイの 一種	Plalice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	全身	2 nd (97%) 0.0362	餌	汚染魚1回投与 排30日 15°C	35
							1 st (24%) 0.2324			
		ツノガレイの 一種	Plalice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	全身	0.0245	海水	取780日 取り込みカーブより推定	35
							0.0111			
0.006										
0.038										
ツノガレイの 一種	Plalice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	筋	0.067	海水	取42日 排360日 10°C 排出カーブより推定	35		
					0.016					
					0.0051					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献	
Cs-137 (塩化物)	魚類	ツノガレイの 一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	血液	1st 0.046 2nd 0.0089	海水	取42日 排 360日 10°C 排出カーブより推定	35	
						肝臓	1st 0.099 2nd 0.0056				
						骨	1st 0.056 2nd 0.0061				
						全身	0.0039				
						筋肉	0.0037				
						血液	0.0045				
		ガンギエイの 一種	Thornback ray	<i>Raja clavata</i>	80 g	全身	0.0039	海水	取 720日 取り込みカーブより推定	10°C	35
						筋肉	0.0037				
						血液	0.0045				
						肝臓	0.0066				
						骨	0.0032				
						筋	0.0038				
ガンギエイの 一種	Thornback ray	<i>Raja clavata</i>	80 g	筋	0.0038	海水	取 112日 排 360日 10°C 排出カーブより推定	10°C	35		
				血液	1st 0.014 2nd 0.0043						
				肝臓	1st 0.102						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/ 日)	実験法	条件	文献	
Cs-137 (塩化物)	魚類	ガンギエイの一種 ナツビラメ	Summer flounder	<i>Paralichthys dentatus</i>	0.02-0.05 g	全身	2nd 0.0042	海水	取90日 排44日 22-26°C	35	
							1st (34%) 0.1308				
							2nd (66%) 0.0188				
		ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgobon undulatus</i>	34-204 g	皮	1st (87%) 0.1118	海水	取30日	21°C	36
							2nd (10%) 0.0265				
							3rd (3%) 0.0024				
							1st (35%) 0.0199				
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	27 g	全身	1st (86%) 0.0517	海水	取21日	20-22°C	13
							2nd (3%) 0.008		排14日		
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	17 g	全身	0.019	餌	汚染ゴカイ1回投与 排22日	20-22°C	9
0.021	汚染ゴカイ連続投与8日間 排14日										
1st (58%) 0.4179	餌										
2nd (42%) 0.0510		取8日 排64日	15°C								
マハゼ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	35 g	全身	0.0510	海水	取8日 排64日	15°C	9		

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137	原索類	マボヤ				軟体部	1st (49%) 0.1726 2nd (51%) 0.0474			9
		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	26 g	全身	1st (46%) 1.6570 2nd (41%) 0.2707 3rd (13%) 0.0465	餌	汚染プランクトン1回投与 排79日 15°C	9
		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	軟体部	1st (33%) 1.6069 2nd (64%) 0.2055 3rd (3%) 0.0168			
		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st 0.433 2nd 0.035	海水	取8日 排28日 15°C	18
	棘皮類	キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	110 g	全身 (♂)	1st (82%) 0.4113 2nd (18%) 0.0500	海水	取10日 排34日 15°C	10
性腺 (♂)						1st (24%) 0.5164 2nd (76%) 0.0437				
						全身 (♀)	1st (75%) 0.4192			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137	棘皮類	キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylo- centrotus nudus</i>	158 g	全身 (♀)	2 nd (25%) 0.0592	餌	汚染マコンプ1回投与 排46日 15°C	10
						性腺 (♀)	1 st (27%) 0.4660 2 nd (73%) 0.0096			
Cs-137	棘皮類	キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylo- centrotus nudus</i>	27 g	全身	1 st (83%) 0.231 2 nd (17%) 0.035	海水	取7日 排42日 15°C	19
						性腺	1 st (91%) 0.2346 2 nd (9%) 0.0042			
Cs-137	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	1 st (41-52%) 0.359-0.447 2 nd (48-55%) 0.137-0.177	餌	汚染海藻1回投与 排16日	11
						軟体部	1 st (24%) 0.9780 2 nd (76%) 0.0321 1 st (18%) 0.3192			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	168 g	軟体部	2nd (82%) 0.0247	餌	汚染プランクトン1回投与 10°C	11
		全身				1st (91%) 3.7998				
		軟体部				2nd (6%) 0.2497				
		ウバガイ					3rd (3%) 0.0336			9
		ウバガイ					1st (88%) 9.4482			
		ウバガイ					2nd (10%) 0.7461			
		ウバガイ					3rd (2%) 0.0434			
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	1st (63%) 0.5180	海水	取7日 排60日 10°C	10
		ホタテガイ				軟体部	2nd (37%) 0.0258			
		ホタテガイ				軟体部	1st (71%) 0.5874			
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	2nd (29%) 0.0242	餌	汚染プランクトン1回投与 排44日 10°C	12
		ホタテガイ				軟体部	1st (91%) 3.2989			
		ホタテガイ				軟体部	2nd (4%) 0.1042			
		ホタテガイ					3rd (5%) 0.0468			
		ホタテガイ					1st (78%) 3.3176			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献					
Cs-137	貝類 (二枚貝)	ホタテガイ					2nd (16%) 0.2872			12					
							3rd (6%) 0.0353								
		セイヨウ オオノガイ	Soft-shell clam	<i>Mya arenaria</i>	60-100 g	全身	0.16	海水	取 179日 取り込みカーブより推定	10-12°C	26				
							外套膜					0.17			
							筋肉					0.047			
							内臓					0.17			
							全身					1st (75%) 0.19	海水	取48日 排177日 (野外) 排出カーブより推定	26
							外套膜					2nd (25%) 0.011			
		筋肉	1st (95%) 0.15												
		内臓	2nd (5%) 0.0094												
		全身	1st (65%) 0.21												
	2nd (35%) 0.021														
マ ガ キ	Giant Pacific oyster	<i>Crassostrea gigas</i>		全身	1st (77%) 0.20	海水	取48日 排300日 10-15°C	55							
					内臓				2nd (23%) 0.023						
					全身				1st (51%) 0.693						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類 (二枚貝)	マガキ				全	2 nd (20%) 0.089			55
							3 rd (29%) 0.0099			
						軟体部	1 st (54%) 0.7			
							2 nd (43%) 0.071			
							3 rd (2.5%) 0.0077			
						カ	1 st (11%) —			
		2 nd (76%) 0.071								
		3 rd (13%) 0.0083								
		1 st (21%) —								
		2 nd (66%) 0.046								
		3 rd (13%) 0.0130								
	貝類 (巻貝)		エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	34 g	全	1 st (33%) 0.6954	海水	取9日 排62日 15°C
							2 nd (67%) 0.0257			
							1 st (36%) 5.5753			
							2 nd (57%) 0.3163			
						筋				
						肉				
						身				
						全				
						全			汚染マコンプ1回投与 排53日 15°C	9

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数 (/日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類 (巻貝)	エゾアワビ					3rd (7%) 0.0191			9
	頭足類	マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	802 g	足筋肉	2nd 0.0077	海水	取14日 排75日 18°C	37
		ヤリイカ	Squid	<i>Doryteuthis bleekeri</i>	323 g	筋	2nd 0.0223	海水	取6日 13°C	37
	褐藻	ワカメ	Brown algae	<i>Undaria pinnatifida</i>		切断片	1st (3%) 2.2249 2nd (97%) 0.0058	海水	取12日 排28日 15°C	11
		マコンブ		<i>Laminaria japonica</i>	長さ 190cm	一部	1st (28%) 0.4887 2nd (72%) 0.0035	海水	取9日 排54日 10°C	10
	緑藻	アオサ	Green algae	<i>Ulva pertusa</i>			0.094	海水	取り込みカーブより推定 18°C	28
	植物 プランクトン	テトラセルミス	Phytoplankton	<i>Tetraselmis tetrahele</i>			1st (98%) 0.6907 2nd (2%) 0.0303	海水	取6日 排14日 20°C	12
		シオミス ツボウムシ	Zooplankton	<i>Brachionus plicatilis</i>	3 μg		0.7553	海水 +餌	取6日 排11日 20°C	12
	貝類 (巻貝)	ニシキウズの 一種	Zebra winkle	<i>Austrocochlea constricta</i>	全身	0.039	海水 (1.0mg U/L)	取40日 (無投餌) 取り込みカーブより推定	20°C	14
					全身	0.051	(5.0mg U/L)			
全身					0.089	(10.0mg U/L)				
U-235 (UO ₂ (NO ₃) ₂ •6H ₂ O)		ニシキウズの 一種	Zebra winkle	<i>Austrocochlea constricta</i>	全身	0.053	海水+餌 (1.5mg U/L)	取40日 (投餌) 取り込みカーブより推定	20°C	14

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	排泄速度 定数(/日)	実験法	条件	文献																		
U-235 ($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)	貝類(巻貝)	ニシキウスの 一種				全	0.072	海水+餌 ($1.5mg$ $0.7g$)		14																		
						全	0.019	$10.0mg$ $0.7g$																				
	甲殻類	イワガニの 一種	Crab		<i>Pachygrapsus laevimanus</i>		全	0.032	海水 ($1.5mg$ $0.7g$)	取40日(無投餌) 取り込みカーブより推定	14																	
							全	0.029	($5.0mg$ $0.7g$)																			
							全	0.024	$10.0mg$ $0.7g$																			
							全	0.101	海水+餌 ($1.5mg$ $0.7g$)																			
Pu-237 (IV)	甲殻類	イワガニの 一種	Crab	<i>Pachygrapsus laevimanus</i>		全	0.092	($5.0mg$ $0.7g$)	取40日(投餌) 取り込みカーブより推定	14																		
						全	0.075	$10.0mg$ $0.7g$																				
						全	1st 0.915	海水			13°C																	
						全	2nd 0.0116																					
						Pu-237 (V)	甲殻類	スナホリムシの 一種				Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>	0.3 g	全	1st 0.3735	海水	13°C	38									
															全	2nd 0.0079												
Am-241 (III)	甲殻類	スナホリムシの 一種	Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>	0.3 g				全	1st 0.1578					海水	13°C				38								
									全	2nd 0.0027																		
									Cf-252 (III)	甲殻類	スナホリムシの 一種										Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>	0.3 g	全	1st 0.1794	海水	13°C	38
																								全	2nd 0.0024			

表5-3-1. 生物学的半減期一覽表 (Biological half-lives)

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献		
V-48	魚類	ハゼの一種	Goby	<i>Gobius minutus</i>	4 g	全身	1st (40%) 0.4	海水	取21日	13°C	39	
							2nd (60%) 19					
							1st 0.5					
甲殻類	イソワタリガニ	Shore crab	<i>Carcinus maenas</i>	16 g	全身	2nd 7	海水	取21日	排60日	13°C	40	
						3rd 119						
						2nd 10						
Cr-51 (III)	魚類	モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>	1.0 g	2nd 8.5	海水	取21日	排60日	13°C	40	
						2nd 4						
						2nd (6%) 70						
Cr-51 (III)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgobius undulatus</i>	23-70 g	全身	1st (94%) 0.5	腹腔内注射	排25日	7-10°C	15	
							2nd (6%) 70					
							1st (21%) <1					
Cr-51 (III)	貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 4-5 cm	全身	2nd (54%) 5	海水 +餌	取21日	排364日	5-20°C	41
							3rd (25%) 151					
							1st (26%) 2					
Cr-51 (III)	甲殻類	オオギガニの一種	Crab	<i>Xantho hydrophilus</i>		全身	2nd (74%) 57	海水	取2日	16-20°C	16	
							1st (26%) 2					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Cr-51 (III)	甲殻類	オオギガニの一種	Crab	<i>Xantho hydrophilus</i>		全身	1st (7%) 1	海水	取28日 16-20°C	16	
							2nd (93%) 71				
Cr-51 (VI)		オオギガニの一種	Crab	<i>Xantho hydrophilus</i>		全身	1st (45%) 1	海水	取2日 16-20°C	16	
							2nd (55%) 34				
Mn-54	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>		全身	1st 4	海水	取267日 排91日	42	
							2nd 346				
	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>		全身	2nd 40	餌	汚染ゴカイ1回投与	43	
							マハゼ				
							2nd 22				汚染ゴカイ1回投与 排25日
							ドロメ				
イシガレイ	2nd 49	汚染ゴカイ1回投与 排45日	44								
Stone flounder	1st (80%) 1	餌		汚染砂1回投与	17						
	2nd (20%) 63										
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nautus</i>	27g	全身	1st (43%) 3	海水	取7日 排42日 15°C	19	
						2nd (57%) 29					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Mn-54	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylo-centrotus nudus</i>	27 g	全身	1st (67%) 1-2 2nd (33%) 6-7	餌	汚染海藻1回投与 排16日 15°C	19
		キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylo-centrotus nudus</i>	27 g	全身	1st (43%) 2 2nd (57%) 8	餌	汚染貝肉1回投与 排16日 15°C	19
	貝類(二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 4-7 cm	全身	1st (38%) <1 2nd (20%) 7 3rd (42%) 214	海水 +餌	取21日 排364日 20-5°C	41
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	全身	1st (29%) 1 2nd (61%) 34	海水	取7日 排7日 20°C	20
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>		全身	214	海水	取400日 取り込みカーブより推定	45
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 6-8 cm	足	26	海水	取42日 取り込みカーブより推定 10°C	46
						外套膜	12			
						閉殻筋	7			
		イガイの一種	Purplish blue mussel	<i>Septifer virgatus</i>	8 g	全身	1st (25%) 0.5 2nd (75%) 18	海水	取7日 排7日 20°C	20

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Mn-54	貝類(二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	2 nd 90	海水	取14日 排60日 10°C	47
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	168 g	全身	2 nd 10	餌	汚染プランクトン1回投与 10°C	
	貝類(巻貝)	モスソガイ	Perry whelk	<i>Volutharpa ampullacea</i>	3-15 g	全身(♂)	64	海水	取9日 排54日 10°C	47
		クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	6-19 g	全身(♀)	66	餌	汚染プランクトン1回投与 10°C	
Fe-59 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	15-62 g	全身	1 st (56%) 3 2 nd (44%) 36	外套腔内注射	排16-70日	22
		アラルミ	Brine shrimp	<i>Artemia salina</i>		全身	2 nd (40%) 4	海水	排10日 22°C	
	魚類	イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	84-290 g	全身	1 st (97%) 0.4 2 nd (3%) 13	餌	汚染砂1回投与	17
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>		全身	10	餌	汚染ゴカイ1回投与 排19日	
		ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Micropogon undulatus</i>	23-70 g	全身	1 st (4%) 4	腹腔内注射	排92日 23-30°C	15

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Fe-59 (塩化物)	魚類	ニベの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	腎臓	2 nd (96%) 215	海水	取90日 取り込みカーブより推定	15
		ツノガレイの一種				腸	30			
Fe-59 (Ferrrous sulfate)	魚類	イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	192 g	全身	99	腹腔内注射	排98日 10°C	23
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 6-8 cm	足	1 st 2 2 nd 29			
Fe-59 (塩化物)	貝類(二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 6-8 cm	外套膜	13	海水	取42日 取り込みカーブより推定	46
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	閉殻筋	11			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Fe-59 (塩化物)	貝類(二枚貝)	ムラサキイガイ				全身	2nd (69%) 18			20
		イガイの一種	Purplish blurcate mussel	<i>Septifer virgatus</i>	8 g	全身	1st (21%) 1 2nd (79%) 45	海水	取7日 排7日 20°C	20
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 4-5 cm	全身	1st (38%) < 1 2nd (47%) 4 3rd (15%) 143	海水 + 餌	取21日 排364日 5-20°C 排出実験は野外で	41
Fe-59 (Ferrous sulfate)	貝類(巻貝)	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	13 g	全身	1st 33 2nd 51	海水	取6日 排21日 16°C	23
					13 g	全身	1st 3 2nd 55	餌	汚染海藻1回投与 排21日 16°C	
					43 g	全身	1st (30%) 10 2nd (70%) 113	外套腔 内注射	排16-70日	22
Fe-59 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	10-20 g	全身	183	海水	取100日 排100日 10°C	24
	褐藻	ヒバマタの一種	Brown algae	<i>Fucus serratus</i>	8-42 g	全身	1st (95%) 0.5 2nd (5%) 54	餌	汚染餌1回投与 排45日	25
Co-60 (塩化物)	魚類	ハタの一種	Sea bass	<i>Serranus scriba</i>						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-57 (コバミン)	魚類	ハタの一種	Sea bass	<i>Serranus scriba</i>	8-42 g	全身	1st (66%) 8	餌	汚染餌1回投与 排45日	25
							2nd (34%) 47			
Co-60 (塩化物)		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	14-48 g	全身	1st (60%) 2	餌	汚染シラス4回投与	50
							2nd (40%) 73			
Co-57 (コバミン)		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	14-48 g	全身	2nd (60%) 40	餌	汚染シラス4回投与	
Co-60 (塩化物)		ドロメ	Gluttonous goby	<i>Chasmichthys gulosus</i>	3.4 g	全身	1st 0.4	海水	取7日 排29日 15°C	51
							2nd 166			
Co-57 (コバミン)		ドロメ	Gluttonous goby	<i>Chasmichthys gulosus</i>	3.4 g	全身	1st 1	海水	取7日 排29日 15°C	
							2nd 43			
Co-58 (塩化物)		ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	全身	163	腹腔内注射	排98日 10°C	49
							27			
							49			
Co-60 (塩化物)		チダイ	Crimson sea bream	<i>Eymis japonica</i>	9 g	全身	29	海水	取90日 取り込みカーブより推定	2
							39			
							筋肉			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Co-60 (塩化物)	魚類	ブリ	Yellowtail	<i>Seriola quinqueradiata</i>	453 g	全身	24	海水	取 131日 排30日 15°C	2	
					筋	53					
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	744 g	全身	50	海水	取 120日 排52日 15°C	2	
					筋	63					
		メバエ	Dark banded rockfish	<i>Sebastes inermis</i>	48 g	全身	1st (36%) 1	海水	取 3日 排65日 15°C	52	
						2nd (51%) 119					
	48 g				全身	1st (23%) 2	海水	取 6日 排65日 15°C			
					2nd (78%) 118						
	原索類	棘皮類	シロボヤ	Sea squirt	<i>Styella plicata</i>	27 g	生殖腺	14	海水	取15日 17-20°C 取り込みカーブより推定	3
						27 g	全身	40		海水	
			キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	全身	1st (57%) 2	餌		汚染アオサ1回投与 排16日 15°C
							2nd (43%) 8				
27 g			全身	1st (89%) 1	餌	汚染アラメ1回投与 排16日 15°C					
			2nd (11%) 11								
27 g	全身	1st (83%) 1	餌	汚染ツノマタ1回投与 排16日 15°C							

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-60 (塩化物)	棘皮類	キタムラサキ ウニ					2 nd (17%) 8			19
		キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	全身	1 st (45%) 2 2 nd (55%) 13	餌	汚染貝肉1回投与 排16日 15°C	19
Co-57 (塩化物)	貝類(二枚貝)	マナマコ	Sea cucumber	<i>Stichopus japonicus</i>	200 g	全身	2 nd (80%) 73	海水	取7日 排42日 20°C	58
		ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	2 nd 80	海水	取14日 排59日 10°C	47
					168 g	全身	2 nd 30	餌	汚染ブラントン1回投与 排42日 10°C	
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	65 g	全身	2 nd 330	海水	取9日 排54日 10°C	
Co-57 (トリスグリシ ナトリウム 錯体)		ムラサキ インコガイ	Mussel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	6 g	全身	1 st (55%) 5 2 nd (45%) -	海水	取40日 排140日 15°C	4
						軟体部	1 st (47%) 6			
							2 nd (53%) 231			
						カ	1 st (24%) 10			
							2 nd (76%) 173			
						全身	1 st (25%) 17	海水	取40日 排140日 15°C	
Co-60 (塩化物)		ムラサキ インコガイ	Mussel	<i>Mytilisepta virgatus</i>	6 g	全身	1 st (25%) 17	海水	取40日 排140日 15°C	4

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-60 (塩化物)	貝類(二枚貝)	ムラサキ イソコガイ				全身	2nd (75%) —			4
						軟体部	1st (31%) 8			
						カラ	2nd (69%) 173 1st (25%) 4 2nd (75%) 182			
Co-58 (塩化物)		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 4 - 7 cm	軟体部	10	海水	取35日 取り込みカーブより推定	5
						外套膜	14			
						鰓	18			
						閉殻筋	14			
						肝臓	12			
						カラ	14			
						足	5	海水	取42日 取り込みカーブより推定 10°C	46
					外套膜	16				
					閉殻筋	18				
						内臓	15			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Co-58 (塩化物)	貝類(二枚貝)	ムラサキイガイ				鰓	11			46	
Co-60 (塩化物)		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	5-10 g	全身	1st(70-30%)	海水	取4時間、1日、4日、12日 排85日 14-17℃		53
							2nd(30%)				
							2nd				
							2nd				
							2nd				
							2nd(70%)				
							64				
1st(9%)		海水	取7日 排7日 20℃	20							
2nd(91%)											
		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	9 g	全身	1st(9%) 2nd(91%)				
		イガイの一種	Purplish bifurcate mussel	<i>Septifer virgatus</i>	8 g	全身	1st(19%) 2nd(81%)	海水	取7日 排7日 20℃	20	
		チレニアイガイ	Mediterranean blue mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	7 g	全身	1st 2nd 3rd 251	海水	取30日 取り込みカーブより推定 10℃	54	
		アサリの一種	Clam	<i>Tapes decussatus</i>	7 g	全身	1st 2nd 7	海水	取30日 取り込みカーブより推定 10℃	54	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-60 (塩化物)	貝類(二枚貝)	アサリの一種				全身	3rd 25			54
		ヨーロッパザルガイ	Common European Cockle	<i>Cerastoderma edule</i>	4 g	全身	1st 8 2nd 71	海水	取30日 取り込みカーブより推定	54
		ニョリフランズナミノコガイ	Banded donax	<i>Donax vittatus</i>	2 g	全身	1st 1 2nd 117	海水	取30日 取り込みカーブより推定	54
		マガキ	Giant Pacific oyster	<i>Crassostrea gigas</i>		全身	1st (80%) 40 2nd (20%) 220	海水	取48日 排 300日 10-15°C	55
						軟体部	1st (80%) 7 2nd (20%) 130			
						カラ	1st 35 2nd 110			
						筋肉	1st 12 2nd 300			
						全身	80			
						軟体部	117			
		ヒメシヤコガイ	Crocus giant clam	<i>Tridacna crocea</i>	36 g	全身		海水	取7日 排66日 25°C	56

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-60 (塩化物)	貝類(二枚貝)	ヒメシヤコガイ				腎	1284			56
		セイヨウオオノガイ	Soft-shell clam	<i>Mya arenaria</i>	60-100 g	カラ	103			
		コタマガイ	Equilateral venus	<i>Gomphina melanaegis</i>	48 g	全身	100-300	海水	取48日 排177日(野外) 10-12°C	26
Co-57 (シ77コガ ミン)	貝類(巻貝)	コタマガイ	Equilateral venus	<i>Gomphina melanaegis</i>	48 g	全身	1st (11%) 1 2nd (89%) 154	海水	取7日 排26日 15°C	57
		サザエ	Horned turban	<i>Batillus cornutus</i>	30 g	全身	2nd 110	海水	15°C	47
		バ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>	30 g	全身	2nd 130	餌	汚染アラメ1回投与 15°C	47
Co-60 (塩化物)	貝類(巻貝)	セイヨウカサガイ	Common European limpet	<i>Patella vulgata</i>	64 g	全身	2nd 110	海水	15°C	47
					64 g	全身	2nd 30	餌	汚染アワビ内臓1回投与 15°C	
					1 g	全身	1st 9 2nd 24	海水	取30日 取り込みカーブより推定 10°C	54
		クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	21 g	全身	1st (34%) 1 2nd (31%) 10 3rd (35%) 105	海水	取1日 排90日 15°C	52

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-60 (塩化物)	貝類(巻貝)	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	21 g	全身	1 st (24%) 1	海水	取3日 排90日 15°C	52
							2 nd (28%) 18			
							3 rd (49%) 131			
Co-57 (⁹⁷ Coの β線)	貝類(巻貝)	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	21 g	全身	1 st (15%) 2	海水	取7日 排90日 15°C	52
							2 nd (27%) 14			
							3 rd (60%) 118			
Co-57 (⁹⁷ Coの β線)	頭足類	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	190 g	全身	120	海水	取7日 排55日 15°C	27
							2 nd 81		汚染アオサ1回投与 排60日 15°C	
							2 nd 95		汚染アラメ1回投与 排60日 15°C	
							2 nd 74		汚染ツノマタ1回投与 排60日 15°C	
							220		取7日 排47日 15°C	
							200		汚染アオサ1回投与 排60日 15°C	
160	汚染アラメ1回投与 排60日 15°C									
240	汚染ツノマタ1回投与 排60日 15°C									
Co-57 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	54 g	全身	2 nd 90	海水	15°C	47

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-57 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	54 g	全身	2nd 100	餌	汚染アワビ内蔵1回投与 15°C	47
		マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	820 g	全身 筋肉 血液	1st (25%) 2nd (78%) 1st (73%) 2nd (27%) 1st (74%) 2nd (26%) 28	海水	取15日 排35日 20°C	59
Co-60 (塩化物)	甲殻類	マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	820 g	全身	1st (60%) 2nd (40%) 300	餌	汚染貝肉3日連続投与 排60日 20°C	60
		エビジャコ	Common shrimp	<i>Crangon crangon</i>	0.6-2.2 g	全身	1st (80%) 2nd (20%) 10	餌	汚染貝肉1回投与 14-16°C	61
	イソシエビ	Shrimp	<i>Leander pacificus</i>		筋肉 カラ	6 6	海水	取25日 取り込みカーブより推定 22-25°C	3	
	イソヨコバサミ	Hermit crab	<i>Clibanarius virescens</i>		全身	14	海水	取25日 取り込みカーブより推定 22-25°C	3	
	クルマエビ	Prawn	<i>Penaeus japonicus</i>		全身	2nd (58%) 27	海水	取7日 排27日 20°C	58	
						8 g	全身		海水	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-57 (⁵⁷ Co/57ミン)	甲殻類	クルマエビ	Prawn	<i>Penaeus japonicus</i>	8 g	全身	2 nd (39%) 24	海水	取7日 排27日 20°C	58
	多毛類	ゴカイ	Polychaete worm	<i>Nereis japonica</i>	0.5 g	全身	37	海水	取11日 排24日 14°C	62
Co-60 (塩化物)	褐藻	マコソノブ	Brown algae	<i>Laminaria japonica</i>		先端	24	海水	取20日 排25日 15°C 1000lux 1日当り12時間	63
						元	13			
						茎	37			
		ウミトラノオ		<i>Sargassum thunbergii</i>		先端	8			
						中央部	12			
						元	80			
緑藻	藻	アオサ	Green algae	<i>Ulva pertusa</i>			10	海水	取14日 18°C 取り込みカーブより推定	28
		ハリガネ	Red algae	<i>Ahnfeltia paradoxa</i>		茎	21	海水	取20日 排25日 15°C 1000lux 1日当り12時間	63
植物 プランクトン	藻	ツノマタ		<i>Chondrus ocellatus</i>		茎	58			
		キートセラス	Phytoplankton	<i>Chaetoceros pseudocurvisetum</i>		葉	18			
Co-60 (塩化物)	植物 プランクトン	キートセラス	Phytoplankton	<i>Chaetoceros pseudocurvisetum</i>			0.6	海水	取7日 排10日 18°C	25
Co-57 (⁵⁷ Co/57ミン)		キートセラス	Phytoplankton	<i>Chaetoceros pseudocurvisetum</i>			4.4	海水	取7日 排10日 18°C	25

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Co-60 (塩化物)	動物 プランクトン	アルテミア	Brine shrimp	<i>Artemia salina</i>		全身	2nd (90%) 1.5	海水	排10日 22°C	6
Zn-65 (塩化物)	魚類	カダヤシ	Mosquitofish	<i>Gambusia affinis</i>	0.1-0.3g	全身	1st (9%) 2 2nd (4%) 14 3rd (91%) 235	海水	取100日 排120日 16-21°C	29
		マサバ	Chub mackerel	<i>Scomber japonicus</i>	15-20g	全身 筋肉 鰓	57 57 38	海水	取14日 排60日 12°C	6
		ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	15-20g	全身 筋肉 鰓	35 43 24	海水	取14日 排60日 22°C	6
		イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	84-290g	全身	1st (74%) 1 2nd (26%) 13	海水	取267日 排91日	42
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>		全身	79	餌	汚染ゴカイ1回投与	43
						全身		餌	汚染砂1回投与	17
						全身	33	餌	汚染ゴカイ1回投与 排15日	64

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Zn-65 (塩化物)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgogon undulatus</i>	23-70 g	全身	1st (10%) 7	腹腔内注射	排103日 4-15°C	15
							2nd (90%) 138			
原素類	マボヤ		Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st (9%) 2	海水	取8日 排28日 15°C	18
							2nd (89%) 231			
棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin		<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	全身	57	海水	取7日 排42日 15°C	19
					27 g	全身	29			
貝類(二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel		<i>Mytilus edulis</i>	5-10 g	全身	1st 3-4	海水	取4時間-20日 排50-70日 14-17°C	53
						全身	2nd 48-60			
	ムラサキイガイ	Common blue mussel		<i>Mytilus edulis</i>	殻長 3-5 cm	全身	1st (24%) < 1	海水 +餌	取21日 排出は野外 20-5°C	41
							2nd (48%) 6			
	ウバガイ	Japanese surf clam		<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	3rd (28%) 87	海水	取14日 排59日 10°C	47
					168 g	全身	2nd 30			
	ホタテガイ	Yesso scallop		<i>Patinopecten yessoensis</i>	65 g	全身	2nd 50	海水	取9日 排54日 10°C	47
					61 g	全身	2nd 50			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的 半減期(日)	実験法	条件	文献	
Zn-65 (塩化物)	貝類(二枚貝)	マガキ	Giant Pacific oyster	<i>Crassostrea gigas</i>		全	300	海水	野外で排出実験	65	
		カシユウイガイ	Californian mussel	<i>Mytilus irrorationa</i>		全	76	海水	野外で排出実験	66	
		ヌマチ タマキビガイ	Marsh periwinkle	<i>Littorina irrorationa</i>	殻高 1.5-2cm	全	40	餌	汚染水草1回投与 排11-39日 15°C	67	
				殻高 1.5-2cm	全	25	餌	汚染水草1回投与 排11-39日 25°C			
				殻高 1.5-2cm	全	23	餌	汚染水草1回投与 排11-39日 30°C			
			タマキビガイの 一種	Periwinkle	<i>Littorina obtusata</i>	1-2g	全	14	海水	取50日 取り込みカーブより推定	24
			サザエ	Horned turban	<i>Batillius cornutus</i>	30g	全	2nd 100	海水	取9日 排83日 15°C	47
						30g	全	2nd 100	餌	汚染了ラメ1回投与 排86日 15°C	
			クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	15g	全	2nd 120	海水	取18日 排100日 15°C	47
						15g	全	2nd 250	餌	汚染了ラメ1回投与 排55日 15°C	
			イ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>	64g	全	2nd 150	海水	取9日 排83日 15°C	47
						64g	全	2nd 280	餌	汚染了ワビ内臓1回投与 排78日 15°C	
	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	54g	全	2nd 60	海水	取6日 排50日 15°C	47	
		イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	54g	全	2nd 50	餌	汚染了ワビ内臓1回投与 排50日 15°C		
					43g	全	1st (31%) 10	外套腔 内注射	排16-70日	22	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Zn-65 (塩化物)	頭足類	イイダコ				全身	2 nd (69%) 32			22	
		マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	1570 g	全身	74	海水	取7日 排28日 15°C 汚染員7日連続投与 排28日 15°C	30	
	甲殻類	ツノナシオキアミ	Euphausia		<i>Euphausia pacifica</i>		全身	2 nd 140	餌	汚染了ルテミア15日間投与 排150日 20°C	68
		エビジャコの種類	Shrimp		<i>Crangon franciscorum</i>		全身	2 nd 29-34	餌	汚染了ルテミア1回投与 排38日	68
	多毛類	ヨコエビの種類	Benthic amphipod		<i>Anonyx</i>		全身	152	海水	3°C	69
							全身	107	海水	7°C	
							全身	95	海水	12°C	
	腔腸動物	ヨーロッパアンロブスター	European lobster		<i>Homarus gammarus</i>	295-575 g	全身	74-96	餌	13-15°C	70
		ゴカイの種類	Polychaete worm		<i>Nereis diversicolor</i>		全身	2 nd (70%) 14-17	堆積物	取5日 排15日 20°C	71
	褐藻	イソギンチャクの種類	Sea anemone		<i>Anemonia viridis</i>		全身	62	餌	汚染員肉投与 13°C	72
		ヒバマタの種類	Brown algae		<i>Fucus vesiculosus</i>			100	海水	取5-40日 21°C	73
	緑藻	アミシグサ	Green algae		<i>Dictyota dichotoma</i>			14	海水	取5-40日 21°C	
アオサ		Green algae		<i>Ulva lactuca</i>			4	海水	取5-40日 21°C		
		ミルの種類		<i>Codium decorticatum</i>			7	海水	取5-40日 21°C		

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Zn-65 (塩化物)	紅藻	チンマクロノリ	Red algae	<i>Porphyra umbilicalis</i>			7	海水	取5-40日	21°C	
		オゴノリの一		<i>Gracilaria foliifera</i>			60	海水	取5-40日	21°C	
Sr-85 (塩化物)	魚類	カタクチイワシ	Larva of Japanese anchovy	<i>Engraulis japonica</i>	1-4 g	全身	1st 2nd	海水	取13日	排14日	20°C
		のシラス					83				
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	142-1270 g	鱗	23	海水	取150日	排35日	15°C
						鰓	82				
Sr-85 (硝酸塩)	魚類	ニベの一	Atlantic croaker	<i>Micropogon undulatus</i>	23-70 g	脊椎骨	229	腹腔内注射	排32日	23-30°C	15
						全身	1st (21%) 2nd (79%)				
						筋肉	1st (89%) 2nd (11%)				
						骨	100				
						鰓	223				
						肝臓	1st (73%) 2nd (27%)				
	1st (84%) 1										

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Sr-85 (硝酸塩)	魚類	ニベの一種				肝臓	2nd (14%) 5			15
						腎臓	1st (90%) 5 2nd (10%) 94			
Sr-85 (塩化物)	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st (38%) 1 2nd (54%) 23	海水	取8日 排28日 15°C	18
Nb-95 (oxalate)	魚類	ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Microgobon undulatus</i>	23-70 g	全身	1st (54%) 5 2nd (46%) 465	腹腔内注射	排64日 17-10°C	15
						全身	85			
Zr-95		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	38 g	全身	85	海水	取14日 排90日 15-17°C	31
Nb-95		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	38 g	全身	385	海水	取14日 排90日 15-17°C	
Zr-95 Nb-95	多毛類	ゴカイ	Polychaete worm	<i>Nereis japonica</i>	0.5 g	全身	32	海水	取10日 排24日 (投餌) 14°C	28
						全身	43			
	緑藻	アナアオサ	Green algae	<i>Ulva pertusa</i>			26	海水	取14日 18°C	28
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>		全身	46	海水	取62日 10°C	74
						全身	36			
		スズキの一種	European seabass	<i>Dicentrarchus labrax</i>		全身	1st 1	餌	汚染ゴカイ18日連続投与	75

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献		
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	魚類	スズキの一種					2nd 15			75		
		ガンギエイの一種	Thornback ray	<i>Raja clavata</i>		全身	30	海水		76		
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>		全身	2nd 13-27	餌	汚染海藻1回投与 排30日	15°C	7	
		バフンウニ	Sea urchin	<i>Hemacentrotus pulcherrimus</i>		全身	2nd 9-19	餌	汚染海藻1回投与 排30日	15°C	7	
Tc-95 (塩化物)	貝類(二枚貝)	チレニアイガイ	Mediterranean blue mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	10-13g	全身	2nd 143	海水	取28日 排 130日	16°C	77	
					10-13g	全身	2nd 116	海水+餌	取28日	16°C		
	貝類(巻貝)	アカネアワビ	Red abalone	<i>Haliotis rufescens</i>	1000g	全身	2nd 158					78
		アカネアワビ	Red abalone	<i>Haliotis rufescens</i>	14-23g	全身	1st (70%) 7		海水	取35日 排85日	16°C	32
Tc-95m (TcO ₄ ⁻)	甲殻類	イワガニの一種	Crab	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	14-23g	全身	1st (55%) 11	餌	汚染海藻1回投与	16°C	33	
						全身	2nd (45%) 60					
	スジエビの一種	Shrimp	<i>Palaemon elegans</i>	13g	全身	1st (62%) 16		海水	取30日 排 110日	19°C		
					全身	2nd (36%) 63		海水	取25日	10°C	77	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的 半減期(日)	実験法	条件	文献
Tc-95m (Tc0,1)	甲殻類	スジエビの一種	Shrimp	<i>Palaemon elegans</i>		全身	2nd 25	海水	取25日 20°C	77
		スジエビの一種					1st 3			
Tc-95m (+7)	多毛類	ヨーロッパ ロブスター	European lobster	<i>Homarus gammarus</i>	5g	全身	211-339	海水	取63日 10°C	74
		ヨーロッパ ロブスター	European lobster	<i>Homarus gammarus</i>			66	餌	汚染エビ1回投与 10°C	
Tc-95m (+4)	多毛類	モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>		全身	42	餌	汚染アルテミア1回投与 排72日	77
Tc-95m (+4)		モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>			19	餌	汚染アルテミア1回投与 排32日	
Tc-95m (+7)	多毛類	ゴカイの一種	Polychaete worm	<i>Nereis diversicolor</i>	0.4-0.5g	全身	2nd 245	海水	取14日 排71日 13°C	77
Tc-95m (+4)		ゴカイの一種	Polychaete worm	<i>Nereis diversicolor</i>	0.4-0.5g		2nd 138	海水	取14日 排71日 13°C	
Tc-95m (Tc0,1)	褐藻	ウミトラノオ	Brown algae	<i>Sargassum thunbergii</i>			2nd 90	海水	取7日 排30日 15°C	7
		ネジモク		<i>Sargassum sagaminum</i>			2nd 50	海水	取7日 排30日 15°C	
		アラメ		<i>Eisenia bicyclis</i>			2nd 174	海水	取7日 排30日 15°C	
		ヒジキ		<i>Hizikia fusiforme</i>			2nd 89	海水	取7日 排30日 15°C	
		マコンブ		<i>Laminaria japonica</i>			2nd 44	海水	取7日 排30日 15°C	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Ru-103 (ニトロソル ニト錯体)	魚類	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	6 g	全身	1st (44%) 0.3	海水	取12日 排51日	15°C	8
							2nd (56%) 60				
					303 g	全身	1st (42%) 1	海水	取12日 排51日	15°C	
							2nd (58%) 39				
				13 g	全身	<i>Sebastes schlegelii</i>	餌	汚染ペレット投与 排45日	15°C	8	
				352 g	全身	1st (97%) 1					餌
				10 g	全身	<i>Paralichthys olivaceus</i>	海水	取12日 排51日	15°C	8	
				392 g	全身	1st (47%) 0.3					海水
						2nd (53%) 49	海水	取10日 排19日	15°C		
						1st (87%) 1				海水	汚染ペレット1回投与 排45日
				2nd (13%) 30	餌	汚染幼魚1回投与 排30日	15°C				
				1st (98%) 1				餌	汚染幼魚1回投与 排30日	15°C	
				2nd (2%) 9	餌	汚染幼魚1回投与 排30日	15°C				
				1st (95%) 0.2				餌	汚染幼魚1回投与 排30日	15°C	
				2nd (2%) 9	餌	汚染幼魚1回投与 排30日	15°C				

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロ錯体)	魚類	ヒラメ				全身	2nd (5%) 33			8
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st (19%) 3 2nd (81%) 58	海水	取8日 排28日 15°C	18
Ru-103 (ニトロ錯体)		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	35 g	全身	1st (13%) 1 2nd (87%) 68	海水	取8日 排64日 15°C	9
						軟体部	78	海水	取8日 排64日 15°C	
						全身	1st (76%) 0.4 2nd (5%) 4 3rd (19%) 24	餌	汚染ブランクトン1回投与 排79日 15°C	9
		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	26 g	軟体部	1st 0.3 2nd 7 3rd 51	餌	汚染ブランクトン1回投与 排79日 15°C	10
						全身(♂)	1st (43%) 3 2nd (57%) 98	海水	取10日 排34日 15°C	
						性腺(♂)	1st (20%) 10	海水	取10日 排34日 15°C	
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	110 g	全身(♂)		海水	取10日 排34日 15°C	10

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的 半減期(日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロソ ニトラ錯体)	棘皮類	キタムラサキ ウニ					2 nd (80%) 125			10
		キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocent- rotus nudus</i>	110 g	全身(♀)	1 st (33%) 3 2 nd (67%) 109	海水	取10日 排34日 15°C	10
						性腺(♀)	1 st (14%) 7 2 nd (86%) 267			
		キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocent- rotus nudus</i>	158 g	全身	1 st (99%) 1 2 nd (1%) 26	餌	汚染コンブ1回投与 排46日 15°C	9
	貝類(二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	1 st (6%) 1 2 nd (94%) 90	海水	取14日 排59日 8°C	11
					軟体部	1 st (25%) 2 2 nd (75%) 78				
		ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	168 g	全身	1 st (82%) 0.2 2 nd (18%) 97	餌	汚染プラントン1回投与 排42日 10°C	9

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Ru-103 (ニトロソルニト)錯体)	貝類(二枚貝)	ウバガイ				軟体部	1st (73%) 0.1			9	
							2nd (18%) 0.5				
							3rd (9%) 160				
	貝類(二枚貝)	ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	1st (17%) 1	海水	取水7日 排60日	10°C	11
							2nd (83%) 171				
							1st (28%) 2				
							2nd (72%) 111				
	貝類(二枚貝)	ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	1st (30%) 0.5	餌	汚染プランクトン1回投与 排44日	10°C	12
							2nd (42%) 12				
							3rd (28%) 205				
							1st (46%) 0.6				
							2nd (32%) 5				
貝類(巻貝)	エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	34 g	全身	1st (1%) 0.4	海水	取水9日 排62日	15°C	11	
						2nd (99%) 127					
						3rd (22%) 336					
						1st (1%) 0.4					

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロソルニトヲ錯体)	貝類(巻貝)	エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	115 g	全身	1st (23%) 6	餌	汚染コンブ1回投与 排53日 15°C	9
							2nd (77%) 133			
	頭足類	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	15 g	全身	2nd 280	海水	取18日 排100日 汚染アラム1回投与 排55日 15°C	47
							2nd 70			
		サザエ	Horned turban	<i>Batillus cornutus</i>	30 g	全身	2nd 70	海水	取9日 排83日 汚染アラム1回投与 排86日 15°C	47
							2nd 40			
	甲殻類	バ イ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>	64 g	全身	2nd 180	海水	取9日 排83日 汚染貝肉1回投与 排78日 15°C	47
							2nd 50			
		イ イ タ コ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	54 g	全身	2nd 40	海水	取6日 排50日 汚染貝肉1回投与 排50日 15°C	47
							2nd 10			
多毛類	クルマエビ	Prawn	<i>Penaeus japonicus</i>	10 g	全身	1st 2-8	海水	取14日 排42日	80	
						2nd 18-20				
多毛類	ゴカイ	Polychaete worm	<i>Nereis japonica</i>	0.5 g	全身	2nd 95	海水	取10日 排24日 無投餌 14°C	62	
						2nd 35				海水

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Ru-103 (ニトロシル ニトрат錯体)	褐藻	ワカメ	Brown algae	<i>Undaria pinnatifida</i>		切断片	1st (1%) 6 2nd (99%) 96	海水	取12日 排28日 15°C	11
		マコンブ		<i>Laminaria japonica</i>	長さ 190cm	一部	1st (17%) 2 2nd (83%) 107	海水	取9日 排54日 10°C	10
	植物 プランクトン	テトラセルミス	Phytoplankton	<i>Tetraselmis tetrathele</i>			1st (59%) 0.2 2nd (41%) 8	海水	取6日 排14日 20°C	12
	動物 プランクトン	シオミズ ツボフムシ	Zooplankton	<i>Brachionus plicatilis</i>	3 µg	全身	1.3	海水 +餌	取6日 排11日 20°C	12
		アルテミア	Brine shrimp	<i>Artemia salina</i>		全身	1st 0.1 2nd 1-5	海水		14°C
Cd-109	腔腸動物	イソギンチャク の一種	Sea anemone	<i>Anemonia viridis</i>		全身	4	餌	汚染イガイ肉投与 13°C	72
Sb-124 (塩化物)	貝類 (二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	6-11g	全身	1st (47%) 2 2nd (53%) 43	海水	取19日 排35日 16-18°C	82
		アサリ	Short-necked clam	<i>Tapes japonica</i>	10g	全身	1st (56%) 3 2nd (37%) 58	海水	取10日 排46日 20-22°C	34
Sb-124 (塩化物)	甲殻類	エビジャコ の一種	Shrimp	<i>Crangon crangon</i>	1-3g	全身	9	海水	取14日 排27日 15-17°C	82

核種	分類	種類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的 半減期(日)	実験法	条件	文献
Sb-124 (塩化物)	甲殻類	エビジャコの種類	一種	Shrimp	<i>Crangon crangon</i>	1-3 g	全身	10	海水	取24日 排27日 15-17°C	82
						1-3 g	全身	9	餌	R I 滴下イガイ肉 1 回投与 15-17°C	
I-125 (I ⁻)	魚類	イソワタリガニ		Shore crab	<i>Carcinus maenas</i>	26-66 g	全身	1st (36%) 3 2nd (56%) 61	餌	R I 滴下エビ肉 1 回投与 15-17°C	82
						26-66 g	全身	1st (40%) 7 2nd (43%) 72	餌	R I 取り込みエビ肉 1 回投与 15-17°C	
							全身	2nd 15	海水	取2日 排13日 15°C	
							全身	10-18	海水	取2日 排10日 (人工海水)	
I-131 (I ⁻)	魚類	スズキ	メ	Japanese seaperch	<i>Lateolabrax japonicus</i>	430-740 g	筋肉	1st 3 2nd 54	海水	取30日 排30日 20°C	6
						23-70 g	全身	1st (59%) 0.3 2nd (40%) 2	腹腔内注射	排37日 20-23°C	
I-125 (I ⁻)	褐藻	ヒジ	キ	Brown algae	<i>Hizikia fusiforme</i>			10-24	海水	取5日 排25日	84
								11-12	海水	取5日 排25日	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-134	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	筋	2nd 136	海水	取42日 排 360日 10°C	35
						血液	1st 15			
						肝臓	2nd 78			
							1st 7			
							2nd 124			
						骨	1st 12			
							2nd 114			
						筋	2nd 182			
						血液	1st 50			
						肝臓	2nd 161			
	1st 7									
	2nd 165									
Cs-137		ガンギエイの一種	Thornback ray	<i>Raja clavata</i>	80 g	筋	2nd 182	海水	取 112日 排 360日 10°C	35
						血液	1st 50			
						肝臓	2nd 161			
							1st 7			
	2nd 165									
Cs-137		ヒラメの一種	Summer flounder	<i>Paralichthys dentatus</i>	18-49mg	全身	1st (34%) 5	海水	取90日 排44日 22-26°C	36
							2nd (66%) 37			
		ニベの一種	Atlantic croaker	<i>Micropogon undulatus</i>	34-204 g	皮	1st (87%) 6	海水	取30日 排 219日 24-32°C	36

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	魚類	ニベの一種					2nd (10%) 26			36
							3rd (3%) 290			
							1st (35%) 35			
							2nd (61%) 95			
							1st (86%) 13			
							2nd (3%) 911			
							筋肉			
							生殖腺			
							全身			
							全身			
マハゼ			Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	27g	全身	27	海水	取21日 排14日 20-22°C	13
					17g	全身	37	餌	汚染ゴカイ1回投与 排22日 20-22°C	
					25g	全身	33	餌	汚染ゴカイ8回投与 排14日 20-22°C	
					6g	全身	1st (26%) 8	海水	取12日 排51日 15°C	
					303g	全身	1st (1%) 1	海水	取12日 排51日 15°C	
					13g	全身	2nd (99%) 90	海水	取12日 排51日 15°C	
クロソイ			Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	1st (15%) 1	全身	1st (15%) 1	餌	汚染ペレット1回投与 排45日 15°C	8
					2nd (85%) 50	全身	2nd (85%) 50	餌	汚染ペレット1回投与 排45日 15°C	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	魚類	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>	352 g	全身	1st (17%) 2	餌	汚染幼魚1回投与 排50日 15°C	8
							2nd (83%) 55			
							1st (15%) 2			
							2nd (85%) 73			
							1st (10%) 3			
	魚類	ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>	392 g	全身	2nd (90%) 63	海水	取10日 排19日 15°C	8
							1st (3%) 1			
							2nd (97%) 19			
							1st (24%) 3			
							2nd (76%) 28			
原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	150-400 g	全身	1st (29%) 1.6	海水	取8日 排28日 15°C	18	
						2nd (57%) 20				
						1st (58%) 1.7				
						2nd (42%) 14				
					35 g	全身	1st (49%) 4	海水	取8日 排64日 15°C	9

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	原索類	マボヤ					2nd (51%) 15			9
		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>	26g	全身 軟体部	1st (40%) 0.4 2nd (41%) 3 3rd (13%) 15 1st (33%) 0.4 2nd (64%) 3 3rd (3%) 41	餌	汚染プランクトン1回投与 排79日 15°C	9
	棘皮類	キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27g	全身	1st (83%) 3 2nd (17%) 20	海水	取7日 排42日 15°C	19
		キタムラサキ ウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	110g	全身(♂) 性腺(♂) 全身(♀)	2nd 4.5 1st (82%) 2 2nd (18%) 14 1st (24%) 1 2nd (76%) 16 1st (75%) 2	餌 海水	汚染海藻1回投与 排16日 15°C 取10日 排34日 15°C	10

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	棘皮類	キタムラサキウニ				全身(♀)	2nd (25%) 12			10
						性腺(♀)	1st (27%) 2			
		キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	158 g	全身	1st (75%) 2	餌	汚染マコンブ1回投与 排46日 15°C	9
						性腺	2nd (21%) 3			
							3rd (4%) 30			
							1st (91%) 3			
							2nd (9%) 166			
	貝類(二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	全身	1st (24%) 1	海水	取14日 排59日 8°C	11
軟体部						2nd (76%) 22				
							1st (18%) 2			
							2nd (82%) 28			
		ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	168 g	全身	1st (91%) 0.2	餌	汚染プランクトン1回投与 排42日 10°C	9
						2nd (6%) 5				
						3rd (3%) 21				

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類(二枚貝)	ウバガイ				軟体部	1st (88%) 0.1	餌	汚染プランクトン1回投与 排42日 10°C	9
							2nd (10%) 1			
							3rd (2%) 16			
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	1st (63%) 1	海水	取7日 排60日 10°C	10
							2nd (37%) 27			
							1st (71%) 1			
		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	93 g	全身	1st (91%) 0.2	餌	汚染プランクトン1回投与 排44日 10°C	12
							2nd (4%) 7			
							3rd (5%) 15			
		マガキ	Giant Pacific oyster	<i>Crassostrea gigas</i>		軟体部	1st (78%) 0.2			
							2nd (16%) 2			
							3rd (6%) 20			
		マガキ				全身	1st 1	海水	取48日 排300日 10-15°C	55
							2nd 8			

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類(二枚貝)	マガキ				全身	3rd 70			55
						軟体部	1st 10	海水	取48日 排300日 10-15℃	55
							2nd 10			
Cs-134		ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 3.5-4.6cm	全身	1st (51%) < 1	海水 + 餌	取21日 20-5℃	41
							2nd (49%) 8			
							3rd 90			
Cs-137	貝類(巻貝)	セイヨウオオノガイ	Soft-shell clam	<i>Mya arenaria</i>	60-100g	全身	1st (75%) 4	海水	取48日 10-12℃	26
							2nd (25%) 60			
							2nd (67%) 27			
Cs-137	貝類(巻貝)	エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>	34g	全身	1st (33%) 1	海水	取9日 排62日 15℃	11
							2nd (36%) 0.1			
							2nd (57%) 2			
					115g	全身	3rd (7%) 36	餌	汚染マコンプ1回投与 排53日 15℃	9
Cs-137	貝類(巻貝)	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	15g	全身	2nd 30	海水	取18日 排100日 15℃	47
							2nd 10		汚染アラメ1回投与 排55日 15℃	

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	貝類(巻貝)	サザエ	Horned turban	<i>Batillus cornutus</i>	30 g	全身	2 nd 20	海水	取9日 排83日 15°C	47
		ババ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>	30 g	全身	2 nd 10	餌	汚染アラメ1回投与 排86日 15°C	
	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	64 g	全身	2 nd 50	海水	取9日 排83日 15°C	47
		イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	64 g	全身	2 nd 30	餌	汚染貝肉1回投与 排78日 15°C	
	多毛類	マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	802 g	全身	2 nd 10	海水	取6日 排50日 15°C	47
		ヤリイカ	Squid	<i>Doryteuthis bleekeri</i>	323 g	筋肉	2 nd 10	餌	汚染貝肉1回投与 排50日 15°C	
	褐藻	ゴカイ	Polychaete worm	<i>Nereis japonica</i>	0.5 g	全身	2 nd 6-8	海水	取6日 排70日 13°C	37
		マコソブ	Brown algae	<i>Laminaria japonica</i>	長さ 190cm	一部	1 st (28%) 2 nd (72%) 200	海水	取10日 排24日 14°C	
	緑藻	ワカメ		<i>Undaria pinnatifida</i>		切断片	1 st (3%) 0.3 2 nd (97%) 120	海水	取9日 排54日 10°C	10
		ヒバマタ		<i>Fucus vesiculosus</i>			8	海水	取12日 排28日 15°C	
	緑藻	アオサ	Green algae	<i>Ulva lactuca</i>			5	海水	排5-40日 21°C	73
		アオサ	Green algae	<i>Ulva lactuca</i>				海水	排5-40日 21°C	

核種	分類	種類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Cs-137	緑藻	藻	ミルの一	Green algae	<i>Codium decorticatum</i>			15	海水	排5-40日 21°C	73
			チシマクロノリ	Red algae	<i>Porphyra umbilicalis</i>			3	海水	排5-40日 21°C	
	紅藻	藻	ツノマタの一		<i>Chondrus crispus</i>			2	海水	排5-40日 21°C	
			オゴノリの一		<i>Gracilaria foliifera</i>		12	海水	排5-40日 21°C		
Ce-144 (塩化物)	植物	プランクトン	テトラセルミス	Phytoplankton	<i>Tetraselmis tetrahele</i>			1st (98%) 2nd (2%)	海水	取6日 排14日 20°C	12
			シオミズ	Zooplankton	<i>Brachionus plicatilis</i>	3 μg	全身	0.9	海水	取6日 排11日 20°C	
			イシダイ	Striped beakperch	<i>Oplegnathus fasciatus</i>		肝臓	85	海水	取106日 排56日 18°C	
Hg-203 (塩化物)	魚類	魚類	ツノガレイの一	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	40-45g	全身	187	海水		85
			ガンギエイの一	Thornback ray	<i>Raja clavata</i>	15-20g	全身	277	海水		
	貝類	(二枚貝)	ムラサキイガイ	Common blue mussel	<i>Mytilus edulis</i>	殻長 2-4 cm	軟体部	293	海水	取90日 排35-40日 14-18°C 野外実験 安定元素分析	87
			ニシキウズの一	Zebra winkle	<i>Austrocochlea constricta</i>		全身	18	海水	取40日(無投餌)	
U-235 UO ₂ (NO ₃) ₂ •6H ₂ O	貝類	(巻貝)					全身	14	(5.0mg U/l)	取り込みカーブより推定	14

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的 半減期(日)	実験法	条件	文献	
U-235 UO ₂ (NO ₃) ₂ •6H ₂ O	貝類(巻貝)	ニシキウズの一種				全身	8	(10, 0ng U/l)		14	
		ニシキウズの一種	Zebra winkle	<i>Austrocochlea constricta</i>		全身	13	海水 (0.7, 0ng U/l)	取40日(投餌) 取り込みカーブより推定	14	
	甲殻類	イワガニの一種	Crab		<i>Pachygrapsus laevimanus</i>		全身	10	(5, 0ng U/l)	取40日(無投餌) 取り込みカーブより推定	14
							全身	37	(10, 0ng U/l)		
							全身	22	海水 (0.7, 0ng U/l)		
		全身	24	(5, 0ng U/l)	取40日(投餌) 取り込みカーブより推定	14					
			全身	29			(10, 0ng U/l)				
			全身	7			海水 (0.7, 0ng U/l)				
	Pu-237	棘皮類	イワガニの一種	Crab	<i>Pachygrapsus laevimanus</i>		全身	8	(5, 0ng U/l)	取20日	13°C
							全身	9	(10, 0ng U/l)		
全身							1st 4	海水			
全身							2nd 130				
貝類(二枚貝)	クモヒトデの一種	Ophiuroid starfish		<i>Ophiura texturata</i>	3-5g	全身	1st <1	海水	取20日	13°C	
						全身	2nd 410				
						全身	1st 7				取20日

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献
Pu-237	貝類(二枚貝)	アサリの一種				全身	2nd 62			88
Pu-237(+4)		イガイの一種	Mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	5.4 g	全身	1st 2 2nd 10 3rd 193	海水	取28日(13℃)排362日 13-23℃ 排出実験は野外で	89
Pu-237(+6)		イガイの一種	Mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	5.4 g	全身	1st 1 2nd 13 3rd 192	海水	取28日(13℃)排362日 13-23℃ 排出実験は野外で	89
Pu-237(+4)		イガイの一種	Mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>		全身	2nd 39	海水+餌	取7日 排39日 21℃	90
Pu-237(+6)		イガイの一種	Mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>		全身	1st (35%) 7 2nd (65%) 776	海水	取30日 排 178日 13℃	90
Pu-237(+6)		甲殻類	モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>		全身	2nd 42	海水	取30日 排28日
Pu-237(+4)		ヨーロッパロブスター	European lobster	<i>Homarus gammarus</i>		全身	26	餌	汚染イガイ肉1回投与 10℃	74
		スナホリムシの一種	Marine isopod	<i>Cirrolana borealis</i>	0.3 g	全身	1st 1 2nd 60	餌	汚染シルト1回投与 10℃	38

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Pu-237 (+5)	甲殻類	スナホリムシの一種	Marine isopod	<i>Cirrolana borealis</i>	0.3 g	全身	1st 2	海水	取21日	13°C	38
							2nd 87				
Pu-237 (+6)	多毛類	ゴカイの一種	Polychaete worm	<i>Nereis diversicolor</i>	0.4-0.5 g	全身	2nd 79	海水	取8日 排35日	90	
							1st (99.5%) 1				
Am-241	魚類	ハタの一種	Comber	<i>Serranus scriba</i>	21-45 g	全身	2nd (0.5%) 53	餌	汚染ゴカイ1回投与 排35-70日	9-14°C	91
							1st (97%) 1				
	棘皮類	フサカサゴの一種	Small red scorpionfish	<i>Scorpaena notata</i>	5-18 g	全身	2nd (1%) 23	餌	汚染ゴカイ1回投与 排35-70日	9-14°C	91
							1st 6				
	棘皮類	マナマコの一種	Sea cucumber	<i>Stichopus regalis</i>	20-30 g	全身	1st 68	海水	取20日	13°C	88
							2nd <1				
	貝類(二枚貝)	クモヒトデの一種	Ophiuroid starfish	<i>Ophiura texturata</i>	3-5 g	全身	1st 313	海水	取20日	13°C	88
							2nd 6				
	貝類(二枚貝)	アサリの一種	Clam	<i>Tapes decussatus</i>	4-5 g	全身	1st 80	海水	取20日 排2-3カ月	13°C	88
							2nd 11				
	貝類(二枚貝)	イガイの一種	Mussel	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	5.4 g	全身	1st 22	海水	取28日 排362日	13-23°C	89
							2nd 11				

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	部位	生物学的半減期(日)	実験法	条件	文献	
Am-241	貝類(二枚貝)	イガイの一種				全身	3rd 480			89	
	頭足類	マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	80-400 g	全身	1st (10%) 1-2	海水	取22日	92	
							2nd (90%) 680				
					80-400 g	全身	1st 17 2nd 160	餌	汚染カニ1回投与		
Am-241(+3)	甲殻類	スナホリムシの一種	Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>	0.3 g	全身	1st 4 2nd 261	海水	取21日	13°C	38
	植物 プランクトン	ケイ藻の一種	Phytoplankton	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	102pg		1st 0.3	海水	取5時間	17°C	93
2nd (40%) 11											
1st 1 2nd (70%) 13											
Cm-242	貝類(二枚貝)	アサリの一種	Clam	<i>Tapes decussatus</i>	4-5 g	全身	1st 7	海水	取20日	排2-3カ月 13°C	88
							2nd 53				
Cf-252(+3)	甲殻類	スナホリムシの一種	Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>	0.3 g	全身	1st 4	海水	取21日	13°C	38
							2nd 288				

5-4. 消化吸収率

表5-4-1. 消化管吸収率一覧表 (Absorption rate (%))

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条件	文献
V-48	魚類	ハゼの一種	Goby	<i>Gobius minutus</i>		4 g	2-3	汚染アルテミア1回投与後2日目の残存% 13°C	39
	甲殻類	イソワタリガニ	Shore crab	<i>Carcinus maenas</i>		16 g	25	汚染イガイ肉1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿 13°C	40
		モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>		1 g	38	汚染アルテミア1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿 13°C	
Mn-54 (塩化物)	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>			40	汚染ゴカイ1回投与後4日目の残存% R I 添加薬粉1回投与後4日目の残存% R I 添加ゼラチン1回投与後4日目の残存% R I 添加ゼラチン1回投与後4日目の残存% 14	44
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>			52	汚染ゴカイ1回投与後1日目の残存% 汚染ゴカイ1回投与後1日目の残存% 汚染ゴカイ1回投与後1日目の残存% 66	
		ドロメ	Gluttonous goby	<i>Chasmichthys gulosus</i>					
		メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>		2-10 g	5-20	汚染アルテミア1回投与後1-2日目の残存% 汚染砂1回投与後1-2日目の残存% 20	
Fe-59 (塩化物)	棘皮類	イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>		84-290 g	20	汚染アルテミア1回投与後1-2日目の残存% 汚染海藻1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿 15°C 汚染サリ肉1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿 15°C	19
		キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>		27 g	32-34	汚染アルテミア1回投与後1日目の残存% 10°C	47
		ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>		151 g	22	汚染プラシクトン1回投与後1日目の残存% 10°C	
Fe-59 (塩化物)	魚類	ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>		65 g	19	汚染プラシクトン1回投与後1日目の残存% 10°C	49
		ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>		30 g	32	汚染ゴカイ1回投与後4日目の残存% 10°C	

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条件	文献
Fe-59 (塩化物)	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	35	R I 添加澱粉カプセル1回投与後4日目の残存%	4	49
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	84-290 g	11	汚染ゴカイ1回投与後1日目の残存%	48	
Co-58 (塩化物)	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	4	汚染ゴカイ1回投与後4日目の残存%	10℃	49
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	84-290 g	3	汚染砂1回投与後1-2日目の残存%	17	
Co-60 (塩化物)	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>	30 g	4	汚染ゴカイ1回投与後4日目の残存%	10℃	49
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	84-290 g	4	汚染ゴカイ1回投与後4日目の残存%	94	
Co-60 (塩化物)	魚類	マコガレイ	Marbled sole	<i>Limanda yokohamae</i>	120 g	4-10	R I 添加澱粉1回投与後1-2日目の残存%	6	6
		イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	170 g	16	R I 添加澱粉1回投与後1-2日目の残存%	95	
		メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>	2-10 g	3-16	汚染アルテミア1回投与後1-2日目の残存%	95	
		ドロメ	Gluttonous goby	<i>Chasmichthys gulosus</i>	84-290 g	20	汚染砂1回投与後1-2日目の残存%	17	
		イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	27 g	43	汚染アオサ1回投与後15℃排出の運び成分を0日目に外挿	19	
		キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	43	汚染アオサ1回投与後15℃排出の運び成分を0日目に外挿	19	

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条件	文献						
Co-60 (塩化物)	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	汚染アラメ1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿	11	15°C	19						
						汚染ツノマタ1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿	17	15°C							
						汚染アサリ肉1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿	55	15°C							
Co-57 (塩化物)	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	汚染ブラントン1回投与後1日目の残存%	43	10°C	47						
						汚染ブラントン1回投与後1日目の残存%	70	10°C							
						汚染アラメ1回投与後1日目の残存%	70	15°C							
	貝類 (巻貝)	ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>	65 g	汚染アラメ1回投与後1日目の残存%	66	15°C							
						汚染アラメ1回投与後1日目の残存%	43	15°C							
						汚染ワビ内臓1回投与後1日目の残存%	43	15°C							
Co-60 (塩化物)		クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>	190 g	汚染アオサ1回投与後3-4日目の残存%	52	15°C	27						
						汚染アラメ1回投与後3-4日目の残存%	40	15°C							
						汚染ツノマタ1回投与後3-4日目の残存%	44	15°C							
						Co-57 (シ7/コ57 シ)	クロアワビ	Disk abalone		<i>Haliotis discus discus</i>	190 g	汚染アオサ1回投与後3-4日目の残存%	84	15°C	27
												汚染アラメ1回投与後3-4日目の残存%	97	15°C	
												汚染ツノマタ1回投与後3-4日目の残存%	83	15°C	
Co-57 (塩化物)	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>	54 g	汚染アラメ1回投与後1日目の残存%	73	15°C	47						

核種	分類	和名	英名	学名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条件	文献
Co-60 (塩化物)	頭足類	マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>	1000 g	80	汚染肉1回投与後3日目の残存% 20℃	60
	魚類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>		10	汚染ゴカイ1回投与後4日目の残存% 汚染エビジャコ1回投与後4日目の残存% 汚染イガイ肉1回投与後4日目の残存% R1添加藻粉カプセル1回投与後4日目の残存% R1添加ゼラチンカプセル1回投与後4日目の残存%	42
Zn-65 (塩化物)		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>		18	汚染ゴカイ投与	64
		チダイ	Crimson sea bream	<i>Eymnis japonica</i>	70-100 g	7-60	R1添加藻粉カプセル1回投与後1-2日目の残存%	6
		イシガレイ	Stone flounder	<i>Kareius bicoloratus</i>	84-290 g	24-80	R1添加配合飼料1回投与後1-2日目の残存%	17
棘皮類		キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	27 g	81	汚染アサ1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿 15℃	19
						67	汚染アラメ1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿 15℃	
						41	汚染ツノマタ1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿 15℃	
						89	汚染アサリ肉1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿 15℃	
貝類 (二枚貝)		ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>	151 g	41	汚染プランクトン1回投与後1日目の残存% 10℃	47

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条件	文献
Zn-65 (塩化物)	貝類 (二枚貝)	ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>		65 g	91	汚染プランクトン1回投与後1日目の残存% 10°C	47
		サザエ	Horned turban	<i>Batillus cornutus</i>		30 g	78	汚染アラメ1回投与後1日目の残存% 15°C	
	頭足類	クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>		15 g	97	汚染アラメ1回投与後1日目の残存% 15°C	
		バブイ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>		64 g	60	汚染アワビ内臓1回投与後1日目の残存% 15°C	
Sr-85 (塩化物)	魚類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>		54 g	56	汚染アワビ内臓1回投与後1日目の残存% 15°C	30
		マダコ	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>		1270 g	43	汚染貝肉1回投与後1日目の残存% 15°C	
	腔腸動物	イソギンチャク の一種	Sea anemone	<i>Anemonia viridis</i>			50	汚染イガイ肉1回投与後1日目の残存% 13°C	72
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>		320 g	5	R1添加臓粉カプセル1回投与後1-2日目の残存%	6
魚類	メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>		10 g	6	汚染貝肉1回投与後1-2日目の残存%		
	ブリ	Yellowtail	<i>Seriola quinqueradiata</i>		70-80 g	7	汚染貝肉1回投与後1-2日目の残存%		
Tc-95m (TcO ₂)	魚類	スズキの一種	European seabass	<i>Dicentrarchus labrax</i>			22	汚染ゴカイ18日間連続投与後の残存%	75
		ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>			3-10	汚染ゴカイ1回投与後の残存% 10°C	74
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>			15-33	汚染海藻1回投与後7日目の残存% 15°C	7
		バフンウニ	Sea urchin	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>			16-30	汚染海藻1回投与後7日目の残存% 15°C	
貝類 (巻貝)	アカネアワビ	Red abalone	<i>Haliotis rufescens</i>		14-23 g	-45	汚染海藻1回投与 16°C	32	

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条	件	文献
Tc-95m (+7)	甲殻類	モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>			26	Tc (+7) 汚染アルテミア1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿	77	
Tc-95m (+4)		モエビの一種	Shrimp	<i>Lysmata seticaudata</i>			79	Tc (+4) 汚染アルテミア1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿		
	魚類	ヨーロッパアンロブスター	European lobster	<i>Homarus gammarus</i>			80	汚染エビ1回投与	74	
Ru-103 (ニトロソニトシ錯体)		クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegelii</i>		13g	24	RI添加ペレット1回投与後2日目の残存%	8	
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>		352g	47	RI注射幼魚1回投与後2日目の残存%		
						15g	40	RI添加ペレット1回投与後2日目の残存%	8	
					405g	36	RI注射幼魚1回投与後2日目の残存%			
Ru-106		ニシンの一種	Atlantic menhaden	<i>Brevoortia tyrannus</i>			1	汚染プランクトン1回投与	96	
Ru-106 (ニトロソニトシ錯体)	原索類	ツノガレイの一種	Plaice	<i>Pleuronectes platessa</i>		20-30g	29-51	汚染エビ肉1回投与 非吸収性指標物質を餌にまぜて推定	97	
		マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>		13g	5	汚染ゴカイ1回投与後1日目の残存%		
Ru-106 (塩化物)	原索類	マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>		13g	5	汚染ゴカイ1回投与後1日目の残存%	98	
		マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>		26g	25	汚染プランクトン1回投与後2日目の残存%		
Ru-103 (ニトロソニトシ錯体)	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>		158g	0.5	汚染マコソブ1回投与 排出の遅い成分を0日目に外挿	47	
	貝類 (二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>		151g	30	汚染プランクトン1回投与後1日目の残存%		
			ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>		65g	73	汚染プランクトン1回投与後1日目の残存%	10°C

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条	件	文献
Ru-103 (ニトロソホルミト 錯体)	貝類 (巻貝)	サザエ	Horned turban	<i>Batillus cornutus</i>		30 g	88	汚染アラム1回投与後1日目の残存%	15℃	47
		クロアワビ	Disk abalone	<i>Haliotis discus discus</i>		15 g	43	汚染アラム1回投与後1日目の残存%	15℃	
		ババ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>		64 g	57	汚染アワビ内臓1回投与後1日目の残存%	15℃	
		エゾアワビ	Ezo abalone	<i>Haliotis discus hannai</i>		115 g	77	汚染コンブ1回投与後の2日目の残存%	15℃	9
Cd-109	頭足類	イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>		54 g	45	汚染アワビ内臓1回投与後1日目の残存%	15℃	47
		スジエビの一種	Shrimp	<i>Palaeomon serratus</i>		2-10 g	46-62	汚染餌(糠, 餌, 小糠粉) 1回投与 14℃ 非吸収性物質を餌にまぜて推定	14℃	97
I-131 (NaI)	腔腸動物	イソギンチャク の一種	Sea anemone	<i>Anemonia viridis</i>			25	汚染イガイ肉1回投与後1日目の残存%	13℃	72
		メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>		40 g	20	RI添加澱粉1回投与後1-2日目の残存%		6
Cs-137 (塩化物)	魚類	クロソイ	Kurosoi rockfish	<i>Sebastes schlegeli</i>		13 g	83	RI添加ペレット1回投与後2日目の残存%	15℃	8
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>		352 g	82	RI注射幼魚1回投与後2日目の残存%	15℃	
		ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>		15 g	92	RI添加ペレット1回投与後2日目の残存%	15℃	8
		メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>		405 g	78	RI注射幼魚1回投与後2日目の残存%	15℃	
Cs-137 (塩化物)	魚類	ヒラメ	Japanese flounder	<i>Paralichthys olivaceus</i>		400 g	58	RI添加澱粉1回投与後1-2日目の残存%		6
		メジナ	Largescale blackfish	<i>Girella punctata</i>		5-10 g	50	RI添加ペレット1回投与後1-2日目の残存%		

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸取率 (%)	条	件	文献
Cs-137 (塩化物)	魚類	マハゼ	Yellowfin goby	<i>Acanthogobius flavimanus</i>		17g	80	汚染ゴカイ1回投与後3日目の残存%		13
	原索類	マボヤ	Sea squirt	<i>Halocynthia roretzi</i>		26g	44	汚染プランクトン1回投与後2日目の残存%	15°C	9
	棘皮類	キタムラサキウニ	Northern sea urchin	<i>Strongylocentrotus nudus</i>		27g	48-59	汚染海藻1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿		19
	貝類(二枚貝)	ウバガイ	Japanese surf clam	<i>Spisula sachalinensis</i>		151g	8	汚染プランクトン1回投与後1日目の残存%	10°C	47
貝類(巻貝)		ホタテガイ	Yesso scallop	<i>Patinopecten yessoensis</i>		65g	20	汚染プランクトン1回投与後1日目の残存%	10°C	
			サザエ	Horned turban	<i>Batillus cornutus</i>		30g	6	汚染アラメ1回投与後1日目の残存%	15°C
頭足類		クロアワビ	Disk abalone	<i>Halqitis discus discus</i>		15g	6	汚染アラメ1回投与後1日目の残存%	15°C	
Ce-144 (塩化物)	魚類	バ	Japanese babylon	<i>Babylonia japonica</i>		64g	23	汚染アワビ内臓1回投与後1日目の残存%	15°C	6
		イイダコ	Octopus	<i>Octopus ocellatus</i>		54g	45	汚染アワビ内臓1回投与後1日目の残存%	15°C	
Pu-237	甲殻類	ホウボウ	Bluefin searobin	<i>Chelidonichthys spinosus</i>		10g	2	汚染幼魚1回投与後1-2日目の残存%		74
		ヨーロッパアンロブスター	European lobster	<i>Homarus gammarus</i>			15	汚染イガイ肉1回投与後17-19日目の残存%	10°C	
Am-241	魚類	ハタの一種	Comber	<i>Serranus scriba</i>		20-45g	0.5	汚染ゴカイ1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿	9-14°C	91
		フサカサゴの一種	Scorpionfish	<i>Scorpaena notata</i>		5-18g	1	汚染ゴカイ1回投与排出の遅い成分を0日目に外挿	9-14°C	

核種	分類	和名	英名	学名	名	サイズ	消化管吸収率 (%)	条件	文献
Am-241	甲殻類	オキアミの一種	Euphausiid	<i>Meganocytiphanes norvegica</i>		0.1-0.2g	3	汚染プランクトン1回投与後4日目 の残存%	99
		スナホリムシの一種	Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>		0.3g	< 5	²⁴¹ Am (Ⅲ) 汚染貝肉・魚肉投与	
Cf-252 (Ⅲ)	甲殻類	スナホリムシの一種	Marine isopod	<i>Cirolana borealis</i>		0.3g	< 5	²⁵² Cf (Ⅲ) 汚染貝肉・魚肉投与	38

(中原 元和)

参考文献

1. K. Ikuta and M. Nakahara : Uptake, retention and excretion of ^{54}Mn by a Perry Whelk *Volutharpa ampullacea perryi.*, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52, 1853-1859(1986).
2. M. Nakahara, S. Hirano, T. Ishii and T. Koyanagi : Accumulation and excretion of cobalt-60 taken up from seawater by marine fishes., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 45, 1423-1428(1979).
3. M. Shimizu, T. Kajihara and Y. Hiyama : Uptake of ^{60}Co by marine animals ; Records of Oceanographic Works in Japan, Vol.10, No.2, 137-145 (1970).
4. Y. Kimura, Y. Honda and K. Katsurayama : Comparative uptake and elimination of radiocobalt in organic complexed and ionic forms by mussel *Mytilisepta virgatus.*, J. Radiat. Res., 20, 291-306(1979).
5. M. Shimizu, T. Kajihara, I. Suyama and Y. Hiyama : Uptake of ^{58}Co by mussel, *Mytilus edulis*, Journal of Radiation Research, 12, 17-28(1971).
6. 佐伯誠道他 : 海洋放射能調査研究報告書 — 放射性核種の高産生物への移行に関する研究ならびに水産食品消費の実態調査 — , 放医研NIRS-R-3(1974).
7. 中村良一, 中原元和, 松葉満江, 鈴木 譲 : 海藻およびウニによる $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の蓄積, 特別研究「環境と食物連鎖に係わる公衆の被曝評価に関する調査研究」最終報告書, 放医研 NIRS-R-25, 14-18(1994).
8. Y. Suzuki, K. Nakamura, R. Nakamura, M. Nakahara, T. Ishii, M. Matsuba and Y. Nagaya : Radioecological studies in the marine environment, Proceedings of International Conference on Radiation Effects and Protection, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo, 484-491(1992).
9. 海洋環境放射能総合評価事業成果報告書 — 海産生物放射能影響評価調査 — 平成2年度青森県事業成果報告書 (1991) .
10. 海洋環境放射能総合評価事業成果報告書 — 海産生物放射能影響評価調査 — 昭和62年度青森県事業成果報告書 (1988) .
11. 海洋環境放射能総合評価事業成果報告書 — 海産生物放射能影響評価調査 — 昭和63年度青森県事業成果報告書 (1989) .
12. 海洋環境放射能総合評価事業成果報告書 — 海産生物放射能影響評価調査 — 平成元年度青森県事業成果報告書 (1990) .
13. K. Kimura : Accumulation and retention of cesium-137 by the common goby., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 50, 481-487(1984).
14. M. Ahsanullah and A. R. Williams : Kinetics of uranium uptake by the crab

- Pachygrapsus laevimanus* and the zebra winkle *Austrocochlea constricta.*, Marine Biology, 101, 323-327(1989).
15. J. P. Baptist, D. E. Hoss and C. W. Lewis : Retention of ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{86}Sr , ^{90}Nb , $^{111\text{m}}\text{In}$ and ^{131}I by the atlantic croaker (*Micropogon undulatus*), Health Physics, 18, 141-148(1970).
 16. B. Peternac and T. Legovic : Uptake, distribution and loss of Cr in the crab *Xantho hydrophilus*, Marine Biology, 91, 467-471(1986).
 17. T. Koyanagi, M. Nakahara and M. Iimura : Absorption of sediment-bound radionuclides through the digestive tract of marine demersal fishes., J. Radiat. Res., 19, 295-305 (1978).
 18. 岩田仲弘, 中原元和, 石井紀明, 小柳卓 : マボヤによる放射性核種の取り込みと排出, 電力中央研究所報告 : U87038, (1988).
 19. R. Nakamura, M. Nakahara, Y. Suzuki and T. Ueda : Relative importance of food and water in the accumulation of radionuclides by sea urchin *Strongylocentrotus nudus.*, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52, 703-710(1986).
 20. Y. Tateda and T. Koyanagi : Accumulation of radionuclides by common mussel *Mytilus edulis* and purplish bifurcate mussel *Septifer virgatus*, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52, 2019-2026(1986).
 21. K. Ikuta and M. Nakahara : Radiomanganese distribution to female and male of *Haliotis discus* at the post-spawning stage., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52, 1089-1094(1984).
 22. T. Koyanagi, M. Nakahara, M. Matsuba and S. Hirano : Metabolism of radionuclides in a cephalopod, Iidako, *Octopus ocellatus.*, J. Radiat. Res., 23, 105-118(1982).
 23. Y. Tateda, M. Nakahara and T. Koyanagi : Accumulation of Iron-59 in marine animals from different uptake route., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 50, 89-93(1984).
 24. M. L. Young : The transfer of ^{65}Zn and ^{59}Fe along a *Fucus serratus*(L.)→*Littorina obtusata*(L.) food chain., J. Mar. biol. Ass. U. K., 55, 583-610(1975).
 25. C. V. Nolan, S. W. Fowler and J-L. Teyssie : Cobalt speciation and bioavailability in marine organisms., Mar. Ecol. Prog. Ser., 88, 105-116(1992).
 26. F. L. Harrison : Accumulation and loss of cobalt and caesium by the marine clam, *Mya arenaria*, under laboratory and field conditions., IAEA-SM-158/28, "Radioactive Contamination of the Marine Environment", Proc. of a symposium, Seattle, IAEA, Vienna, 453-478(1973).

27. R. Nakamura, M. Nakahara, Y. Suzuki and T. Ueda : Effects of chemical forms and intake pathways on the accumulation of radioactive cobalt by the abalone *Haliotis discus*., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1639-1644(1982).
28. R. Nakamura, Y. Suzuki and T. Ueda : Influence of marine sediment on the accumulation of radionuclides by green alga (*Ulva pertusa*)., J. Radiat. Res., 16, 224-236(1975).
29. J. N. Willis and N. Y. Jones : The use of uniform labeling with Zinc-65 to measure stable zinc turnover in the mosquito fish, *Gambusia affinis* - I. retention., Health Physics, 32, 381-387(1977).
30. T. Ueda, M. Nakahara, R. Nakamura, Y. Suzuki and C. Shimizu : Accumulation of ^{65}Zn by octopus *Octopus vulgaris*., J. Radiat. Res., 26, 313-320(1985).
31. Y. Suzuki, M. Nakahara and T. Ueda : Accumulation and excretion of ^{90}Zr and ^{95}Nb by common goby(*Acanthogobius flavimanus*)., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 45, 1293-1298 (1979).
32. T. M. Beasley, H. V. Lorz and J. J. Gonor : Biokinetic behaviour of technetium in the red abalone *Haliotis rufescens* : A re-assessment., Health Physics, 43, 501-507 (1982).
33. A. Conversi : Uptake and loss of technetium-95m in the crab *Pachygrapsus marmoratus*., J. Environ. Radioactivity, 2, 161-170(1985).
34. K. Kimura : Accumulation and retention of Antimony-125 in the short-necked clam., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52, 531-537 (1986).
35. D. F. Jefferies and C. J. Hewett : The accumulation and excretion of radioactive caesium by the plaice(*Pleuronectes platessa*) and the thornback ray (*Raja clavata*)., J. Mar. Biol. Ass. U. K., 51, 411-422(1971).
36. J. P. Baptist and T. J. Price : Accumulation and retention of cesium-137 by marine fishes., Fish. Bull. Fish Wildlife Serv. U. S., 62, 177-187(1962).
37. Y. Suzuki, M. Nakahara and R. Nakamura : Accumulation of cesium-137 by useful mollusca., Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 44, 325-329(1978).
38. F. P. Carvalho and S. W. Fowler : Biokinetics of plutonium, americium and californium in the marine isopod *Cirolana borealis*, with observations on its feeding and molting behaviour, Marine Biology, 89, 173-181(1985).
39. P. Miramand, S. W. Fowler and J. C. Guary : Experimental study on vanadium transfer in the benthic fish *Gobius minutus*., Marine Biology, 114, 349-353(1992).

40. P. Miramand, J. C. Guary and S. W. Fowler : Uptake, assimilation, and excretion of vanadium in the shrimp, *Lysmata seticaudata* (Risso), and the crab, *Carcinus maenas* (L.), J. exp. mar. Biol. Ecol., 49, 267-287(1981).
41. H. Dahlgaard : Loss of ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{59}Fe , ^{65}Zn and ^{134}Cs by the mussel *Mytilus edulis*, IAEA-SM-248/106, "Impacts of Radionuclide Releases into the Marine Environment", Proc. of a symposium, IAEA, Vienna, 361-370(1981).
42. R. J. Pentreath : The roles of food and water in the accumulation of radionuclides by marine teleost and elasmobranch fish., IAEA-SM-158/26, "Radioactive Contamination of the Marine Environment", Proc. of a symposium, Seattle, IAEA, Vienna, 421-436(1973).
43. R. J. Pentreath : The accumulation and retention of ^{65}Zn and ^{54}Mn by the plaice, *Pleuronectes platessa* (L.), J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 12, 1-18(1976).
44. 木村健一, 市川龍資 : 海産生物への放射性核種の転移の研究, 文部省科学研究報告書 (原子力平和利用に伴う環境放射能の影響と環境保全に関する研究), 19-22(1974).
45. H. Dahlgaard : RISOE-R-443, Riso National Laboratory, Denmark, 134(1981).
46. R. J. Pentreath : The accumulation from water of ^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{58}Co and ^{59}Fe by the mussel, *Mytilus edulis*, J. Mar. Biol. Ass. U. K., 53, 127-143(1973).
47. 中原元和 : 海洋生物の放射性元素濃縮と食物連鎖, 放医研環境セミナーシリーズNo.20「環境と公衆の安全のためのアプローチ — 放射性核種の生態系移行・代謝・線量推定 — 」, 放医研 NIRS-M-93, 13-22(1993).
48. 市川龍資・木村健一 : 被曝線量の推定のモデル化と評価に関する研究 — 海産魚への ^{59}Fe の蓄積および排泄について, 文部省科学研究報告書 (放出放射能の環境汚染と被曝評価に関する研究), 64-67(1980).
49. R. J. Pentreath : The accumulation and retention of ^{59}Fe and ^{58}Co by the plaice, *Pleuronectes platessa* L., J. exp. mar. Biol. Ecol., 12, 315-326(1973).
50. 小柳卓 : 魚類による放射性核種の代謝, 第8回放医研環境セミナー「海洋における生物濃縮とそれに影響をおよぼす因子」報文集, 放医研 NIRS-M-39, 72-88(1980).
51. T. Ueda and M. Nakahara : Accumulation of Co by marine fish, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 49, 651-654(1983).
52. 中原元和・中村良一・鈴木譲・上田泰司 : 海産生物の放射能汚染海水との接触時間とその後の除染状況との関係, 特別研究「原子力施設等に起因する環境放射線被曝に関する調査研究」最終報告書, 放医研 NIRS-M-49, 17-20(1984).
53. A. W. van Weers : Uptake and loss of ^{65}Zn and ^{60}Co by the mussel *Mytilus edulis* L., IAEA-SM-158/24 "Radioactive Contamination of the Marine Environment", Proc. of a

- symposium, Seattle, IAEA, Vienna, 385-401(1973).
54. F. P. Carvalho : Comparative uptake from sea water and tissue distribution of ^{60}Co in marine mollusks., Health Physics, 53, 73-81(1987).
 55. G. Cranmore and F. L. Harrison : Loss of ^{137}Cs and ^{60}Co from the oyster *Crassostrea gigas*., Health Physics, 28, 319-333(1975).
 56. T. Ueda, Y. Suzuki, R. Nakamura and M. Nakahara : Accumulation of Co by bivalve *Tridacna crocea*., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1293-1297(1982).
 57. T. Ueda, Y. Suzuki, R. Nakamura and M. Nakahara : Accumulation of Co by several species of marine bivalves., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 993-997(1982).
 58. Y. Suzuki, M. Nakahara, R. Nakamura and T. Ueda : Uptake and excretion of cobalt by sea cucumber *Stichopus japonicus* and prawn *Penaeus japonicus*., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1495-1500(1982).
 59. M. Nakahara, T. Koyanagi, T. Ueda and C. Shimizu : Uptake and excretion of cobalt-60 taken up from seawater by *Octopus vulgaris*., Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1739-1744(1982).
 60. 中原元和 : 頭足類のCo濃縮, 第8回放医研環境セミナー報文集, NIRS-M-39, 192-206(1978).
 61. A. W. van Weers : Uptake of cobalt-60 from sea water and from labelled food by the common shrimp *Crangon crangon* (L.), IAEA-SM-198/44, "Impacts of Nuclear Releases into the Aquatic Environment", Proc. of a symposium, Otaniemi, IAEA, Vienna, 349-361 (1975).
 62. T. Ueda, R. Nakamura and Y. Suzuki : Comparison of influences of sediments and sea water on accumulation of radionuclides by worms., J. Radiat. Res., 18, 84-92(1977).
 63. M. Nakahara, T. Koyanagi and M. Saiki : Concentration of radioactive cobalt by seaweeds in the food chain., IAEA-SM-198/20, "Impacts of Nuclear Releases into the Aquatic Environment", Proc. of a symposium, Otaniemi, IAEA, Vienna, 301-312(1975).
 64. K. Kimura and R. Ichikawa : Accumulation and elimination of ingested ^{65}Zn by common goby., 放医研, NIRS-20, Annual Report, 75-76(1980).
 65. A. H. Seymour : Accumulation and loss of zinc-65 by oysters in a natural environment., IAEA-SM-72/8, "Disposal of Radioactive Waters into Seas, Oceans and Surface Waters", Proc. of a symposium, IAEA, Vienna, 605-619(1966).
 66. D. R. Young and T. R. Folsom : Loss of ^{65}Zn from the California sea-mussel *Mytilus californianus*., Biol. Bull. mar. biol. Lab., Woods Hole, 133, 438-447(1967).
 67. J. Mishima and E. P. Odum : Excretion rate of ^{65}Zn by *Littorina irrorata* in relation

- to temperature and body size., *Limnol. Oceanogr.*, 8, 39-44(1963).
68. S. W. Fowler, L. F. Small and J. M. Dean : Experimental studies on elimination of zinc-65, cesium-137 and cerium-144 by euphausiids., *Mar. Biol.*, 8, 224-231(1971).
 69. F. A. Cross, J. M. Dean and C. L. Ostreberg : The effect of temperature, sediment and feeding on the behaviour of four radionuclides in a marine benthic amphipod., in "Symposium on Radioecology" (Ed. D. J. Nelson and F. C. Evans) 450-461(1969). USAEC, CONF-670503.
 70. G. W. Bryan, L. G. Hummerstone and E. Ward : Zinc regulation in the lobster *Homarus gammarus* : Importance of different pathways of absorption and excretion., *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 66, 175-199(1986).
 71. W. C. Renfro : Transfer of ^{65}Zn from sediments by marine polychaete worms., *Marine Biology*, 21, 305-316(1973).
 72. A. D. Harland, G. W. Bryan and B. E. Brown : Zinc and cadmium absorption in the symbiotic anemone *Anemonia viridis* and the non-symbiotic anemone *Actinia equina.*, *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 70, 789-802(1990).
 73. J. Gutknecht : Uptake and retention of cesium-137 and zinc-65 by seaweeds., *Limnol. Oceanog.*, 10, 58-66(1965).
 74. R. J. Pentreath : The biological availability to marine organisms of transuranium and other long-lived nuclides., IAEA-SM-248/102, "Impacts of Radionuclide Releases into the Marine Environment" Proc. of a symposium, IAEA, Vienna, 241-272(1981).
 75. E. H. Schulte, P. Scoppa and A. Secondini : Comportamento del tecnezio nell'ambiente marino : mobilita' dell'anione pertecnetato. in : IV Convegno Nazionale sulla Attivita di Ricerca nei Settori della Radiochimica e della Chimica Nucleare, delle Radiazioni e dei Radioelementi (Ed. U. Casellato and P. A. Vigato), Padova, Litografia La Photograph, pp.185-194(1982).
 76. R. J. Pentreath : in Biogeochemical studies of technetium in marine and estuarine ecosystems., Report DOE/EV-10251-3, Washington, DC, US Department of Energy, (1981).
 77. S. W. Fowler, G. Benayoun, P. Parsi and M. W. A. Essa : Experimental studies on the bioavailability of technetium in selected marine organisms, IAEA-SM-248/113, "Impacts of Radionuclide Releases into the Marine Environment" Proc. of a symposium, IAEA Vienna, 319-339(1981).
 78. R. B. Spies : Uptake of technetium from seawater by red abalone *Haliotis rufescens.*, *Health Physics*, 29, 695-699, (1975).

79. D. J. Swift : The accumulation of ^{99m}Tc from sea water by juvenile lobster(*Homarus gammarus* L.), J. Environ. Radioactivity, 2, 229-243(1985).
80. 出雲義朗・高瀬 明 : 海藻から甲殻類をとおして魚類に至る ^{106}Ru の移行と濃縮, 1. 甲殻類(クルマエビ)による海水からの ^{106}Ru 濃縮, 公衆衛生院研究報告 31巻2号, 88-93(1982).
81. 出雲義朗・高瀬 明 : 植物プランクトンから動物プランクトンへの ^{106}Ru の移行と濃縮, 公衆衛生院研究報告 31巻2号, 81-87(1982).
82. A. W. van Weers and P. W. F. Louwrier : Uptake and retention of ^{124}Sb in the common mussel, shrimp and shore crab, IAEA-SM-248/132, "Impacts of Radionuclide Releases in to the Marine Environment", Proc. of a symposium, IAEA, Vienna, 381-399(1981).
83. S. Hirano, T. Ishii, R. Nakamura, M. Matsuba and T. Koyanagi : Chemical forms of radioactive iodine in seawater and its effects upon marine organisms., Radioisotopes, 32, 319-322(1983).
84. S. Hirano, M. Matsuba and T. Koyanagi : Influences of stable iodine upon the concentration of radioactive iodine by marine organisms., Radioisotopes, 32, 353-358 (1983).
85. R. J. Pentreath and J. M. Bouquegneau : Bull. Environ. Contam. Toxicol., 22, 771-778 (1979).
86. R. J. Pentreath : Bull. Environ. Contam. Toxicol., 25, 131-140(1976).
87. H. U. Riisgard, T. Kiorboe and F. Mohlenberg, I. Drabak and P. Pfeiffer Madsen : Accumulation, elimination and chemical speciation of mercury in the vibalves *Mytilus edulis* and *Macoma balthica*., Marine Biology, 86, 55-62(1985).
88. M. C. Grillo, J. C. Guary and S. W. Fowler : Comparative studies on transuranium nuclide biokinetics in sediment-dwelling invertebrates., IAEA-SM-248/114, "Impacts of Radionuclide Releases into the Marine Environment", Proc. of a symposium, IAEA Vienna, 273-291(1981).
89. J. C. Guary and S. W. Fowler : Americium-241 and Plutonium-237 turnover in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) living in field enclosures., Estuarine Coastal and Shelf Science, 12, 193-203(1981).
90. S. W. Fowler, M. Heyraud and T. M. Beasley : Experimental studies on plutonium kinetics in marine biota., IAEA-SM-198/23, "Impacts of Nuclear Releases into the Aquatic Environment" Proc. of a symposium, Otaniemi, IAEA, Vienna, 157-177(1975).
91. F. P. Carvalho, S. W. Fowler and J. La Rosa : Assimilation, inter-organ transfer and excretion of americium in two teleost fish., Marine Biology, 77, 59-66(1983).

92. J. C. Guary and S. W. Fowler : Experimental studies on the biokinetics of plutonium and americium in the cephalopod *Octopus vulgaris*., *Marine Ecology*, 7, 327-335(1982).
93. N. S. Fisher, P. Bjerregaard and S. W. Fowler : Interactions of marine plankton with transuranic elements. 1. Biokinetics of neptunium, plutonium, americium and californium in phytoplankton., *Limnol. Oceanogr.*, 28, 432-447(1983).
94. K. Kimura and R. Ichikawa : Accumulation and retention of ingested cobalt-60 by the common goby., *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 38, 1097-1103(1972).
95. 木村健一 : 魚類における放射性核種の吸収, 第8回放医研環境セミナー「海洋における生物濃縮とそれに影響をおよぼす因子」報文集, 放医研 NIRS-M-39, 72-88(1980).
96. W. A. Chipman : Accumulation of radioactive materials by fishery organisms., *Proc. of Gulf and Carribbean Fisheries Institute*, 11th Ann. Session, 97-110(1958).
97. 出雲義朗 : 海藻から甲殻類をとおして魚類に至る ^{106}Ru の移行と濃縮, 2. 甲殻類(スジエビ)および魚類(ツノガレイ)における餌料からの濃縮, 公衆衛生院研究報告 31巻2号, 95-99(1982).
98. K. Kimura and R. Ichikawa : Accumulation and retention of ingested ruthenium-106 by genuine goby., *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 35, 434-440(1969).
99. N. S. Fisher, P. Bjerregaard and S. W. Fowler : Interactions of marine plankton with transuranic elements, *Marine Biology*, 75, 261-268(1983).