

放射能に関する基礎知識から
海洋での動き生物への影響など
わかりやすく答えます。

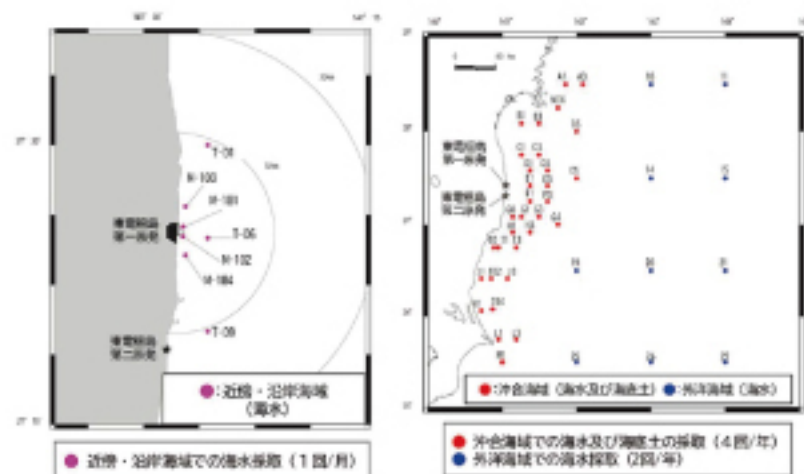


図6 令和元年度における海域モニタリングの観測点 (Q27 文献6より作成、Q27 参照)

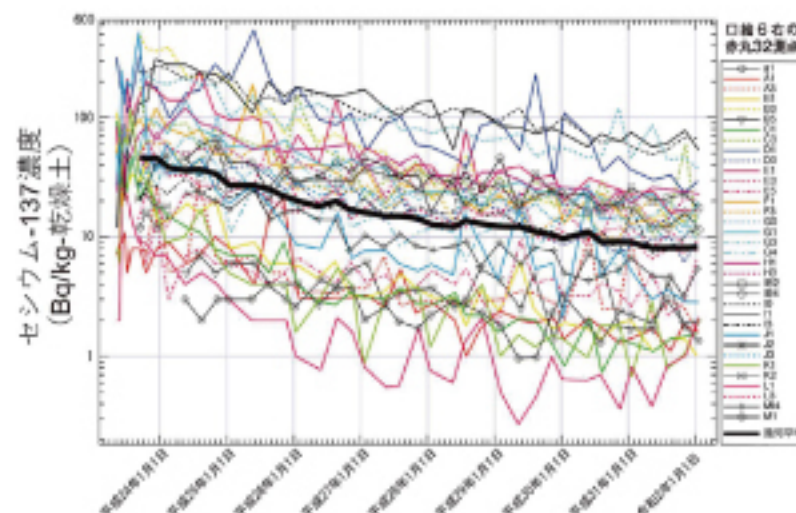


図7 福島第一原子力発電所から30～100 kmの範囲にある沖合32測点における海底土中セシウム-137濃度の時間変化。福島第一原発からの距離は、例えば、E1が90 km、E3が50 km、E5が80 km。(Q27 文献6より著者作成、Q27、33 参照)
事故前（検出下限値未満から1.7 Bq/kg-乾燥土）と同じオーダーを「もとの状態」と考えれば、ほとんどの場所でもとどおりとは言えませんが、平均値はここ10年で1/10程度まで下がっています。

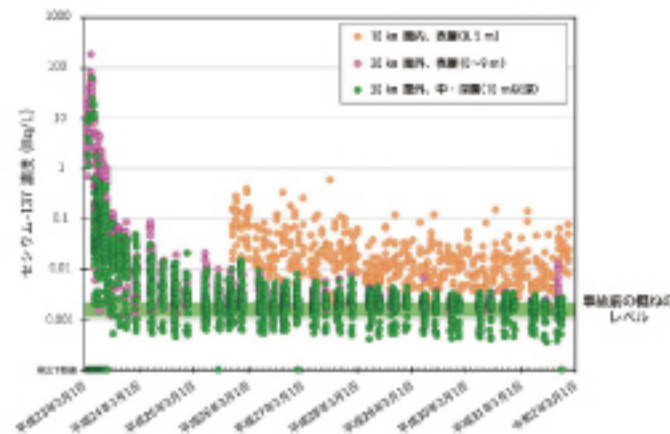


図8 福島第一原子力発電所周辺の海水に含まれるセシウム-137濃度の経年変化 (Q27 文献6より著者作成、Q27 参照)

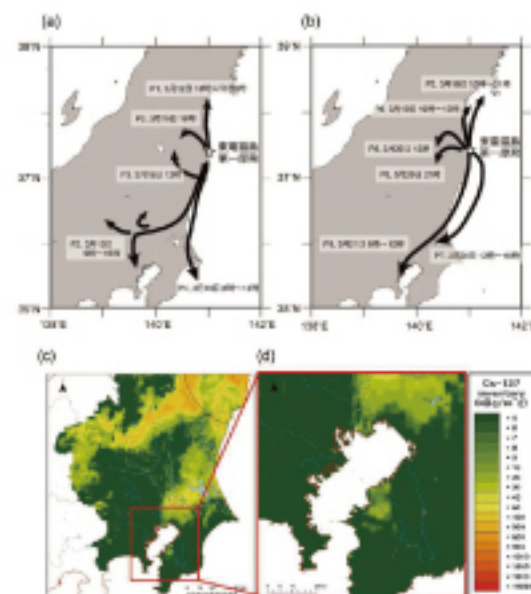


図9 (a) 平成23年3月12日～3月16日および(b) 3月18日～3月21日の期間における東電福島第一原発より放出された放射性プルームの流れの概略 (Q28 文献6より作成)。平成23年6月における(c) 関東地方および(d) 東京湾周辺のセシウム-137の初期比値 (Q28 文献8より作成、Q28 参照)

放射性物質とはどんな物質ですか？

Question 1

Answer 及川真司・工藤なつみ

1

放射能に関する基礎知識

地球上にあるすべての物質は天然に存在する放射能（Q2で説明します）を含んでいます。一般的には、自然界に存在する以上の放射能を含む物質を「放射性物質」と呼んでいますが、明確な定義はないようです。

自然界を構成する元素（原子）には、不変で安定的に存在しうるものと、自発的に壊れたり変化したりするものがあります。壊れたり変化したりするものの中でも、原子が壊れたり別の原子に変化したりするものがあり、これらを総じて「放射性」と呼ぶ一方、不変であるものについては「安定」として区別しています（Q2で説明します）。

そもそも、宇宙の塵が集まって地球が誕生した際には多くの放射性の元素（原子）があったと言われていたのですが、ほとんどが短い期間に自発的に壊れて別の元素（原子）へ変化していきました。

自然界に存在する鉱石はウランやトリウムを比較的多く含んでいます。これらの鉱石から人工的に精製して得られた石材や燃料のような原材料についても放射能を多く含む場合があります。むしろ、放射能を含まない物質を探す方が難しいかもしれません。多くの食品にもともと放射性物質が含まれているため、私たち人間自身の体の中にも放射能が含まれています。厳密に言えば、人間さえ放射性物質に該当するかもしれません（Q6参照）。

自然界には、高層大気と宇宙線（一般に高いエネルギーを持つ陽子のこと）との相互作用により生成したトリチウムなどが天然にも存在します。このトリチウムは水素の仲間（同位体）

ですが、自発的に壊れてヘリウムに変化する性質があります。一方、ウランやトリウムなどのように、自発的に壊れる時間が数十億年を超える長い時間であるため、地球が誕生したときからそのまま存在している放射性の元素もあります。さらに、人類が「核」の研究開発を進めた結果、原子力を手に入れたものの、同時に負の遺産として核兵器の開発とその利用、原子力施設の事故などに起因する放射性物質も環境中に出してしまいました（Q7参照）。

意外かもしれませんが、放射性物質は人類が誕生するはるか以前から地球上に存在し、生命の誕生から進化に至るまでのプロセスにおいて常に生命と共存してきました。カリウム-40など私たちの体の中にもともと含まれる放射性の元素の存在は、まさにその証拠かもしれません。また、生命進化の過程で起こる突然変異のきっかけとして、放射性の元素（原子）が壊れる際に発する放射線の影響も少なからずあると言われています。

「元素（原子）が壊れて別の元素（原子）になる」とはどのようなことでしょうか。スイカ割りのように、細かくバラバラになってしまうのでしょうか。例えば、「水素」は「原子核の中に陽子が1つ」ありますが、同じ水素であっても中性子の数が異なり、 ^1H 、 ^2H 、 ^3H と3種類の同位体があって、そのうちの ^3H が放射性同位体です（図1-1）。これは「陽子が1つ、中性子が2つ」から構成されており、この組み合わせでは居心地が悪いようで、自発的に中性子1つが陽子へ変化します。その結果、「陽子2つ、中性子1つ」から成るヘリウムへ変化します。中性子から陽子へ変化する際には放射線（この場合にはベータ

原子力発電所から出る温排水には放射性物質は含まれていますか？

放射性物質は原発事故以外でも海に放出されていますか？

Question 9

Answer 山田 裕・眞道 幸司

2

放射能の利用と管理

海に存在する放射性物質は、天然に由来するもの、過去に行われた大気圏内核実験に由来するもの、原発事故に由来するもの、原子力発電所の通常運転時に大気や海へ排出されたものが考えられます。ただし、原子力発電所から排出される気体および液体状の放射性物質は国が定めた厳しい基準値以下になるように薄め、常時監視されています。

原子炉の中を循環して熱を伝える水と冷却に用いる海水の配管が分かれていますので、水蒸気を冷却することで温まった温排水にはウラン燃料や核分裂で生まれた放射性物質を含んだ原子炉内にある水が混じらない仕組みになっています（Q8参照）。しかし、通常の発電中にも、原子炉内の圧力を一定にするため、原子炉内で発生した放射性物質（放射化生成物と言います）を含んだ気体の一部を外部へ放出します。また、原子炉や蒸気タービンのある建物内から放射性物質を含んだ空気を換気しています。放射性物質を含んだ空気はフィルターを通して放射性物質を洗い落とします。また、原子炉や蒸気タービンのある建物内での清掃や作業員の衣類洗濯に由来する放射性物質を含んだ廃液が大量の温排水で薄められ、海へ放出されます。一方、原子炉や蒸気タービンのある建物内で生じた固体状の放射性廃棄物や廃材は焼却や圧縮によって容積を減らしてセメントやアスファルトとともに固めた状態で、低レベル放射性廃棄物埋設センターへ輸送され、長期に保管されています¹⁾。

海へ放出される放射性物質にはトリチウム、ヨウ素-131、コバルト-60などが含まれていますが、外へ排出する前に必要な処理を行い、外部へ放出する際に放射能を測定し、発電所周

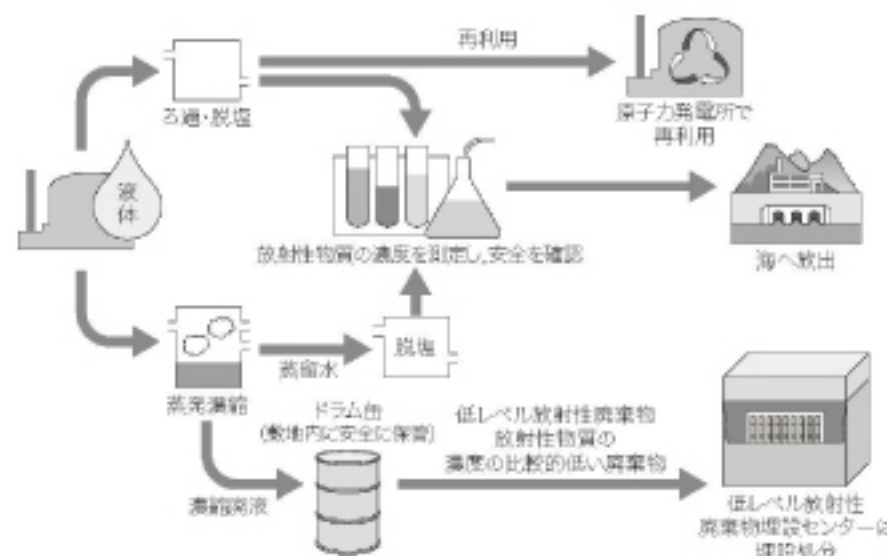


図9-1 液体状の放射性廃棄物の管理放出フロー図（文献1より著者作成）

辺の人々が受ける放射線量が、法令（年間1ミリシーベルト以下）や国が定めた目標値（年間0.05ミリシーベルト）以下になるように、適切に管理をされています。万が一目標値を上回る場合には放出されることはありません²⁾。この放射線量は、私たちが自然界から受ける放射線量（日本に住んでいると平均で1年間に2.1ミリシーベルトくらいです）や、東京からニューヨークへ飛行機で往復した際に機内で受ける放射線量（往復で0.1ミリシーベルトくらいです）より少なく、人体に影響が出る心配はないと考えられています³⁾。

表9-1 外部へ放出する際に守るべき限度（管理濃度）

放射性核種	排水や排液として捨てることのできる濃度の限度 【1立方センチメートル当たりのBq】
トリチウム	60（水として）
ヨウ素-131	0.04
コバルト-60	0.2
セシウム-137	0.09

海の生き物はどのようにして放射性物質を体内へ取り込むのですか？

Question 18

Answer 工藤なつみ・小林 創



周囲の海水や食べる餌と一緒に、生き物の周りの放射性物質が体内に入ってきてしまうためです。

海の生き物が体内に放射性物質を取り込む経路として、①身の周りにある海水から入ってくる、②生きるために食べる餌とともに入ってくる、の2つが考えられます。

まず、①身の周りにある海水と一緒に放射性物質が体内に入ってくる場合を見てみましょう。海の生き物は体内の塩分と身の回りの海水が一定のバランスを取る働きを持ち、余計な水分や成分は体外へ排出されます。この塩分のバランス調節（浸透圧調節と言います）において、放射性物質は体内に取り込まれる一方、尿として水分とともに排出もされる結果、周囲の海水と同程度の濃度となります。

では、②の餌の場合はどうでしょう。海の中には光合成をする植物プランクトン、植物プランクトンを食べて生きる動物プランクトン、動物プランクトンを食べて生きる小魚（例えば、イワシなど）、小魚を食べて生きる中～大型の魚（例えば、カツオやマグロ）の他、エビやカニ、ウニなどさまざまな生き物がいます。生き物は、自身が成長し生きていくために他の生物を食べ、体内で消化吸収します。そのときに、餌に含まれる放射性物質も体内へ取り込まれやすく、吸収しやすさは、生物がその元素を栄養として必要とするか、必要としている元素と似た挙動をしているか、元素が生体の組織と化学的に結びやすいかのいずれかが理由となります。また、放射性物質の中には、すぐに排出されず、体内に残るものもあることがわかっています。

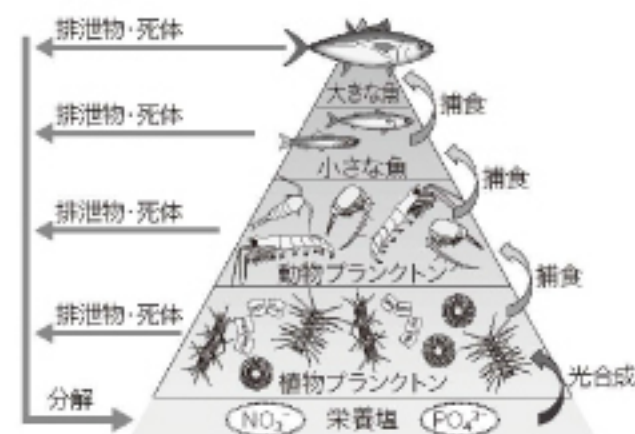


図 18-1 海の生態系内での食物連鎖の関係（食物網・生態系ピラミッド）

表 18-1 海産生物の可食部の濃縮係数（IAEA 技術文書²⁾ のデータから表を作成）

元素*	可食部の濃縮係数（環境水中濃度に対して可食部に含まれる濃度の比）				
	海藻類	軟体類 (貝類)	甲殻類 (エビ・カニ類)	頭足類 (イカ・タコ類)	魚類
セシウム	50	60	50	9	100
ストロンチウム	10	10	5	2	3
ヨウ素	10000	10	3	—	9

*それぞれが放射性核種の量を示す。

生き物同士の食う食われるの関係は、しばしば「生態系ピラミッド」や「食物網」と表されます（図 18-1）。動物プランクトンは餌となる植物プランクトンの取り込み量で、小さな体の中に放射性物質が溜まります。動物プランクトンを餌として食べる小型の魚は、動物プランクトンに溜まっていた放射性物質を体内に取り込んでしまいます。動物プランクトン 1 個体の大きさは小さいので、1 個体の中の放射性物質の量はわずかですが、それよりはるかに大きな魚は体を成長させて生き続けていくために、多量の動物プランクトンを食べ続けます。その結果、小魚の体内に動物プランクトンの体内より多くの放射性物質が溜まることになります。そして小魚を食べる中～大型の魚

福島第一原発事故では海へ どのくらいの放射性物質が どの範囲まで放出 されたの？

Question 27

Answer 日下部正志・神林 翔太

福島第一原発事故によって、多くの放射性物質が海へ放出されました。例えば、放射性セシウム（セシウム-137 とセシウム-134）の放出量は15～21 ペタベクレル（PBq、P：ペタは10の15乗）になると計算されています。海に放出された放射性セシウムは外洋や深海の海水と混ざって希釈されながら広がっていくと同時に、海底にも移行しています。しかし、海水・海底土ともに、その濃度は海洋生態系や健康に影響を及ぼすレベルをはるかに下回っています。

福島第一原発事故によって炉内にあったさまざまな放射性物質が大气および海洋へ放出されました。放出された主な放射性物質を表27-1に示します。さまざまな放射性物質がある中で、とりわけヨウ素-131が海洋へ大量に放出されていますが、ヨウ素-131は半減期が約8日と短いことから海への影響は短期間だったと考えられます。そのため、放出量が多く、半減期も比較的長い放射性セシウムに着目します。

セシウム-137は、大气中に放出されたもののうち12～15ペタベクレルが海上へ降下したと推定されています。原子炉から海へ直接漏えいしたものも含めると、15～21ペタベクレ

表 27-1 福島第一原発事故によって放出された放射性物質の値^{①～⑤}

	半減期	放出量 (PBq: ペタベクレル)	
		大气への放出	海洋への放出
ヨウ素-131	8.02 日	151	11
セシウム-134	2.06 年	15～21	3～6
セシウム-137	30.17 年	15～21	3～6
ストロンチウム-90	28.8 年	0.01～0.14	0.09～0.9

ルものセシウム-137が海へ放出されたと見積もられています。また、セシウム-134の放出された量はセシウム-137とほぼ同じであると考えられているため、海へ放出されたセシウム-137とセシウム-134を合わせると30～42ペタベクレルとなります。

国の委託を受けて、海洋生物環境研究所では2011年3月23日から福島第一原発事故影響のモニタリングを開始しました。現在は、外洋と沖合海域（30 km 圏外）に加えて10 km 圏内の近傍・沿岸海域でのモニタリングを行っています（**図 6**）。**図 8**に海水のモニタリング結果を示します。福島第一原発からの距離が概ね30 km 圏外の測点で採取した表層海水のセシウム-137濃度は、事故直後に約200 Bq/Lまで上昇しましたが、その後は急激に減少しており、多くの測点で事故前5年間に得られた濃度の範囲（0.0011～0.0024 Bq/L）まで低下しています。海に放出された放射性物質の多くは海底土に移行します。**図 7**に海底土のモニタリング結果を示します。表層に堆積した海底土に含まれるセシウム-137濃度は、100 Bq/kg-乾燥土を超える測点もありましたが、その濃度は全体的に低下しています。しかし、多くの測点で事故前の濃度（ND（検出下限値未満）～7.7 Bq/kg-乾燥土）には戻ってません。

海水や海底土に含まれるセシウム-137濃度はどちらも減少傾向にあり、海洋生態系や我々の健康を脅かすレベルをはるかに下回っていますが、事故前の濃度に戻っていない測点もあります。そのため、今後もモニタリングを継続し、その濃度の推移を把握していく必要があります（**Q33**でも解説しています）。

福島第一原発事故後、 海外で日本の魚介類の 輸入規制が続いて いるのはなぜですか？

Question 40



横田 瑞郎・村上 優雅

福島第一原発事故後、漁業団体や日本国政府が検査データを積み重ねることで、魚介類の放射性セシウム濃度が年々低下し、国が定めた基準値を大きく下回ることを確認し、広く海外まで周知できたので、日本の魚介類の輸入規制を解除する国が着実に増えています。しかし、一部の国では食の安全性について、とても慎重なため、輸入規制が継続されています。

食の安全性については、放射性セシウムが最も懸念される物質となります。その主な理由として、原子力発電所が原子炉自体の破損を伴う今回のような事故を起こすと放射性セシウムの放出量が多くなってしまうこと、放射性セシウムが私たち人間や魚介類を含む動物の筋肉に移行しやすい性質があることがあげられます。

事故以前には「暫定規制値」というものがあり、魚介類の放射性セシウム濃度に関して「1キログラム当たり500ベクレル」が許容の上限として設定されていました。事故直後には魚介類からその暫定規制値を超える放射性セシウムが検出されたこともあり、海外の国々は日本からの輸入を規制しました。

国内では事故後、魚介類の生活環境（海水、海底土）の安全性を確認するための海洋モニタリングが早急に開始され（Q27参照）、2011年9月からは、魚介類の食の安全性を確認するための放射能検査が国の事業として開始されました（Q41参照）。さらに2012年4月には新たな基準値として「1キログラム当たり100ベクレル」が設定され、基準値を超えた場合には出荷の自粛や制限を行う処置がとられました（Q37, 43参照）。事故後、時間の経過とともに魚介類に含まれる放射性

セシウムは着実に低下していき、2020年9月には検査対象となる魚介類すべてが基準値を下回る状況が一定期間続いたことで、出荷制限が解除されました。

事故当初には、50か国以上が日本からの輸入停止の処置をとっていましたが、2023年10月現在では輸入を停止している国は6か国にまで減っています（表40-1）。このように、一部の国では、各国の食品の安全性に対する取り組み方などが異なることもあって慎重な姿勢があり、東日本の一部の都県を対象とした輸入規制を継続しています。したがって、日本の魚介類の輸入規制を継続している国だけでなく、世界で日本の魚介類を食べてくれている人たちに安心・安全をアピールするためにも、魚介類の放射能検査はこれからも必要不可欠です。

- 参考文献**
- 1) 外務省ウェブサイト: 諸外国・地域による輸入規制等に対する取組、2 諸外国・地域の輸入規制状況。
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/saigai/anzen.html>
(2023年12月1日ダウンロード)
 - 2) 農林水産省ウェブサイト: ALPS処理水の海洋放出に伴う規制について、1. 諸外国・地域の規制措置等、(1) 輸入規制の概要。
https://www.maff.go.jp/j/export/e_info/hukushima_kakukokukensa.html (2023年12月1日ダウンロード)