

海洋生物 への影響

デイビッド・パチオーリ

写真提供:ケン・コステル、WHOI



福島の原発事故によって、前代未聞の量の放射能が短期間で海域に流出した。セシウムその他の放射性物質体が断続的に流出することで、海洋生物の食物連鎖はどのように影響を受けたのだろうか。2012年11月の「海洋放射能汚染に関する国際シンポジウム」で、それについての基礎的な資料を提供したのがスコット・ファウラー教授である。彼は、海洋放射線生態学の先駆者として国際原子力機関海洋環境研究所(IAEA-MEL)で30年以上勤務してきた。

食物連鎖は、海洋植物プランクトンから始まる。これは微小な植物であり、その光合成量は陸上の植物全体の光合成量と同程度にもなる。海洋植物プランクトンは周囲の海水から放射性汚染物質を取り込む。そして、植物プランクトンが、より大きな動物プランクトンに摂食され、さらに小型魚類、そしてより大きな生物へと食物連鎖のピラミッドをのぼっていく。それにともない、汚染物質の一部は最終的に海底に堆積するそれら生き物の糞その他からなる「デトリタス粒子」に含まれることになる。デトリタス粒子は堆積物に蓄積し、それに含まれる放射性核種(放射性物質)の一部は、微生物および化学過程を通じて上層の水中へと再び移動する場合もある。

海洋生物にどのくらいの放射能が取り込まれるかには、さまざまな要因がある。もちろん、生物が放射能にさらされる時間の長さは重要である。さらに、生物の大きさと種、関与する放射性核種、水温と塩分、水中の酸素量、生物の成長段階など、多数の要因も重要である。

また、「自然バックグラウンド放射線がもともと海のいたるところにあるのを忘れないことです」と彼は言う。例えば、ポ



ロニウム210とカリウム40は海中で自然発生する放射性核種である。カリウム40は海中に最も豊富に存在する放射性核種であるが、ポロニウム210の方がカリウム40よりも海洋生物内に蓄積しやすい。

「魚類その他の海洋生物が受ける放射線量の大半は、ポロニウムによるものです」。

ファウラーは放射性同位体が海水から海洋生物に吸収されるという第1の経路に関し、1980年代初期の実験において、プルトニウム量には生物の分類群によって非常に大きな差があることを実証した。植物プランクトンは、微小動物プランクトンの約10倍プルトニウムを蓄積し、微小動物プランクトンは、二枚貝の100倍プルトニウムを取り込んでいた。タコとカニのプルトニウム取り込み量は二枚貝の約半分だったが、海底近くに生息する魚類よりも約100倍大きかった

また、環境に存在する放射性核種ごとに、各生物で異なる取り込み量が示された、と彼は言う。

放射性同位体が堆積物から海洋生物へ移動する第2の経路は、複雑なものである。ファウラーによると、アメリカシウムの取り込み量を測定した実験では、汚染堆積物にさらされた蠕虫は二枚貝より有意に多くの放射性同位体を取り込んだ。ただし、蠕虫も二枚貝も、炭素鉱物を多く含む大西洋の堆積物より、シリカ鉱物を多量に含む太平洋の堆積物からはるかに多くの放射性核種を取り込んだ。

第3の経路である食物は、場合によっては、最も重要な取り込み因子になる。摂取された放射性同位体は消化器を通じて体内に同化されるが、これは体外環境から吸収された場合より、はるかに効率の良い経路である。ファウラーによれば、特に海底近くに生息するヒトデやウニなどの海洋無脊椎動物は、摂取した広範囲な放射性同位体を効率的に吸収する。だが、幸いなことに取り込んだ放射能は排泄され、次第に失われていく。

プランクトンからマグロへ

ファウラーの長年の研究仲間であるニコラス・フィッシャー教授は、福島で最も大きく影響をおよぼした同位体に焦点を絞った。フィッシャーはストーニーブルック大学放射性的海洋生物地球化学者で、海洋生物における金属と放射性同位体の行き先を35年間にわたって研究している。その研究対象には放射性廃棄物に伴う放射性核種も含まれている。彼と研究室メンバー

は、2011年6月、ウッズホール海洋研究所のシニアサイエンティストである海洋地球化学者ケン・ベッセラー博士が中心となって日本の沖合で行った調査航海に加わった。

試料として採取したプランクトンと魚を分析したところ、一貫してセシウム134とセシウム137が見つかった。福島第一原発事故でセシウムとともに多量に流出した放射性核種であるヨウ素131は、当然のことながら見つからなかった。「ヨウ素131は半減期がわずか8日であるため、事故から2か月後には検出できなくなっていました」とフィッシャーは説明する。

セシウムはまた別の問題である。1960年代の冷戦時代、大気圏内で行われた核実験に端を発するセシウム137は、海とそこに生きるものたちに今なお痕跡を残している。それに比べてセシウム134ははるかに短命であるが、それでも数年は存在し続ける。

セシウムは、海水に豊富に含まれる非放射性セシウム、そして自然発生するカリウムとナトリウムなど、いくつかの可溶性同位体と競合して、生物および粒子に吸収される。海水と比べ、淡水ではカリウムおよびナトリウム同位体はるかに少ないため、セシウムの取り込み量は海洋生物より淡水生物の方がいちじるしい。セシウムの化学特性はカリウムと似ており、どちらも最終的には魚類その他の海洋生物で同じ組織、特に筋肉組織に含まれる。

また、魚類はかなり効率的にセシウムを排泄し、1日あたり数%を失う。そのため、魚類は新たな汚染源にさらされなければ、体内のセシウム濃度は時間とともに急速に低下する。

高次捕食生物において特に懸念されるのは、食物連鎖のピラミッドを上につれて放射性核種の濃度が高まることである。これを生態学者は「生物学的濃縮」と呼ぶ。この場合もやはり幸いなことに、「海洋の食物連鎖におけるセシウムの生物学的濃縮はさほどではなく、水銀、農薬のDDT、ポリ塩化ビフェニル(PCB)など多くの有機化合物よりはるかに低いです」とフィッシャーは述べる。

2011年の航海で、フィッシャーとそのチームは採取した全試料についてセシウムを測定した。その試料は主に動物プランクトンで、一部は魚類である。予測にたがわず、試料採取した生物のセシウム濃度は、沿岸に近づくほど高まった。また、放射性的の銀

2011年6月の調査航海で、生物学者たちは植物プランクトン、動物プランクトン、エビ(右)および魚(指先ほど小さいムネエソを含む。左)の試料を採取し、福島からの放射性物質が海洋生物に蓄積されていないか調べた。



海洋生物における放射性物質の追跡

- 1 福島第一原発から大気放出された放射性物質が海に降下。
- 2 原子炉を冷却するため使用された水に放射性物質が含まれ、海へ流出。
- 3 微小な海洋植物(植物プランクトン)が周囲の海水から放射性物質を取り込む。
- 4 放射性物質は、植物プランクトンから小型海洋動物(動物プランクトン)、さらに孵化したての仔魚、魚、より大きな捕食生物へと食物連鎖を上る。放射性物質の取り込まれ方は種によってそれぞれ異なる。
- 5 一部の放射性物質は最終的に糞粒やその他のデトリタス粒子に含まれ、海底に沈んで堆積物となる。
- 6 堆積物に含まれる放射性物質は、その上の水中へ再び移動するか、海底近くに生息する生物に吸収されることもある。

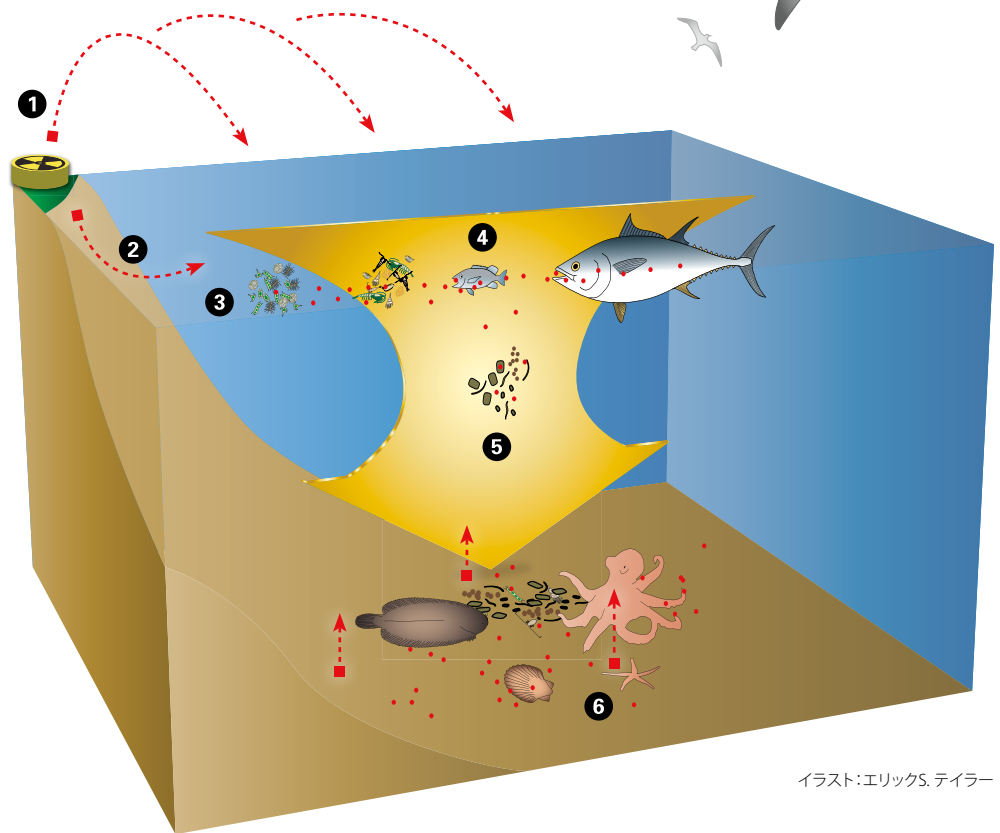


イラスト:エリックS.テイラー

110mもすべての動物プランクトン試料で検出された。ただし、すべてのケースでセシウムおよび銀同位体の量は同じ試料中の自然発生カリウム40よりいちじるしく低かった。

「私たちが採取・分析した魚類の放射能では、人が摂取しても問題を生じることはありません」が、同じ海域で水揚げされる他のすべての海洋生物にも同じことが言えるとは限らない、と彼は付け加えた。

通常より高濃度が持続している

フィッシャー、ベッセラー、その他多くの科学者が頭を悩ませている問題がある。それは、低量ではあるが有意な濃度の放射能がいまも海中に存在し続けていることである。東京海洋大学の海洋化学学者、神田稷太教授は、福島近海を広範囲にわたって調査し、水深200mより浅い沿岸水域とその海底の堆積物に今なお存在するセシウムの量を算定した。神田の計算では、残留量は全排出量の3%未満で、残りはかなり以前に外洋へ流されている。

それでも、セシウム放射性同位体はこの海域で1m²あたり数十～数百ベクレルと測定されており、これは福島災害以前の濃度よりいちじるしく高い。さらに、より重要な点として、沿海の堆積物および数種の魚類で測定された濃度は周辺海域の濃度より高い。

この高い放射能には、3つの源があると神田は見る。1つは河川からの流出、つまり雨で近くの河川に流された放射性降下物が海に流出したもの、である。2つめは、原子炉建屋の地下から今も少量の汚染水が漏れ続けているのではないかと、神田は示唆する。しかしながら、いまだ魚類の組織で測定され続ける放射

性セシウム濃度についての唯一妥当な説明は、魚が食物を通じて継続的に放射性セシウムを摂取していること、である。その疑いは3つめの海底の堆積物に向けられている、と神田は言う。

神田は、「沿海堆積物に合計95テラベクレル(10¹²ベクレル)のセシウムが存在すると推定し、それがどのようにしてそこにたどり着いたかが問題です」と言う。セシウムは水面でプランクトンに摂取され、糞粒として海底へ沈んでいっている可能性がある。実際、浅水域のプランクトンが高濃度のセシウムを呈することはある。また、河川から流されてきた有機物の小片とともに海底に到達している可能性もある。一方で、汚染水に接触した粘土粒子にセシウムが吸着した可能性もあるが、そのような放射性セシウムは粘土粒子に強く結合するため、海洋生物には取り込まれにくい。

堆積物は複雑なものである。一粒の砂のように見えても、間近で見ると、たいていは鉱物、有機物、および間隙水(粒子間の小さなすき間を満たしている水)の混合物である。これら凝集体への汚染物質取り込みについては、よくわかっていない。ファウラー同様、神田も、「堆積物の組成と特性は場合によって大幅に異なっています」と言う。

このなくならない放射能の謎を解くには、福島沿岸域の海底を徹底して分析する必要がある。「地域の住民は心配しています。いつになったら漁業を再開できるのか知りたがっています。私たち科学者は、それに答えなければなりません」。

この謎を解く鍵は、いつまでセシウムが居座り続け、どのような経路で食物連鎖に取り込まれるかにある。セシウム137の半減期が30年であることを考えると、これからの数十年間、海底堆積物が食物連鎖の汚染源となり続けるおそれがある。

マグロの話

福島原発から来た放射性物質が海洋生態系でどのように移動するかを知るには、微小プランクトンの生態を把握することである。しかし、福島原発事故を象徴するようになった巨大生物がいる。太平洋クロマグロである。

太平洋クロマグロは、世界の食卓で珍重される魚のひとつである。最高級すし食材としての魅力を持つクロマグロは、回遊魚でもある。日本とフィリピンの沖合で産卵し、幼魚のうちに4か月かけて太平洋9,600kmを横断し、米国カリフォルニア州沖合の餌の豊富な海域で育つ。数年後、成長して成熟すると、今度は自身が産卵するため太平洋を引き返していく。

海洋生物の放射性物質の取込みとマグロの回遊パターン調査の専門家であるストーンブルック大学のニコラス・フィッシャー教授とスタンフォード大学ホプキンス海洋研究所の大学院博士課程の学生ダニエル・マディガンは、2011年夏にカリフォルニア沖で水揚げされる若いクロマグロが、福島沖の汚染海域で孵化後の日々を過ごした可能性が高いことを知っていた。それらのクロマグロは、遠く離れた2つの大陸の間で放射性物質を運んだのだろうか。

それを確かめるため、フィッシャーとマディガンは、カリフォルニア州サンディエゴ沖で2011年8月にスポーツフィッシング愛好者が釣り上げたマグロから組織試料を採取し、フィッシャーの研究室で分析した。「分析したクロマグロのすべて(15匹中15匹)で、セシウム134とセシウム137の両方が見つかったのです」。これは福島第一原発事故からの汚染を示すまぎれもない証拠である、とフィッシャーは、東京の「海洋放射能汚染に関する国際シンポジウム」で報告した。

しかし、彼らが測定した放射能レベルは非常に低かった。サンディエゴ沖で釣れたクロマグロは、両方の放射性物質からの総セシウム濃度が1kg当り10ベクレルと、カリウム40の自然放射線濃度をわずか3%上回っただけで、日本政府が定める安全な消費レベルよりはるかに低かった。

回遊するマグロが、取り込んだ全セシウムを太平洋横断中に1日2%失っていたと推定し、さらに、太平洋横断中に冷戦時代の原爆実験の名残であるセシウム137を取り込んでいたと推定して、さかのぼって計算を行い、フィッシャーらは、マグロは日本近海を出発したころには、体内濃度が測定値より15倍高い1kgあたり約150ベクレルであった可能性が高い、とした。

彼らは、カリフォルニア沖の定住魚であり太平洋を回遊しないキハダマグロからも試料を採取し、クロマグロで測定されたセシウムが海流または大気によって運ばれてきたものだという可能性を否定した。キハダマグロにみられたのはバックグラウンドレベルのセシウム137だけで、半減期の短いセシウム134は見つからなかったからである。

フィッシャーとマディガンが2012年5月下旬に発表したこの結果は、すさまじい反響を呼んだ。フィッシャーは無数のインタビューに応じ、テレビ番組にも出て測定結果を説明した。

人々の根拠のない放射能への不安に対処するため、フィッシャーとフランス人科学者グループは、これらのクロマグロを食べた人が取り込む放射線量(0.008マイクロシーベルト)を算定し、バナナを食べてその自然なカリウムから取り込む放射線量(0.1マイクロシーベルト)、歯科用X線撮影から受ける線量(5マイクロシーベルト)、大陸横断飛行で受ける線量(40マイクロシーベルト)と比較した。「クロマグロについては、放射能より含有水銀の方がむしろ心配です」と彼は言う。

2012年と2013年にクロマグロの放射能を分析するにあたり、フィッシャーは、それらのクロマグロが2011年時点の幼魚とは異なり、汚染水域で1年間は過ごした後であろうこと、そしてそのセシウム濃度がはるかに高まっている可能性があることを認めた。一方で、餌場となった水域のセシウム濃度が比較的lowであったために低下した可能性もあるという。マディガン、フィッシャー、そしてゾフィア・パウマン博士による最近の報告によると、2012年にサンディエゴ沖で水揚げされたクロマグロには、2011年のマグロから検出された値の半分未満しか放射性セシウムが含まれておらず、マグロ組織に含まれる放射性セシウム濃度が実際に低下していたことが示された。

しかし、フィッシャーによると、クロマグロだけでなく、サメ、海鳥、アカウミガメなど他の大型回遊生物や渡り鳥の固有の回遊・渡りパターンを追跡する上で、福島原発由来の放射性核種が利用できると考えられる点にある。回遊・渡りパターンのタイミングと経路に対して理解が深まれば、漁場を管理し、絶滅危惧種の保護戦略をより効果的に策定する上で役立つはずである。

福島由来の放射性物質は、回遊魚や渡り鳥の経路と移動の速さの追跡に利用できる。

データ提供: マディガン、パウマン、およびフィッシャー

