福島沿岸海域におけるセシウム 137 収支と生態系移行

東京海洋大学 神田 穰太

福島第一原子力発電所事故は、大規模な海洋汚染を伴った点で、過去の事故と大きく異なっている。我が国の沿岸海域ではじめて経験した深刻な海洋汚染であったこともあり、調査・研究についても十分とはいえない面があった。本稿では、セシウム 137 (^{137}Cs) を中心に海洋環境での収支と生態系内での移行について、事故後の推移と現状を概説する。一部の魚種で放射能レベルの低下が予想外に遅いこと、依然として海洋へ放射能流出が継続していることなど、残された課題についても紹介する。

I. 福島事故による海洋汚染と調査の経緯

福島第一原子力発電所事故は 2011 年 3 月 11 日の地震とそれに続く津波による冷却機能喪失により、核燃料の融解・破損と建屋内での水素爆発を経て、压力容器や格納容器、配管等の損傷に至ったものである。事故により外部へ大量の放射性物質を漏出する結果となり、海洋環境にも大きな影響が及んだ。

1. 事故による海洋への放射能移行

事故ではまず大気へ放射性物質が放出された。放出は 2011 年 3 月中旬から始まり、放出総量の大部分は 3 月末までに放出されたと見られている¹⁾。大気中へ出た放射性物質は、拡散しながら大気と共に移動した。放射性物質の種類(核種)によるが、大気中に分散した核種の一部はやがて地上か海面に沈着(塵や雨などとして降下)した。この大気経由の沈着が初期段階での海洋汚染の主要なプロセスであった。

一方、事故直後から 1～3 号機の原子炉を冷却するために様々な手段で炉内への注水が行われた。容器や配管の損傷もあって、注がれた水の流路は今も正確には分からないようであるが、炉内で汚染されたと考えられる高濃度の放射性物質を含む水が、隣接するタービン建屋地下などに滞留しているのが 3 月 24 日までに確認された。続いて 4 月 1～6 日には 2 号機取水口前から、5 月 10～11 日には 3 号機取水口前から高濃度汚染水が港湾へ

漏出しているのが確認された。この高濃度汚染水は建屋の地下から、周辺のケーブルホール、トレンチ、配水管その他の管渠に流れ込んだものが流出したとみられている。この他に、4 月 5～10 日に低レベル汚染水の意図的排水も行われた。5 月までの段階で東京電力が確認している汚染水流出はこの 3 件のみである。しかし、後述のように発電所周辺の海水の放射性物質濃度は 3 月 26 日頃から急増していることから、すでにこの頃から何らかの経路による汚染水流出があったと考えられる。この 3 月中の流出を含め、経路や量が明らかになっていない流出があったことは確実と思われる。大気からの沈着にやや遅れて、放射性物質が汚染水として海洋に直接流出したことが、今回の事故の海洋汚染を特徴づけている¹⁾。

2. 海洋調査の経緯

(1) 政府によるモニタリング

事故を受けて国による海域モニタリングが開始された。東京電力による発電所付近の海岸での海水モニタリングは 3 月 21 日に始まり、港湾内や沿岸海域に順次対象が拡大された。3 月 23 日の海洋研究開発機構・白鳳丸による調査を皮切りに、文部科学省(現在の所管は原子力規制庁)による沖合 30km での海洋調査も開始された。汚染水の漏出を受けて、国、東京電力共にモニタリングの対象海域は順次拡大され、福島県等による沿岸海水の調査も開始された。東京電力による発電所周辺海域の調査も国のモニタリングの一環とみなされるが、広範な海域の調査が事故当事者に委ねられている点は、特に海外からは奇異な状況と感じられるようである²⁾。

海水のモニタリングでの測定値は、5 月以降になると ND(検出限界未満)と報告される場合が多くなってき

Cesium-137 Budget and Ecological Transfer in the Coastal Marine Environment of Fukushima : Jota KANDA.

(2014 年 1 月 6 日 受理)

た。検出限界値は測定時間を延ばす等である程度低下できるし、セシウムについてはリンモリブデン酸アンモニウムによる吸着・濃縮を用いた高感度分析法で事故前のレベルでも測定可能である。モニタリングでの高感度分析の導入は、日本海洋学会などからも提言されたが、実際に行われるまでにはかなりの時間を要した。

海底堆積物については、4月末になってから調査が開始された。堆積物調査も、発電所から20km圏内は東京電力、それ以外が国や県などとする区分がなされた。ただし調査開始から1年程度は、東京電力のデータのみ堆積物の湿重量(水を含んだ重量)あたりの放射能で公表され、国などの乾重量(水を含まない重量)あたりのデータと比較できない状態が続いた。その他に、海岸や河口についてのモニタリングが環境省によってなされている。

(2) 魚介類モニタリング

一方、魚介類の調査も各県などにより、3月下旬から順次開始された。これらのデータは水産庁が取りまとめて公表しているが、基本的に食品としての安全性評価と漁獲物出荷の規制が目的であり、当該海域の主要漁獲物が対象で、魚体も可食部を中心に調べられている。また、震災後の混乱もあって、特に当初は県ごとにデータ数が大きく異なっていた。食用にならない海洋生物はこのモニタリングの対象ではなく、海洋生態系の全体的な汚染状況や、食用魚介類への放射性物質の移行経路等については、この調査から把握することは困難である。

(3) 研究活動としての調査

以上のような行政機関による調査とは別に、研究者による研究活動として行われる調査がある。例えば、筆者の属する東京海洋大学は、海洋調査が可能な練習船を保有しており、石丸隆教授(当時)を中心に海洋における放射能調査の実施が検討された。上述のようにプランクトンや底生生物(海底面付近に生息する生物群)などの調査が欠落していた点を考慮して、生態系についての網羅的な調査が計画された。幸い福島県の漁業者、福島県水産試験場、大学および船舶職員の理解を得て、2011年7月1日から8日にかけて海鷹丸による初めての調査が行われた³⁾。この調査は、以後も年2回のペースで継続されている。筆者も含む東京海洋大学の研究グループは、2012年度から文部科学省科学研究費補助事業・新学術領域研究「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」の計画研究班として活動し、練習船による調査は2013年度から新設の福島大学環境放射能研究所と東京海洋大学の連携事業となっている。

福島第一原子力発電所から半径20km以内の海域は、事故後長く立ち入りが制限されていた。東京電力の関係者を除けば外部の研究者による調査は行われず、生物等に関する調査も実施されていなかった。日本海洋学会震災対応ワーキンググループは、NHKからの提案を受け

て、2011年11月末から12月初めにかけて20km圏内の共同調査を行った。事故後の8ヶ月もの間、外部の研究者が20km圏内に立ち入っていなかったことは、国際的にみても異常な状況であった。共同調査は発電所付近の調査に透明性を確保する一助になったほか、東京電力が生物・魚介類等の調査を開始する契機になったと考えられる。

2012年度以降は、文部科学省、水産庁、環境省などの大型の研究プロジェクトが複数始まり、研究ベースの海洋環境調査は格段に増えたが、海洋調査のスタートは陸上に比べて大きく遅れた。陸上の汚染調査では、大規模な研究者グループの自発的取り組みに国からの支援が行われ、比較的早くから国のモニタリングとも整合することなど、陸上の調査とは事情が異なる面もあるが、早くも2011年6月に米国の研究船が放射能調査のために福島沖に入ったこととは対照的といわざるを得ない。

研究ベースの調査では、一般に研究成果がまとまるまでデータが公開されない傾向がある。国のモニタリングは、速やかに結果が公開されるものの、公開後のデータ解析等を誰が担うかは不明確で、結果的にデータが公開されればなしの状態になっている面がある。公開によって、きちんとしたデータ解析を外部の研究者等が行うことを促そうとするのであれば、モニタリングの内容やデータのクオリティ等に外部からの要望が反映される仕組みがあっても良いはずである。

II. 事故後の汚染状況の推移

こうした調査を通じて明らかにされてきたセシウム137 (¹³⁷Cs)による海洋汚染について、沿岸海域を中心に以下に概説する。¹³⁷Csは天然には存在しない核種であるが、大気圏内核実験等に由来するわずかな量が海洋に残存している。事故前の福島県沖などの海水では¹³⁷Csの放射能は概ね0.0015Bq/Lであった⁴⁾。

1. 海水の汚染の推移

(1) 大気からの沈着による汚染

事故当初に海洋へ到達した放射性物質の大半は、大気を経由したものであった。大気に放出された放射性物質の拡散や移動については、複数のシミュレーションで再現されている。個々のシミュレーションの結果は必ずしも整合的ではないが、発電所を中心に主要な部分は東側の太平洋上に向かってひろがり、非常に複雑なパターンになっている。¹³⁷Csなどでは、加えて降雨などに大きく影響を受ける沈着過程の不均一性も作用し、一層複雑な分布をすることになった。ただし海面に沈着した放射性物質は海洋内で希釈されながら海水と共に移動するため、沈着量の分布についての実証データはほとんど得られていない。

シミュレーション結果その他に基づいた推定によれば、大気に放出された ^{137}Cs のうち、2割程度が我が国の陸域に沈着し、残りの8割程度が海洋に沈着したとみられている⁴⁾。3月中旬から大気へ放出された放射性物質は、比較的短期間に太平洋上に広く分散した。広い範囲に分散したことに加えて、海水の鉛直的な混合の効果が重なって、発電所沖30kmの海水中で発電所沖合での3月下旬の海水の ^{137}Cs は最大10～20Bq/L程度であった。また、発電所近傍で最初に行われた海水分析では3月21日に約1,500Bq/Lの ^{137}Cs が検出されている。

(2) 直接流出による汚染

前述の通り、3月末になって周辺の海水から直接流出による極めて高い放射能が検出され始めた。 ^{137}Cs については、発電所の港湾外の直近で6万8千Bq/L(4月7日)に達するなど、沿岸では圧倒的に大きな影響があった。

大気に比べて、海洋での汚染物質の拡散は遅い。限られた観測データと各種のシミュレーション結果によれば、直接流出による汚染域は存在範囲を広げつつ、平均的には南に向かい、やがて黒潮が本州から東向きに離れていく黒潮続流域に達してから、東側に向かったとされる⁴⁾。発電所の南10～16kmの海岸では、数日から1週間程度遅れて1,000Bq/Lを超える汚染のピークがあった。一方、発電所からほぼ同じ距離の15km東の沖合では、同時期ないしやや遅れておおむね200～300Bq/L程度のピークがあった。沖合に比べて南側の海岸沿いの放射能が高かったことが、今回の福島海域の汚染の特徴である。いわき市沿岸では2～3週間遅れて数百Bq/Lに達するピークがあったと推測される。

福島県沿岸の海水中の放射能は、5月には1ヶ月に百～数百分の1になる速さで急減した。この放射能の急速な低下は、極めて短期間に集中して放射性物質が放出された今回の事故の特徴をよく表している¹⁾。その後は海水の放射能低下は緩慢になった。現在は、発電所直近で2～3Bq/L前後に達することがあるが、その他の福島沿岸海域では事故前のレベルの数倍から数百倍程度(0.01～1Bq/L)で、ほとんど変化しない状態で維持されている。発電所等からの継続的な流出と、太平洋への散逸が釣り合った状態になっていると考えてよい⁵⁾。

2. 堆積物の汚染の推移

海水中のセシウムはイオンとして海水に溶けているが、一部は浮遊する土砂や生物系粒子に吸着され、プランクトンなどの生物にも取り込まれる。こうした粒子が海底に沈降することで、 ^{137}Cs なども海底堆積物(底泥)に移行していく。このプロセスを主に担う沈降粒子は、プランクトンなどの遺骸や排泄物などの有機物を中心に、様々な粒状物が凝集して生成する。また、今回の事故では、海底堆積物と汚染海水の直接的な接触により堆

積物に放射性セシウムが吸着したプロセスが重要であるとする見解も出されている。

海底堆積物の ^{137}Cs 放射能は、沿岸の高いところで数千Bq/kg、多くは数十～数百Bq/kgである。発電所から同程度の距離の陸上の土壌と比較すれば数十から数万分の1程度、平均的にはおよそ100分の1程度でしかない⁴⁾。これは、海洋に到達した放射性物質の大部分は海水と共に移動しながら希釈されていき、ごく一部だけが堆積物に移行したためである。海底堆積物の放射性物質は、堆積物表層の粒子と共に移動する可能性がある。また海水の放射能が低下したことで、堆積物から放射能が脱着する可能性もある。実際に、海底堆積物の ^{137}Cs 放射能は減少傾向にあるが、減少は海水に比べて遅い。一方、場所によっては河川から放射性物質を含んだ陸上の土砂が流入するなどして、一時的に増加した場所もあった。堆積物の ^{137}Cs 放射能の測定値は、同一地点でも大きくバラつくことがある。これは沿岸での海底環境の不均一性を反映するものと考えられる。同一地点での時系列データの解釈にはこの点を考え合わせる必要がある。

海底堆積物に残存している ^{137}Cs について、国、福島県、東京電力のデータをもとに2012年4～9月の段階で試算した。銚子から金華山に至る海岸線の東方沖合の水深200mまでの海域について、表層堆積物の重量あたりデータ(全299データ)から面積あたり積算値(Bq/m²)を推定した。面積あたりの積算値への換算は、東京海洋大学の堆積物データ等から得られた相関関係を用いた。この積算値を海域面積に乗じて全残存量を算出すると93.5TBq(テラベクレル、10¹²Bq)になる。汚染水による流出量が3.5～10PBqとすれば、1～3%程度が残留することになる。なお、同じ海域での海水についての残存量は、国と東京電力の全636データから15.3TBqと算出された。

3. 海洋生物の汚染の推移

^{137}Cs などの放射性物質は、海水と餌の両方から生物に入る。早くも2011年4月初旬には、コウナゴ(イカナゴの稚魚)から当時の規制値を上回る放射性セシウム(^{134}Cs と ^{137}Cs)とヨウ素131が検出された。稚魚は相対的に成長率が高く、体外との物質交換も早いため、海水やプランクトンの放射性物質が比較的速やかに移行したものとみられる。しかし一般には、魚類は体内での放射性物質蓄積に時間を要する。特に餌からの移行については、食物連鎖のそれぞれの生物での遅れが積み重なる。 ^{137}Cs については、多くの魚類で2011年夏から冬頃にかけて放射能が最も高くなり、以後は減少に転じた。

海洋生物は、絶えず体内に入ってくる余分な塩類を積極的に体外に捨てる仕組みを持っている。福島沿岸海域では、海水の放射能は速やかに低下したから、生物体内の ^{137}Cs も比較的速やかに排出されるはずである。一般

に魚類では、環境中の放射能レベルが長く一定に保たれれば、体内の放射性セシウムは重量あたりで海水のおおむね 100 倍程度に濃縮される⁴⁾。現在の海水の放射性セシウムレベルで考えると、発電所の直近を除き、規制値 (100Bq/kg) を超える魚が出現するとは考えられない。

魚類の ^{137}Cs は実際に低下が続いているが、一部に低下が遅い種類もあり、依然として規制値を超える個体が捕獲されている⁶⁾。これは、後述のように放射性セシウムの移行が続いているためと考えざるを得ない。

4. 発電所と河川からの継続流入

(1) 発電所からの流入

前述の通り海水中の ^{137}Cs 放射能の低下が緩慢なことから、発電所からの放射性物質の流出が継続している可能性が早くから指摘されていた。発電所の専用港湾の海水の ^{137}Cs に着目すると、現在でも港湾外より港湾内の放射能が高く、港湾内でも 1～4 号機に近い場所ほど高くなる状態が続いている。港湾内の各所に設置されたシルトフェンス等は、海水の動きを完全に止めるものではない。外海に面する港湾口は開放されており、5～6 号機の冷却用海水は港湾内でくみ上げられて港湾外へ放流されている。港湾内外の海水は今も絶えず入れ替わっている訳で、この濃度差が維持されていることは、 ^{137}Cs が継続的に外海へ向けて移行していることの証拠にもなる⁷⁾。

筆者は東京電力の公表データを用いて、発電所からの継続流出量を推定した⁸⁾。2 号機取水口の汚染水流入が封止された 2011 年 4 月 6 日以降、発電所専用港湾海水の ^{137}Cs 放射能は急減している。その減少は指数関数に良く適合し、時定数は 0.44 日^{-1} と計算された。港湾内外の放射能分布等を考えると、この時定数は港湾中央部の海水交換率とみなしてよい。すなわち、港湾中央部では海水の 44% に相当する量が毎日置き換わっている。この海水交換率はその後も変化したとは考えにくい。

1 日に約半分の海水が置き換わるにもかかわらず、港湾内の ^{137}Cs 放射能低下はきわめて緩慢で、月単位程度ではほぼ一定と見なすことができる。これは海水交換による港湾からの流出と港湾への放射能供給が釣り合っていることに他ならず、この関係から ^{137}Cs の外海への流出量 (= 港湾への供給量) を計算することができる。2012 年 4 月 1 日から 9 月 30 日については、1 ヶ月平均で 0.24TBq になる。2011 年 6 月から 2012 年 9 月までを合計すれば 17.1TBq で、これは事故当初の ^{137}Cs の流出量の 1% 以下である。

(2) 河川からの流入

^{137}Cs は面積あたりで見れば、海洋に比べて圧倒的に陸上の方に多く残留している。従って、河川等を経由しての海洋への流出は無視できない可能性が高く、研究の一つの焦点になっている。例えば、東京湾の底泥では、荒

川河口などを中心に比較的高い ^{137}Cs 放射能が検出されている。これは主に関東地方の陸地に沈着した放射能が粒状物などとして河川経由で運ばれて蓄積しているためである。福島沿岸海域でも同様の流入が起こっている。

極めて単純な試算ではあるが、筆者は残存量の計算と同じ銚子から金華山に至る海岸線に流入する河川について、2012 年 4～9 月の ^{137}Cs 供給量を見積もっている。今後の研究が進めばより正確な数値が得られるようになるはずで、以下は暫定的な数字とお考えいただきたい。河川水流入量については、降水量に流域面積を乗じ、流出係数を 0.7 として概算値とした。河川水の ^{137}Cs 放射能は環境省のモニタリングを参照したが、ほぼ全てのデータが 1Bq/L 以下と報告されている。1Bq/L として毎月 1.3TBq の流入と計算される。実際には、福島県内の河川水について高感度分析が行われたデータによれば 2011 年段階でほとんどが 0.1Bq/L 以下であるから、最大でも 1 月に 0.13TBq あるいはそれ以下として良いであろう。一方、河川からの土砂 (浮遊砂および掃流砂) については、比流出土砂量を $300 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ と仮定し、流域面積と環境省の河床および河岸堆積物の ^{137}Cs モニタリングデータから、毎月 0.78TBq と計算した。海水、堆積物の残存量と発電所及び河川からの流入量を第 1 図にまとめた。

Ⅲ. 残された不明点と課題

1. 一部魚種の放射性セシウム残存

前述のように、海底付近に生息する、いわゆる底魚などの一部では体内の放射性セシウムレベル低下が遅い魚種がある。これは、体外からの放射性セシウムの移行が続いているためと考えざるを得ない。発電所周辺を除けば、海水の放射能は十分に低下したから、可能性があるのは餌である。食物連鎖に放射性セシウムが継続的に入っている可能性がある。底魚に放射性セシウムレベル

第 1 図 2012 年 4～9 月における銚子沖から金華山沖の水深 200m までの沿岸海域 (図左側) における ^{137}Cs の残存量と継続流入量の推定値

の低下が遅い種が多いことから、まず堆積物からの移行が考えられる。セシウムは鉱物粒子への吸着性が強く、特に特定の種類の粘土鉱物とは強い結合をすることが知られている。粘土鉱物と強く結合した放射性セシウムは生物へ移行しにくい。しかし、海底堆積物中には、生物の遺骸や排泄物などに由来する有機物性の粒子が含まれる。こうした有機物に含まれる放射性セシウムは比較的生物へ移行しやすいと考えられ、候補の一つである。

福島第一原子力発電所や河川からの継続的な放射性セシウム流入が原因となる可能性も指摘されている⁶⁾。発電所直近(港湾外)の放射性セシウムは、2~3Bq/Lに達することがあるから、規制値(100Bq/kg)を超える魚が港湾内だけでなく港湾外でも出現し続ける可能性は高い。ただし、これだけでは沿岸海域の各地で見つかる放射能レベルの高い魚の出現を説明するのは困難と考える。河川については十分に研究が進んでいないが、今のところ一部の汽水性の魚種(河川水と海水が混合する水域に生息する魚種)を除けば、河川の影響がはっきり示された研究例はない。従って、福島県や近県で規制値を超えた魚類の多くは、継続流出している放射性セシウムではなく、事故当初に放出されて海底環境に残留している放射能による可能性が高いと考えられる。この点は研究の大きな焦点になっている。

福島県の沿岸海域では、試験操業を除いて沿岸漁業全体が休止状態になっている。規制値を超える個体の出現がなくなる限り、その魚種についての出荷規制は解除されず⁹⁾、従って漁業再開は困難である。放射能レベルが高い個体が出現する機構の解明が急がれる。

2. 発電所からの放射能流出

2013年の夏になって発電所敷地からの放射性物質の流出が大きくクローズアップされた。発端が地下水のトリチウムやストロンチウム90の放射能上昇であったため、地下水の問題が大きく注目されている。しかし海洋への流出経路は、地下水だけではないと考えられる。セシウムは細粒の粘土鉱物に吸着されやすいことが知られているから、土壌を浸透するようなルートでの流出は小さい。東京電力の公表データを見ると、港湾取水口の¹³⁷Csは、3号機の前面が最も高い。放射性セシウムを相対的に多く含む汚染水が地下坑などに残存し、おそらくは配管やクラックなど大きな隙間を経て流出するものであろう⁴⁾。流出源となる汚染水は、建屋地下、地下坑、管路などさまざまな場所にあって、場所によって放射性セシウム、ストロンチウム90、トリチウムの相対比が異なっている。流出源も流出経路も複数存在し、その実態は明らかになっていないと見るべきである。十分に実態を把握した上で、将来的な危険性も含めて、対策の優先順位を決めていくべきであろう。

東京電力は、建屋地下から汚染水を汲み上げてセシウ

ムを除去し、その一部を脱塩処理した上で原子炉注水に使い、残りをタンクに保管している。注入される水にはトリチウムだけでなくストロンチウム90なども含まれている(脱塩処理では十分除かれない)という。この水は核燃料と接触して建屋地下に戻り、周辺から流入する地下水によって希釈されている。セシウムの除去によってストロンチウム90とトリチウムは相対的に増加する。これらの核種の海洋への流出比をみると、放射性セシウムの流出が減少したのに対して、ストロンチウム90やトリチウムの減少が小幅にとどまっていることが分かる⁴⁾。この流出比の変化はセシウム除去処理が関係している可能性もある。今後はセシウムだけでなく、ストロンチウム90やトリチウムについても注視が必要になる。

事故時点で1~3号機の核燃料中には700PBqの¹³⁷Csがあったという。これまでに環境中へ放出されたか、汚染水から除去処理された量はその半分以下と思われる。従って残りはまだ原子炉内に残っているはずであるが、その存在場所や状態は明らかではない。また、くみ上げた汚染水中のセシウム以外の放射性核種は、タンク内に水として残ったままである。多核種除去設備(ALPS)¹⁰⁾による除去がうまくいっても、トリチウムを含む汚染水が残ることになる。恒久的な水の封じ込めは簡単ではない。タンクからの漏洩が頻繁に起こっている現状から考えても、将来の海洋汚染の危険性は依然として存在する。

— 参考資料 —

- 1) N. Yoshida, J. Kanda. *Science*, 336, 1115-1116 (2012).
- 2) The Christina Science Monitor (2013),
<http://www.csmonitor.com/Environment/Energy-Voices/2013/0828/Fukushima-leak-Who-will-clean-up-the-mess-video>
- 3) 朝日新聞特別報道部, プロメテウスの罠5(第25章 海鷹丸が来た), p.13-54, 学研(2013).
- 4) 神田穰太. 環境情報科学, 41(2), 21-27 (2012).
- 5) 神田穰太. 科学, 83(11), 1284-1286 (2013).
- 6) K. Buesseler. *Science*, 338, 480-482 (2012).
- 7) 神田穰太. 科学, 83(6), 634-638 (2013).
- 8) J. Kanda. *Biogeosciences*, 10, 6107-6113 (2013)
- 9) 原子力災害対策本部(2013),
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/pdf/2r9852000002xsqt.pdf>
- 10) 東京電力(2013),
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/fl/genkyo/fp_cc/fp_alps/index.html

著者紹介

神田穰太 (かんだ・じょうた)
東京海洋大学大学院海洋科学系
(専門分野) 同位体標識実験等による海洋環境の物質循環解析、事故後に沿岸環境の放射能汚染に関わるようになった。