

# 海中の 放射性物質

## そこに何があるのか 量は、期間は

デイビッド・パチオーリ

2011年3月に起きた東京電力福島第一原子力発電所からの放射性同位体の流出は、事故による放射性物質の海洋への流出として史上最大の量を記録している。その大部分は、原子炉から流出した放射性物質であるヨウ素131、セシウム134、セシウム137である。2012年11月、

東京で2日間行われた「海洋放射能汚染に関する国際シンポジウム：海洋へ与える福島原発事故の影響を探る」において、ケン・ベッセラー博士が報告した。

ベッセラーによると、これらの物質はどれも長期的な健康上の問題を生じさせるが、ヨウ素131の半減期はわずか8日であ

るため、数週間で実質的に環境から消失するはずである。半減期がそれぞれ2年および30年であるセシウム134とセシウム137は、今後数年間から数十年間にわたって海水に残留する。

現在、海に存在するセシウムの大半は、米国、フランス、およびイギリスが1950～1960年代に大気中で行った核兵器実験の名残である。それより量は少ないが、1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故からのもの、そしてイギリスのセラフィールド核処理施設からアイリッシュ海に投棄された長期に渡る低放射能レベルの廃棄物など特定の放出源からのものもある。

ただし、気象庁気象研究所の青山道夫主任研究官らの記録によると、日本の沖合における福島原発事故以前のセシウム137レベルは1m<sup>2</sup>あたり約2ベクレルで、世界でも最低レベルであったことがわかっている（1ベクレルは、毎秒1回の放射性崩壊イベントに等しい）。この背景に照らすと、2011年4月初めに測定された濃度はとくに警戒すべきものだった。福島原発の排水口付近の海水からは、1m<sup>2</sup>あたり最高6,000万ベクレルの濃度が報告さ



写真提供：ケン・コステル、WHOI

れており、海生動物の生殖と健康に十分悪影響を及ぼす値であった。

福島に起源を持つセシウムの大半は、原子炉を冷却するため放水された数百万リットルの水が流出水または地下水として、海に流れ込んだものである。同発電所の建屋浸水で起こった大規模な漏水も、海へのセシウム流出源となった。4月初めに漏水が止められた後は、沿岸付近のセシウム濃度が劇的に低下した、と彼は言う。しかし、まったくなくなったわけではなかった。

「海洋混合による希釈により、濃度は短期間で十分バックグラウンドレベルまで低下するはずですが、しかし、私たちが得たすべてのデータによると、現場周辺の測定値は今も1m<sup>2</sup>あたり最高1,000ベクレルと高いままです」。

ベッセラーは、その数値が環境にどれだけ影響を与えるかについての確認を急いだ。「1,000ベクレルといっても、セシウムの場合は大きな数字ではありません。たとえば米国環境保護庁が飲用水に定めている基準値より低いものです」。日本近海のセシウムがそのレベルであれば、海洋生物と人が被ばくしても安全だと彼は強調する。

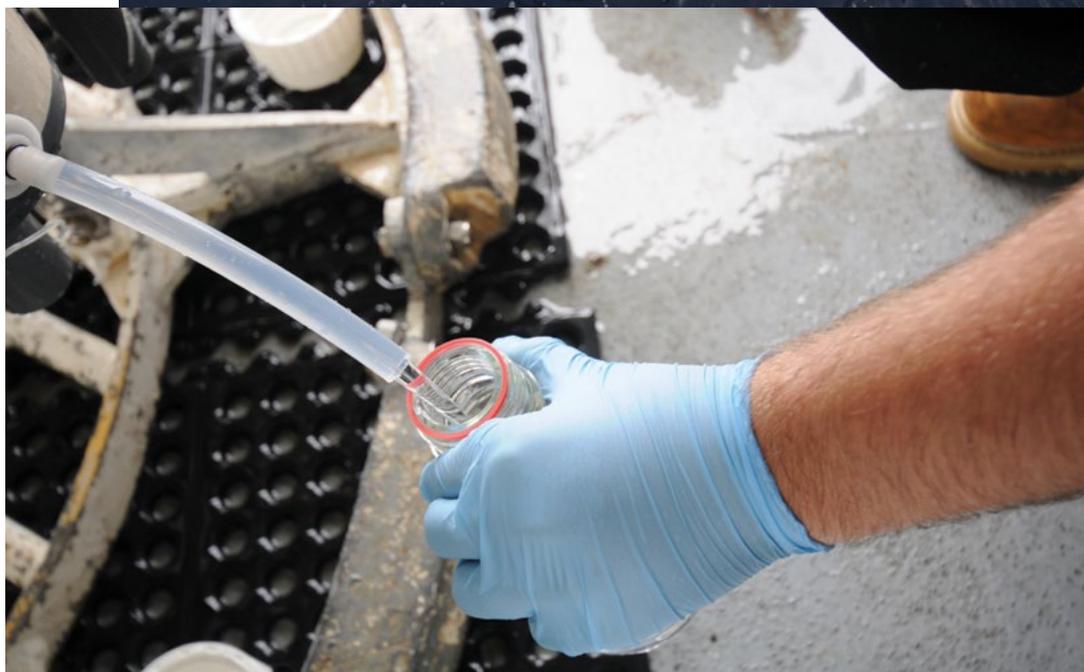
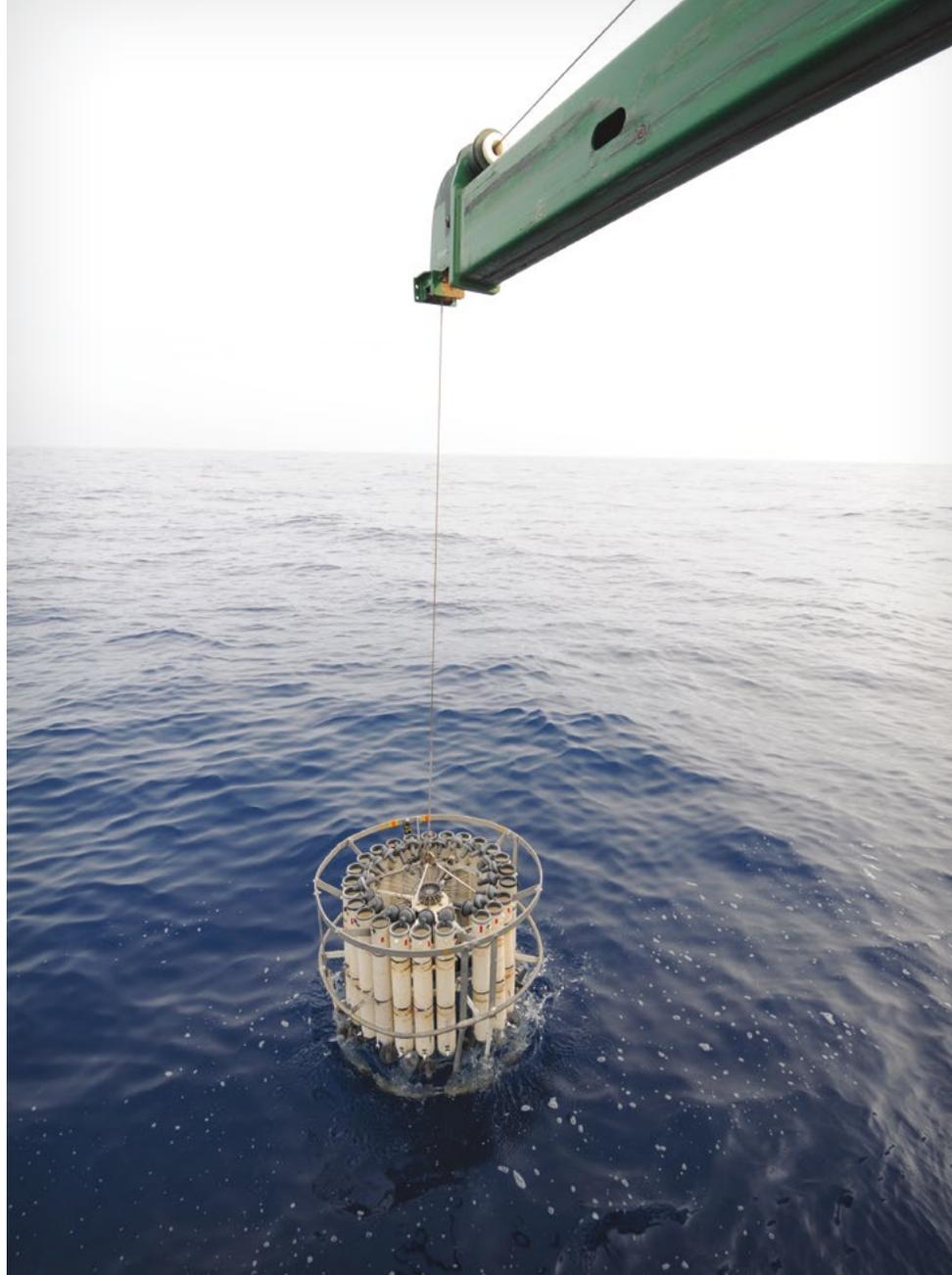
「われわれは、直接的な被ばくより食物連鎖に取り込まれる可能性を心配しなければなりません」。もう1つの問題は、いまだ高レベルにある放射性セシウムである。「数値が横ばいになり、事故前より高レベルにとどまっているということは、福島原発から小規模ながらまだセシウムの流出が続いているということです」。

## 放射能の経路と速度

沿岸から離れた外洋では、まず風で海へ運ばれた大気からの放射性降下物による放射能が検出された。その風によって放射性降下物の80%以上が海域へ向かったため、陸上での放射能被ばくは限定された。

事故からわずか数週間後、海洋研究開発機構(JAMSTEC)の本多牧生

ウッズホール海洋研究所の海洋化学者ケン・ベッセラー(左)は、福島原発事故から数週間調査航海を実施し、各分野・機関の科学者とともに、福島原発から放出された放射性物質が海中および海洋生物に含まれていないか調べた。その調査に使用したのが右のような採水装置で、これを使って日本の沖合で1,500以上の海水試料を採取したほか、生物試料も30か所から採取した。海水および生物の試料は7か国16か所の研究機関に種々の放射性核種の濃度を計測するために送られた。

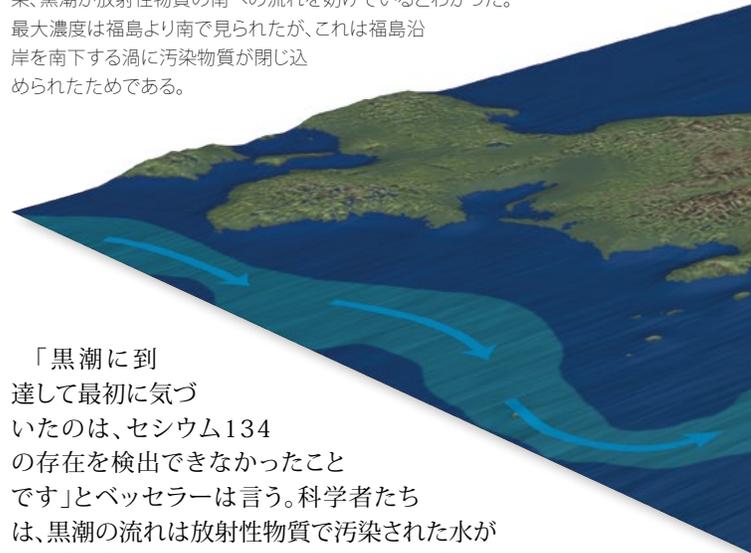


博士らによる調査航海により、福島から約1,900km離れた海域で、低レベルのセシウム137とセシウム134両方が検出された。これだけの短期間に海流で運ばれてくるにはあまりに遠い場所である。セシウム134は海中で自然に存在せず、半減期がわずか2年である。本多は、「この比較的短命なセシウム134同位体が検出されたことは、汚染が福島原発から来たものだという決定的な証拠です。核兵器実験あるいは福島原発事故以前の他の発生源から来たセシウム134は、すでに消失して長い期間が経っているはずだからです」と報告している。

2011年6月、ベッセラーは調査船カイミカイ・オ・カナロア号での調査航海を手配し、福島原発から流出した放射性物質の移流拡散状況を、外洋水をはじめ海洋生物などについて広範囲に調査した。600kmの沖合で調査を開始し、機能停止した原発から30km以内の海域へと向かった調査チームは、ジグザグに航路をとり、1,000mの深海から海水試料を採取、植物プランクトン、動物プランクトン、および小型魚類といった試料も採取した。また、漂流ブイも20個放流した。このブイは海流とともに移動して人工衛星経路で各々の位置がわかるようになっている。

前述の日本人科学者たちと同様、ベッセラーのチームも採取した海水から高濃度のセシウム137とセシウム134を検出した。ただし、その濃度は試料採取した海域によって大きく異なり、関与する海流が複雑であることが示された。太平洋を東へ向かう強大な黒潮の流れは、その中で最も決定的な影響を及ぼす。

カイミカイ・オ・カナロア号に乗船した研究者たちは、日本から約600 kmの沖合で調査を開始し、様々な位置で放射性同位体レベルを測定した。その結果、黒潮が放射性物質の南への流れを妨げているとわかった。最大濃度は福島より南で見られたが、これは福島沿岸を南下する渦に汚染物質が閉じ込められたためである。



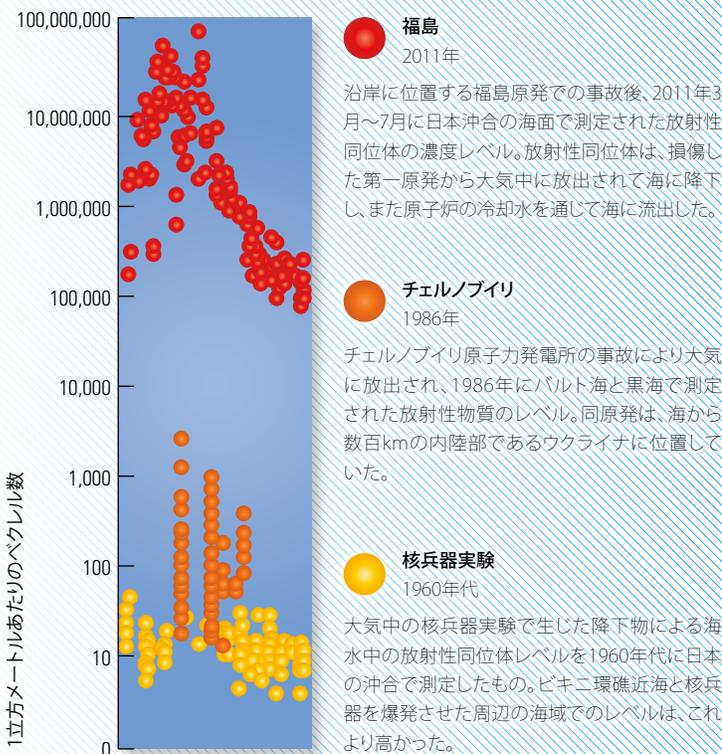
「黒潮に到達して最初に気づいたのは、セシウム134の存在を検出できなかったことです」とベッセラーは言う。科学者たちは、黒潮の流れは放射性物質で汚染された水が黒潮を横切り南に広がることを妨げる役割を果たし、また、黒潮より南へは大气からの放射性物質もほとんど運ばれず降下していないことを確かめる事ができた。

彼によると、沿岸に近づくほど測定される放射能レベルは高まった。これは予測通りだったが、意外なことに、それらの高レベルは福島近海ではなく、それよりかなり南の茨城沖で見られた。一見異常なこの値は、大きな「環流」すなわち渦が、汚染物質を閉じ込めて沿岸に沿って南へ運んだ結果であることが漂流ブイのデータから示された。

時間とともに、漂流ブイは、その海域における複雑な流れを明らかにし、より広大な海域へ放射性物質が運ばれる経路と速度を特定する助けとなった。漂流ブイの放流から1年後、ブイの大部分は黒潮北側に位置し、北太平洋の中央部まで到達したことが、ウッズホール海洋研究所の海洋学者スティーブ・ジェーンにより示された。これらのデータ、そして青山の計画したプロジェクトによって民間のボランティア観測協力船が採取した表面水試料により、海中に混合したセシウムが、1日あたり約7kmの速度で東へ流れていることが示された。その速度から、1年後には測定可能なセシウムが少量ながらアメリカ西海岸沖に現れる、とベッセラーは言う。

## 前例のない放射性物質の海洋流出

福島原発事故で生じたセシウム137放射性同位体の海面における海水中濃度は、チェルノブイリ事故または大気中の核兵器実験で海に放出されて上昇した濃度より1万～10万倍多かった。

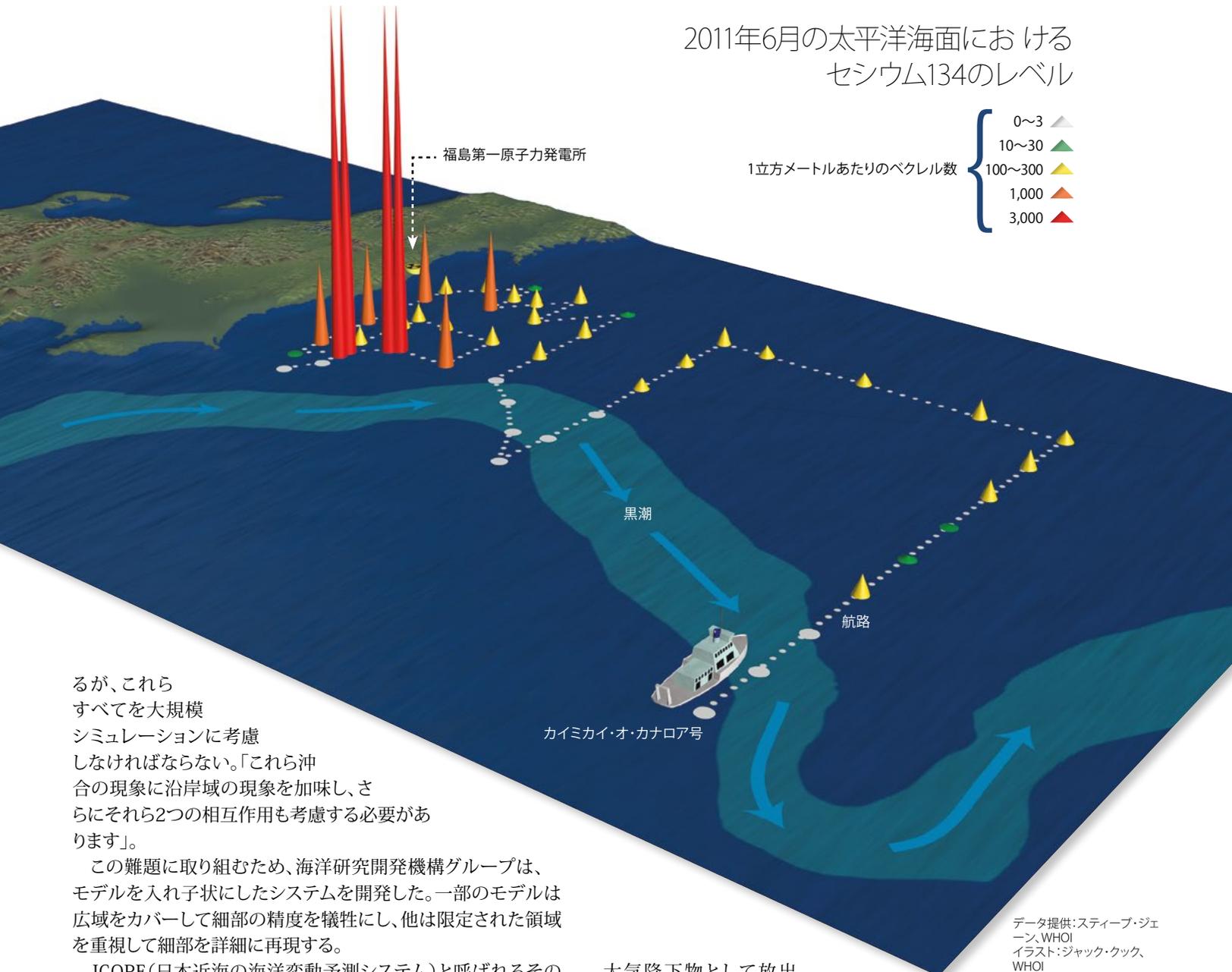


## 海のモデル化

海に試験紙を浸して簡単に放射能を測定するわけにも、定期調査航海もままならずという状況下で、放射性物質の継続的な拡散を測定できない科学者たちが福島原発の放射能の行く先を予測するためには、海洋数値モデルに頼らざるをえない。海洋研究開発機構の升本順夫博士は、海流力学に関する最高の知見を組み入れた数値モデルであっても、北太平洋の日本沖の複雑な沿岸海流をモデル化する作業は困難を極めると、東京の「フクシマと海」シンポジウムで語った。

特に、福島沖の海水は、千葉沖合まで北上して東へ曲がる黒潮と、北の海から南下してくる低温で低塩分の親潮に挟まれている。これら2大海流が北西太平洋で衝突する場所では、海水がダイナミックに混合されて豊かな漁場が生まれる。また、この海域では100～1,000km規模の渦と、複雑で小規模な影響も生じ

# 2011年6月の太平洋海面におけるセシウム134のレベル



るが、これらすべてを大規模シミュレーションに考慮しなければならない。「これら沖合の現象に沿岸域の現象を加味し、さらにそれら2つの相互作用も考慮する必要があります」。

この難題に取り組むため、海洋研究開発機構グループは、モデルを入れ子状にしたシステムを開発した。一部のモデルは広域をカバーして細部の精度を犠牲にし、他は限定された領域を重視して細部を詳細に再現する。

JCOPE(日本近海の海洋変動予測システム)と呼ばれるその基本モデルは、全球規模の海洋シミュレータである。JCOPE2は北西太平洋域のみカバーする領域モデルで、温度と塩分に関する観測データを組み入れて現実の海流に近づけている。その領域モデルに組み込まれて精度を上げているのが、潮汐効果をシミュレートする沿海モデル、JCOPE-Tである。

升本は、これら各拡散モデルの精度、および日本その他の研究機関で現在利用されている他のいくつかのモデルの精度が、計算開始前に入力される実際の測定値に大きく依存することを強調した。

「観測データは時間・空間的に極めて制限されており、どのモデルが最良かは判断できません」と升本は述べる。特に、海洋に流入した放射性物質の量については依然不確かな点が多いため、その判断は難しい。

ベッセラーは、セシウム137総流出量の推定値を見直し、「15~30PBq(ペタベクレル、 $10^{15}$ Bq)に収束し始めています」と述べた。これはチェルノブイリ事故で海洋に流出した量と比べてわずかに多い程度である(なお、チェルノブイリ事故で環境に流出した総量は、85 PBqとはるかに多かった)。

大気降下物として放出したセシウム137に関する推定値の大半は、10~15PBqの範囲に収まる。ベッセラーによる直接の放出量に関する推定値は3~15PBqで、より不確かである。また、これら総量推定値は、ストロンチウム90など、存在量はセシウムよりはるかに少ないが、影響が心配されている他の放射性同位体の放出量を考慮していない。ストロンチウム90は魚の骨に蓄積されて食卓に上る可能性があるが、現在も原発から漏れ続けている汚染水から除去されていない。

福島から出たセシウムが海中で最終的にどこへ行くのかを理解するには、太平洋を横断してセシウムを運ぶ海流と速度だけでなく、セシウムが下層の海水と混合する過程、そして海底に堆積する「デトリタス粒子」すなわちマリンスノーに吸着される量も明らかにしなければならない。量は比較的少ないとはいえ、今なお放射性物質が河川と地下水を通じて海に流出し続けていることが日本の科学者から報告されており、これも考慮する必要がある。これらパズルのピースのいくつかは組み立てられつつあるが、まだ解明されていない部分が多い、とベッセラーは言う。

データ提供: スティーブ・ジェーン、WHOI  
イラスト: ジャック・クック、WHOI