

図4-14 座礁事故原因

錨泊海難は、走錨→漂流→座礁・衝突という形で発生し、事故に至るまでの原因と対策を纏めると以下の通りである。

- ① 走錨を検知するまで時間を要する。
 - ▶ 守錨当直を厳重に行い、可能な限り早い段階で走錨を検知することが重要。
- ② 走錨している錨を巻き上げ、自船の姿勢制御が可能になるまでに時間を要することを認識しておく。
 - ▶ 迅速に対応するため、走錨時の非常計画を策定しておく。
- ③ 走錨を始めてから姿勢制御を掌握出来るまでの間、漂流しても座礁しないよう危険水域までの距離や水域が確保出来ていない。
 - ▶ 多数の船舶が港外避泊して錨泊しているような場合、風下側に安全水域を確保することは難しい状況にあります。このような場合は錨泊を継続することを諦めて漂泊体制とすることも必要です。

また、走錨事故を避けるための基本的な考え方は以下の通りです。

- ① 錨泊に際し、事前に考慮する事項
 - ▶ 走錨しにくい錨地（地形、底質、水深等）を選定。
 - ▶ 走錨しても事故に至らないための浅瀬や他船との距離を確保。
- ② 守錨時における技術的方策
 - ▶ 風向 / 風速、波高 / 周期、流向や流速等の外力を把握。
- ③ 走錨の余地・早期検知
 - ▶ 外力と把注力の関係を知る。
 - ▶ 振り回り走錨を検知する（電子海図や GPS などの情報を旨く活用する）。
- ④ 走錨後の対策措置
 - ▶ 揚錨し、自船の姿勢制御を出来る限り早く可能にする。
 - ▶ 振り回り走錨の状態の内に揚錨する。

図4-15 走錨事故の原因と対策

<現状の民間提供技術の例>

株式会社ウェザーニューズは、座礁事故対策を支援するため、海運業界向けに「NAR (Navigation Assessment & Routeing) サービス」を開発した。これは、陸上の運航管理者や関係各社に対して、船舶の座礁の危険性を自動検知して通知する世界初のサービスで、船舶の航路データをもとに、浅瀬や漁船の操業海域など、危険性の高い海域への接近を計画または実際に航行した場合、あるいは計画航

路から逸脱した場合に、自動でアラート通知するものである。2021年5月から提供を開始しており、国内外の外航海運大手船社を中心に採用が見込まれている。

今後は、台風接近時の強風による走錨リスクや、荒天時の船体動揺リスクなどの通知機能も追加し、NARを座礁対策だけでなく、走錨や動揺といった様々な航海リスクへの対策支援まで拡張される予定である。

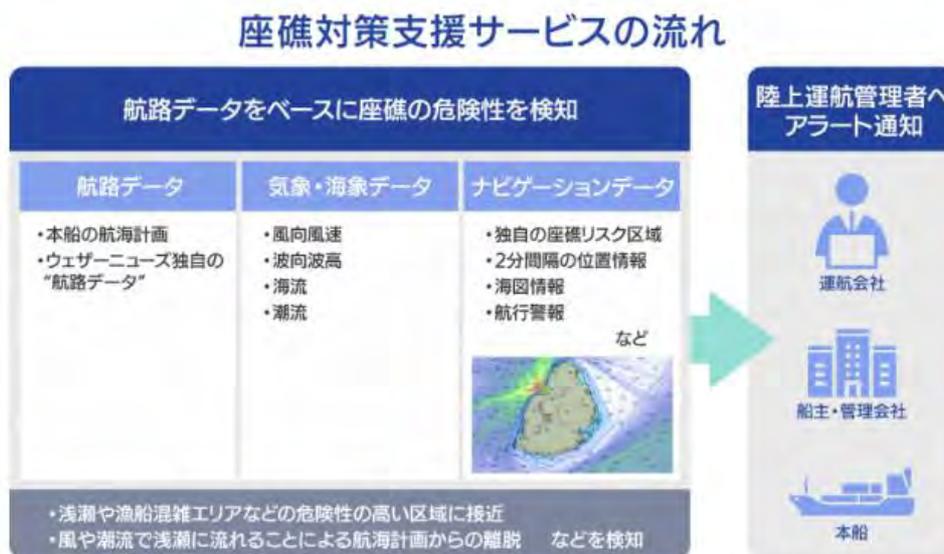


図4-16 世界初の座礁対策支援サービス⁵²

<対処に必要な将来技術>

<対処に必要な将来技術>

座礁海難はヒューマンエラーが原因の大半を占め、完全自律運航船の導入により大幅に減少させることが期待できる。自律運航と有人操船を問わず、座礁を防ぐためにはアンダー・キール・クリアランス（船底と海底と間の安全余裕）を確保することが必要である。

海底地形は土砂の流入等により変化する。特に、サンドウエーブが生じる場合、翌日に数メートルから十数メートルも水深が変化することが知られている。このため、海域によっては空間的に密な水深情報を高頻度で更新する必要がある。海図水深は最低水面（潮位が最も下がった時の水面の位置）から測定したものであるが、最低水面は、観測値に基づき天体の運行をもとに推算したものであって、気圧変化や風の吹き寄せによる変化は考慮されていない。このため、航路上のブイ等で得られるリアルタイムの水位情報から得た各地点でのリアルタイム潮位が必要で、これを水深情報に加味したダイナミック水深が、アンダー・キール・クリアランスを得るためにまず必要である。

船底の位置は、船舶の動揺や搭載量の変化（搭載した清水は運航とともに減少する）、航行速度、海水温・塩分等により動的に変化する。その時点における船体の三次元的な最低位置（デジタルツイン）

⁵² 株式会社ウェザーニュース<https://jp.weathernews.com/news/35429/>

及び、ダイナミック水深の引き算でアンダー・キール・クリアランスが把握できる。これに、予定航路、予測される船体の動き、風、波浪、海流・潮流を加味し、以後の船体の動きと、その場合の各地点におけるアンダー・キール・クリアランスを予測し、安全な航路を決定することが必要である。このために必要な情報及び技術は以下のとおり。

- 高頻度に更新される、数メートルグリッドの海底水深モデル（DTM）

<必要な技術>

- 高頻度の水深測定を面的に行うことのできる航空レーザー測深 <既存技術>
- AUVによる巡回水深測量（航空レーザーが使用できない海域で） <開発要素あり>
- DTM構築システム <開発要素あり>

- 海面高のリアルタイム把握

<必要な技術>

- 既存の航海用ブイまたは、OMNIのような漂流ブイによる海面高のリアルタイム把握 <開発要素あり>
- 海面高リアルタイムデータの潮汐モデルへのアシミレーション <開発要素あり>

- 船体位置の三次元的リアルタイム把握

<必要な技術>

- GPSによる、デジタルツインとしての三次元的な船体位置把握 <開発要素あり>

- 現在のアンダー・キール・クリアランス及び将来予測

<必要な技術>

- 上記データからのアンダー・キール・クリアランスの把握 <開発要素あり>
- リアルタイムの風、海流・潮流、波浪及び、これらの将来予測値による船体動揺の予測 <開発要素あり>
- 風、海流・潮流、波浪及び航海計画に基づく船体位置の予測 <開発要素あり>

アンダー・キール・クリアランスの将来予測には、高速計算機やAIが必要と考えられる。このため、このような支援の計算を陸上側で行うことも考えられ、そのためには信頼性の高い高速通信が必要である。 <開発要素あり>

第5節 環境

脅威① 汚染物質の流出

1) 原子力発電所由来のトリチウム

<現状>

トリチウムとは、三重水素と呼ばれる水素の放射性同位体である。トリチウムは、水分子の一部として大気中の水蒸気、雨水、海水、水道水にも存在している。また、トリチウムは、自然界の宇宙線で生成されるほか、原子力発電所を運転することで人工的に生成される。

原子力災害		原発事故由来の放射性物質				
	H-3 トリチウム	Sr-90 ストロンチウム 90	I-131 ヨウ素131	Cs-134 セシウム134	Cs-137 セシウム137	Pu-239 プルトニウム 239
出す放射線の種類	β	β	β, γ	β, γ	β, γ	α, γ
生物学的半減期	10日 *1 *2	50年*3	80日*2	70日～ 100日*4	70日～ 100日*3	肝臓:20年 *5
物理学的半減期	12.3年	29年	8日	2.1年	30年	24,000年
実効半減期 (生物学的半減期と 物理学的半減期から計算)	10日	18年	7日	64日 ～88日	70日 ～99日	20年
蓄積する 器官・組織	全身	骨	甲状腺	全身	全身	肝臓、骨

実効半減期：（関連ページ上巻P27「内部被ばくと放射性物質」）

実効半減期は、生物学的半減期の表中に記載した蓄積する器官・組織の数値から計算。

*1：トリチウム水、*2：ICRP Publication 78、*3：JAEA技術解説,2011年11月、*4：セシウム137と同じと仮定、

*5：ICRP Publication 48

図5-1 原発由来の放射性物質⁵³

東京電力福島第一原子力発電所の事故で発生した、放射性物質を含む汚染水は、多核種除去設備（Advanced Liquid Processing System、ALPS）によってトリチウム以外の放射性物質を、環境放出の際の規制基準を満たすまで繰り返し浄化する（ALPS処理水）。トリチウムは酸素と結合して水になる（三重水素の放射性同位体）ため、水から分離して取り除くことが極めて難しい。

⁵³ 環境省. 原発由来の放射性物質. Retrieved from: <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r3kisoshiryo/r3kiso-02-02-04.html>

日本政府は、2021年4月、風評被害対策を徹底することを前提に、ALPS処理水を海洋放出する方針を決定した。トリチウム濃度を世界保健機関（WHO）が定める飲料水基準の7分の1（国の定めた安全基準の40分の1）程度まで処理したうえで、原子力発電所の敷地内から海底トンネルを通して放出する計画である。海水で希釈しながら長期間をかけて放出するため、沖合や外洋での継続的な影響評価が欠かせない。

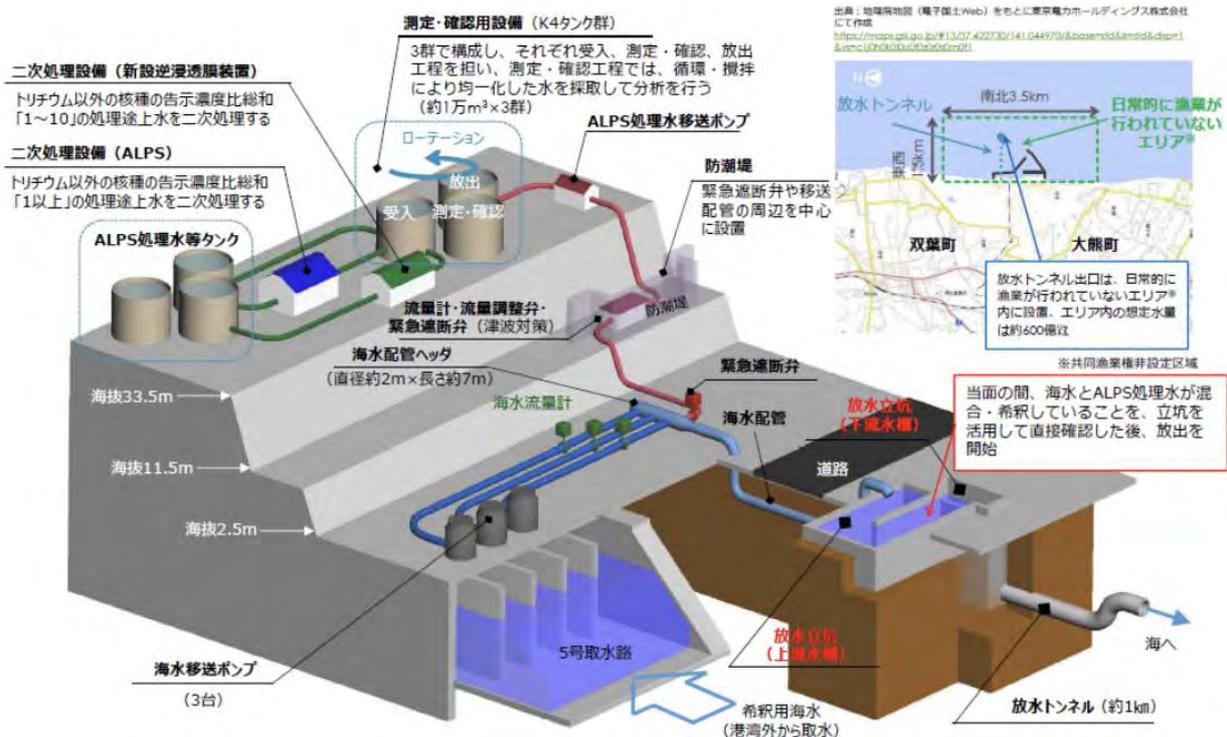


図5-2 海洋放出の全体像⁵⁴

<対策>

放出されたトリチウム濃度を常時継続的にモニタリングできる観測装置の開発及び、その測定結果に基づいたトリチウム濃度変化のシミュレーションと、結果の可視化が有効と考えられる。現在、環境省等が実施する海域モニタリングの結果が専用ホームページ⁵⁵上に公表されている。

東京電力では、ALPS処理水の放出が海洋生物に影響を与えるかどうかについて飼育試験を行っている。「海水」と「海水で希釈したALPS処理水」の環境を作り、ヒラメやアワビ、海藻などを飼育して生体内のトリチウム濃度を計測し、影響を測定・評価している。

⁵⁴ 東京電力. 「処理水ポータルサイト」. Retrieved from: <https://www.tepco.co.jp/decommissi on/progress/watertreatment/oceanrel ease/>

⁵⁵ 環境省. 「ALPS処理水に係る海域モニタリング情報」. Retrieved from: <https://shori sui -moni toring. env. go. jp/>

東京電力福島第一原子力発電所周辺 5km以遠（海水トリチウム）

最終更新日：2023年2月28日

(単位：Bq/L)

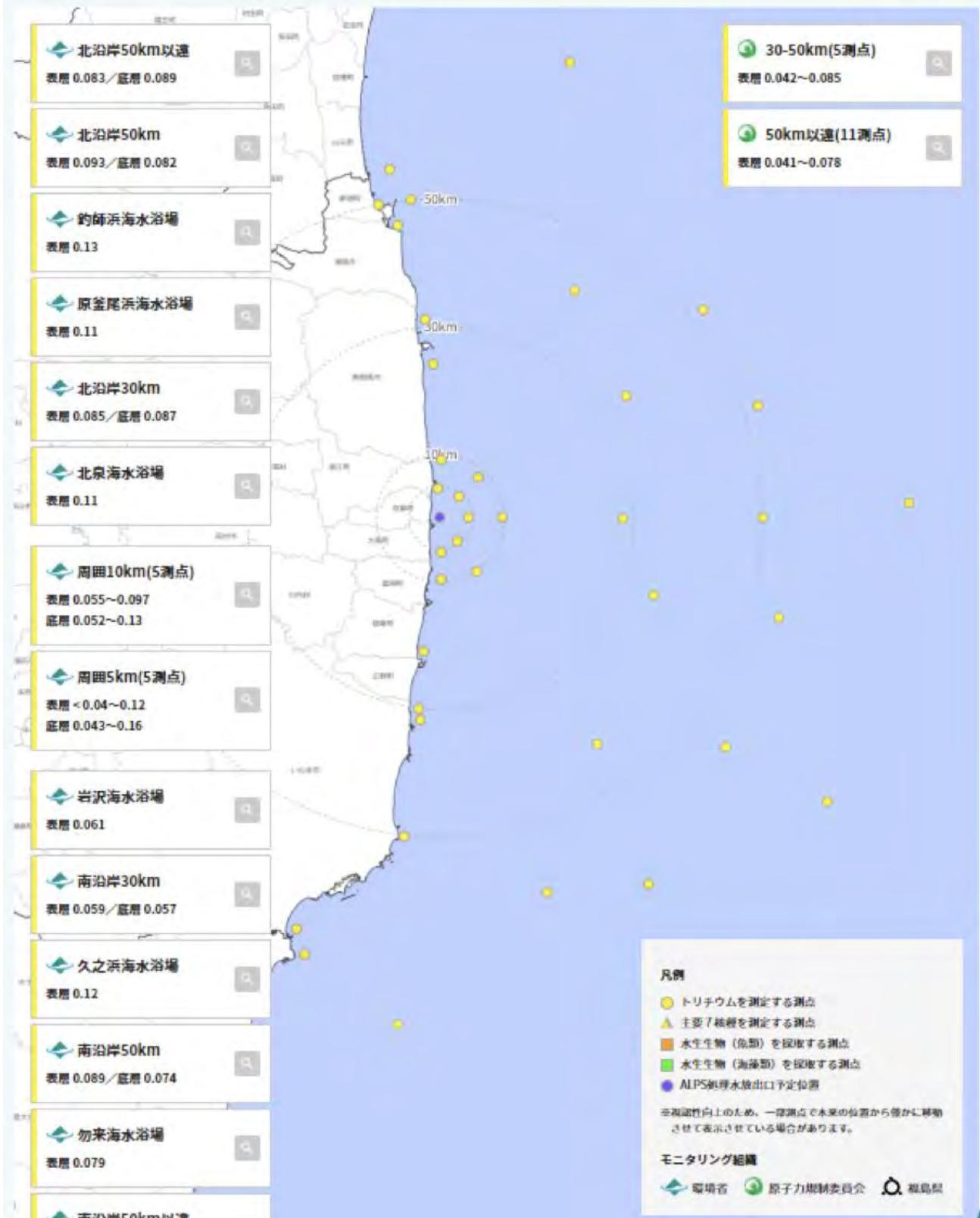


図5-3 公表されるモニタリング結果

<技術>

前述のように、トリチウムは環境中に様々な形で存在するため、原子力発電所から放出する今回のケースでは、大気や水などの形態に応じた検出方法が必要となる。

一般的にトリチウム濃度の測定には、低自然係数率仕様の液体シンチレーションカウンター（LSC）が適するとされており、自然環境におけるトリチウム濃度を知るためにはSPE電解によるトリチウム濃縮を行う必要がある⁵⁶

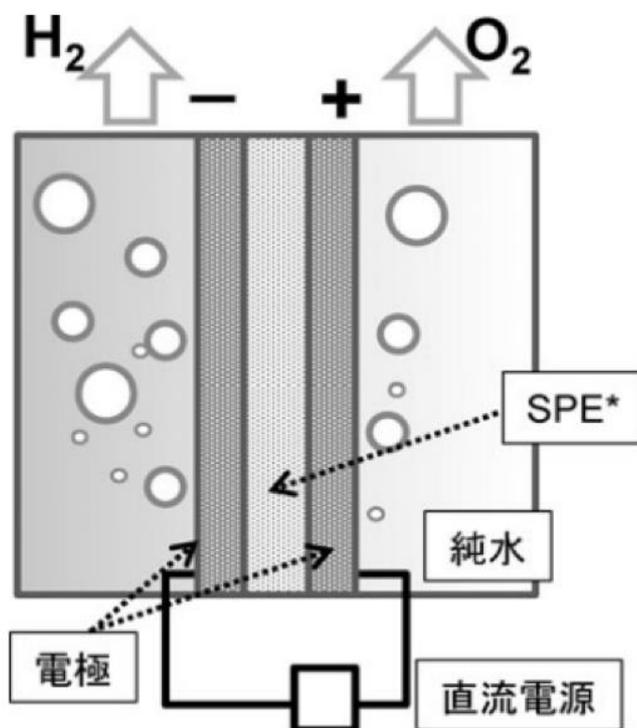


図5-4 SPE電解濃縮システムの模式図

2) 海洋プラスチック

<あるべき論>

浮遊性があり、長期間分解されないプラスチックが海洋に流出すると、状態の把握や制御ができないことが問題とされており、流出を抑える対策と、流出の状況を把握し、回収する技術が必要である。

海洋に浮遊するプラスチックは排出元の特定が困難で、国境を超えて移動拡散するものを、どこが

⁵⁶ 柿内秀樹, 4. 環境分析のためのトリチウム電解濃縮 (< 小特集 > トリチウム分離・濃縮技術). 「プラズマ・核融合学会誌」, 92(2016) 26-30.

責任をもって回収するかという国際協力体制が求められる。自国に優れた検出・回収技術があれば、国際貢献として周辺国に提供することで地域への流出を抑えることができる。

海洋プラスチックの更なる問題は、長期間浮遊する間の微細化現象（マイクロプラスチック）と、その残留性への理解が不十分であると指摘されている。プラスチックは固化した油に類似しており、親油性の化学物質との親和性が高い。このため、生態系に影響を与えるホルモン物質や発がん性物質を貯留する傾向があるといわれるが、実態はよくわかっておらず、劣化したマイクロプラスチックの安全性評価手法の確立が必要である。

海洋性プラスチック問題の原因として、プラスチックを使い捨てる習慣が問題である。また、ロングライフプラスチックの永続的な浮遊性が問題であることから、プログラムされた物質を分解するプラスチックへの置き換えが求められており、生分解性プラスチックの海洋での浄化実態に関する情報の蓄積が重要である。

<あるべき姿と技術的解決策>

海洋に流出した浮遊性のロングライフプラスチックは、フィルム状のものや小型のものを海洋生物が誤食することで、生態系バランスが崩れる可能性がある。また、大型のものは、表面に海洋生物が付着し、「流れ藻」的効果で広範囲に生物が分散して生態系を変化させる可能性がある（バラスト水による港湾の生態系破壊に類似した課題）。これには、流出元と、全球的な海流の把握が必要で、正確なシミュレーション技術の確立が望まれる。沿岸域における実態の把握は、河川からの流出量や海岸線の漂着物から推定できるが、外国由来のものが混在する外洋の実態を把握する技術はなく、新たなモニタリング手法の確立が必要である。

2009年の予測において、魚の生物量と海洋プラスチックの総量が2050年に等しくなると報告されたが、海岸や海域での実サンプリングで回収された海洋プラスチックは、予測値をはるかに下回っていた。これは、どこかの海域や沿岸に集積、または生物付着などにより沈降していると考えられているが、実態は不明である。海洋プラスチックの安定化のプロセスは解明されておらず、これを明らかにする手法の確立が必要である。

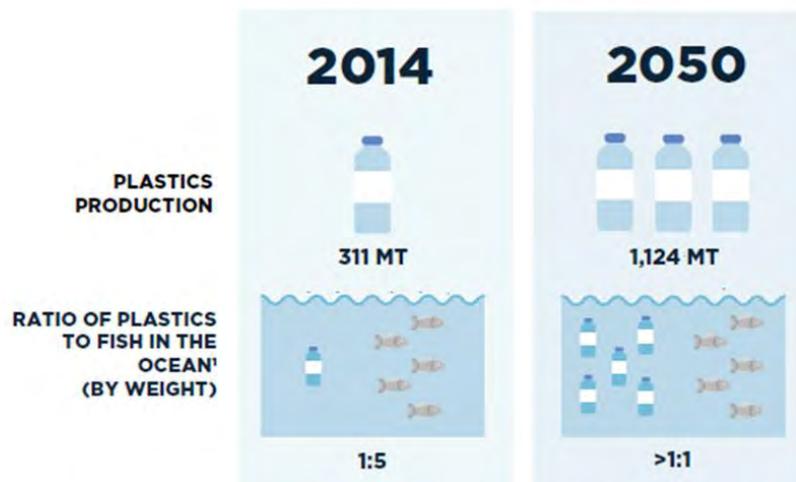


図5-5 海洋プラスチックの増加予測⁵⁷

浮遊性でロングライフの流出したプラスチックの拡散シミュレーションにより、高濃度に集積する海域が予測され、調査船による調査や、ヨットレースによる定期的なネットサンプリングによる実測が行われた。その結果、緯度30度付近の海域で海洋プラスチックが多く検出されることがわかってきた。これは、海流に大きく依存している。沿岸に漂着するプラスチックは、海岸清掃技術の開発が必要で、沖合に集積する海洋プラスチックは、それらを集めて効率的に回収する技術が必要である。

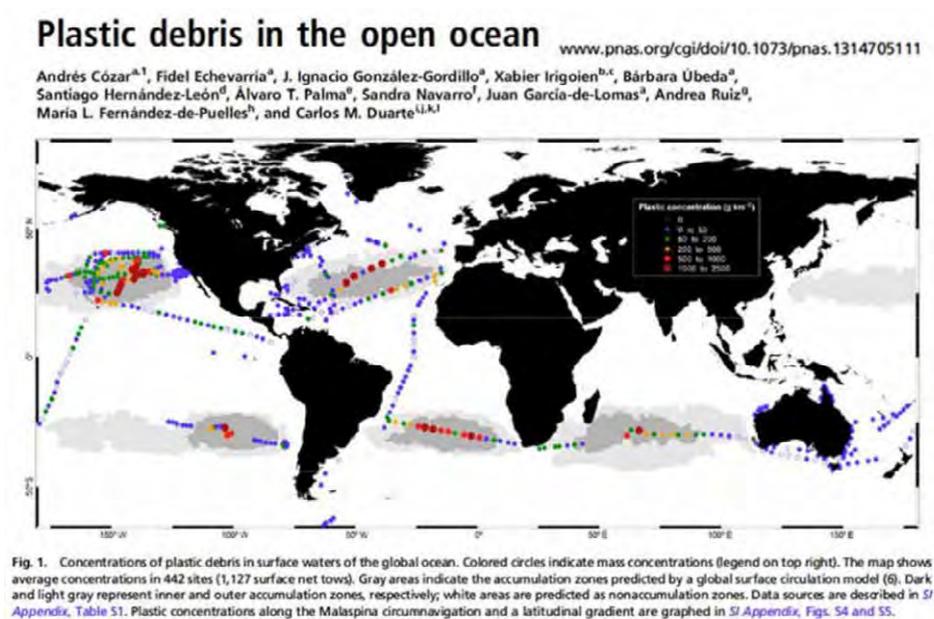


図5-6 プラスチックごみの漂流状況⁵⁸

※南半球のサンプリングは、世界周回ヨットレース中に実施された。

劣化、微細化したマイクロプラスチックは、海洋生物の食物連鎖により生物濃縮される可能性があるが、実態は不明である。これらの実態を把握するため、海洋生物の腸内の状態を調べる必要があり、基礎データの蓄積が求められている。プラスチックなどの材料には、JIS規格やISO規格により、化学物質の「安全データシート」が添付され、商品の製造者は、材料が環境に与える影響を把握しているが、海洋関係者は把握していない。水生環境有害性を把握するとともに、実際の生物への取り込み量を明らかにする必要がある。また海水中での劣化状況を把握するデータの蓄積が求められる。

⁵⁷ 世界経済フォーラムレポート『The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics』

⁵⁸ Ocean adventurer Yasujiro Shiraiishi から引用。