

### 産学官との連携

### 産学官との連携

# 科学の 峰々 113

九州大学 応用力学研究所 附属大気海洋環境研究センター 主幹教授

いそべ あつひこ  
**磯辺 篤彦 先生 に聞く**

## 世界の海で増え続けるごみ マイクロプラスチックの問題と 社会が目指すべき持続性 上

聞き手：梅垣喜通 日本科学機器協会 広報委員長  
高橋秀雄 日本科学機器協会 広報副委員長  
夏目知佳子 日本科学機器協会 広報委員  
岡田康弘 日本科学機器協会 事務局長  
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

取材日：2022年2月26日  
(一社)日本科学機器協会 会議室

### 磯辺 篤彦 先生のプロフィール

#### 【学歴】

1986年 4月 愛媛大学大学院工学研究科 入学  
1988年 3月 愛媛大学大学院工学研究科 修了

#### 【学位】

1994年 2月 博士(理学) 東京大学理学系研究科で博士(論文提出による)

#### 【経歴】

1988年 4月 株式会社エコー入社  
1990年 3月 同 退社  
1990年 4月 水産庁水産大学校助手採用  
1994年11月 九州大学大学院 総合理工学 助教授  
(2004年12月～2005年9月 米国ウッズホール海洋研究所客員研究員)  
2008年 4月 愛媛大学 沿岸環境科学研究センター 教授  
2014年 4月 九州大学 応用力学研究所 教授 現在に至る

#### 【受賞】

2018年 環境大臣賞 環境保全功労者表彰  
2019年 内閣総理大臣賞 海洋立国推進功労者表彰  
2020年 科学技術賞(研究部門) 文部科学大臣表彰  
2020年 西日本文化賞(西日本新聞社)  
2021年 九州大学/主幹教授の称号授与

#### 【書籍】

「海洋プラスチック問題の真実 マイクロプラスチックの実態と未来予測」  
(化学同人/DOJIN選書)

#### 【役職等】

2020年現在、以下の学会役員及び政府委員等を務める  
環境省：環境研究総合推進費SII-2・海洋プラスチックごみ研究プロジェクト・プロジェクトリーダー  
JICA/JST SATREPS 東南アジアにおける海洋プラスチックごみ研究プロジェクト・プロジェクトリーダー  
環境省：海岸漂着物対策専門家会議委員  
国際科学会議(ICSU)/ 海洋科学委員会(SCOR):海洋プラスチックごみワーキンググループ フルメンバー  
国連環境計画 / 海洋プラスチックごみに関する専門家会合委員  
日本海洋学会 評議員、日本海洋学会沿岸海洋研究会 副会長



### プラスチックの特性が 海洋環境のデメリットに

磯辺先生は、海洋物理学を専門とされ、現在の主要テーマとして海洋プラスチックごみの研究に取り組まれています。海洋物理学とは、どういった研究分野なのでしょう。

磯辺 海洋物理学は、どのように波が立ち、海流が生まれるのか等、海で起こる物理現象を研究する学問分野です。なぜこの海流が、この強さで、この場所に流れているか等を考える学問で、より簡単に言うと「海流の専門家であり、海流に流される物の研究者でもある」ということとなります。流される

物の1つにプラスチックごみも含まれるわけです。

海洋プラスチックごみには、本格的に研究を始める以前から、強い関心を抱いていました。フィールドワークで海のデータを取るために、漁師さんをお願いをして定置網に観測機器を設置させてもらい、日本海や東シナ海、九州各地の島しょ部など、あちこちを行き来して観測する中で、たくさんの海洋ごみがある様子を目にしていたからです。

2007年頃から本格的に海洋プラスチックごみについての研究を始めました。その中でも、非常に小さなプラスチックごみである『マイクロプラスチック』に非常に強い興味を持ち、研究を続けています。

門外漢向けに、海洋プラスチックごみの現状など、基本的なことからご教示いただけますか。

磯辺 プラスチックが世の中に出回るようになって、おおよそ60～70年が経ちます。発明されたプラスチックは密閉性が高いうえに、安価で軽くて扱いやすく、腐食分解もしないので清潔であるという優れた特徴があることから、大量に使用されてきました。しかし、そのプラスチックの優れた特徴は、地球環境の保全という観点から見ると、大変なデメリットになるのです。それは安価なので平気で捨てられ、軽いので捨てられると遠くに散らばり、腐らないのでいつまでも自然界に残り続けてしまうのです。



沖縄県石垣島の海岸に漂着した海岸プラスチックごみ(ペットボトルや発泡スチロールなど) 2011年石垣島にて撮影

## 産学官との連携

この約70年間に廃棄処分されているプラスチックは、50億トンにもなると言われています。これには正しく処理された量に加えて、いわゆるポイ捨てや不法に捨てられるなどで、環境に漏れ出ているプラスチックがたくさん含まれています。そのうち海に出てきたものが海洋プラスチックごみというわけです。

### 環境に漏れ出ている量が全体の1%でも問題になるプラスチック

日本は年間どれくらいのプラスチックを使い、また処分しているのでしょうか。

**磯辺** 日本は2020年で年間約900万トンのプラスチックが使われ、ほぼ同じ程度の量が廃棄処分されています。そのほとんどは正規の方法で処理され、燃やされたり、再利用されたり、埋め立てられて

います。一方で、環境に漏れ出ているプラスチックの量は年間10万トン規模になると言われています。つまり、何気なく道端に捨てられるプラスチックなどを全部集めると、これだけの量になるわけです。しかし、この約10万トンという量、割合で見ると1%程度だということに、お気づきになりましたでしょうか。

日本の場合、この1%を問題にしているわけですね。

**磯辺** そうなのです。実は1%を0%にするというのは非常に難しく、現実的に不可能と言って差し支えないでしょう。つまり、プラスチックは必ず環境に漏れ出てくる物になります。こうしたプラスチックは、Miss Managed Plastic Waste（管理されていないプラスチックごみ）という言い方をされ、世界中では年間約3000万トンの量があります。

そして、そのうちの7%近い約

200万トンが毎年海に出ていると言われています。これらは先ほど触れたプラスチックの特徴ゆえにいつまでも残り続け、軽いために拡散してしまうので、世界中の海に広くプラスチックが散らばっているという状況が生まれています。これが環境に負荷を与えるという事で問題になっているわけです。

海に出たプラスチックごみは、具体的にどんなものが多いのでしょうか。

**磯辺** これについては2021年に「Nature Sustainability」というNatureの姉妹誌に、私も著者の1人として参加し、発表した論文があります。世界中の人々が海、海岸、深海、川、水辺などにあるプラスチックごみの情報を合計1200万件持ち寄って分析し、まとめた論文です。この論文によると、プラスチックごみの中で、1番多いプラスチックはレジ袋で約14%でした。レジ袋を含め食品をお店から持ち帰る時に用いるプラスチックごみが約3分の2、そして全体の約20%が漁具であったと言われていました。それは嵐などに巻き込まれて流されたものもあると思われしますが、こうしてみると、結構な量があるという結果になりました。

**磯辺** 先生の著書「海洋プラスチックとごみ問題の真実」を拝見すると、海岸に漂着したプラスチックごみの写真が数々あり、この海のプラスチック問題の深刻さを思い知らされます。その中で「マイ



長崎県五島列島の海岸に漂着したプラスチックごみ・缶・木片など 2010年五島列島にて撮影

## 産学官との連携

クロプラスチック」とは、どのようなものを指すのでしょうか。

**磯辺** 長さが5mmを下回ったものを「マイクロプラスチック」と呼んでいます。ですので、この場合のマイクロとは「小さな」という意味です。単位で使うマイクロメートルとは関係がありません。ちなみに長さが数cmを下回り、マイクロプラスチックほどまでは小さくないものは「メソプラスチック」と呼んでいます。

海など環境中に捨てられたプラスチックは、微細片化が進み、マイクロプラスチックのように小さくなっていくわけですが、どの過程で、どれほどの時間をかけて、またどこまで小さくなっていくのかなどは、一切分かりません。

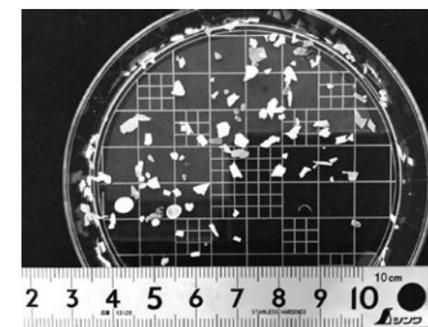
自然環境への影響は多々あると思いますが、どのようなことが挙げられるのでしょうか。

**磯辺** マイクロプラスチックは非常に小さいゆえに、大小色々な大きさの生物が食べることが出来てしまいます。実際に、色々な海洋生物からプラスチックが発見されたという報告が多数寄せられています。皆さんは、直感的に「海の生き物がかわいそう」と感じると思いますが、俯瞰して何が問題かを見つめると、生物は食べるのにエネルギーを使うわけですが、プラスチックは栄養にならずに、生物に負担だけをかけているのです。そしてプラスチックを食べ過ぎることによって食欲が無くなっていき、体

長が大きくならない、子どもを産まなくなる、極端な場合は死んでしまうという事例などが大量に報告されてしまっているのです。

現状では、どこまで食べ過ぎているのかということまでは分かっていませんが、とにかく、細かくなったマイクロプラスチックが海洋生態系に入り込んでいる状況が続くことは、少なくとも良い影響は与えないだろうという予測がされるわけです。

また、プラスチックは腐食分解しないので、海の場合は水面に浮き続けたり沈んだりして、海中のどこかにあるわけですが、生態系に組み込まれないものが存在し続けるという状況は、これまでの地球の歴史で無かったことです。なので、地球がどのように応答するかは前例がありませんし、誰も予測がつかないのが懸念される場所です。



日本海沖で採取された5mm以下のマイクロプラスチック 2014年採取後に研究室で撮影

### 海に出たプラスチックの行き先は大半が行方不明

こうした状況をそのままにしておくと、やがて海面がプラスチックで覆われることになるのでしょうか。

**磯辺** そこも分かってないことばかりなのです。海に出ていると思われるプラスチックの行き先がどこかということ、実はほとんどが“行方不明”の状態なのです。地球上のどこかにあることは間違いないのですが、この約70年の間に何億トンものプラスチックが生み出されて、そのうちの数千万トンは海にあるはずなのですが、海上に浮かんでいる物などを見てみると、妙に量が少ないのです。数十万トンしか浮いていないという推計が出ていて、残りの90%程は、どこに存在しているのか分かっていないのです。

プラスチックは新しい素材であり、その使用後が問題になってきたのも比較的最近ですし、未解明のことが多いわけですね。

**磯辺** 海に浮かぶマイクロプラスチックが初めて報告されたのは、1972年に「サイエンス」に掲載された論文ですが、当時は、さほど注目されていなかったと言えます。

2000年以降、徐々に研究者や論文が増えていきますが、それでも盛んではありませんでした。私は2010年前後、海に浮かぶマイクロプラスチックの調査で、船に乗って浮遊物を集める網を曳いたりしていましたが、その頃でもまだ関連する論文は世界で年に数本が出る程度で、こんな調査をしているのは自分くらいだろうと思ったものです。ですがその数年後、関連論文の発表されるペースが言わば爆発的に跳ね上がりました。

## 産学官との連携

私同様に関心を持つ研究者が、世界各地にいたということです。

## 東アジアと東南アジアはマイクロプラスチックのホットスポット海域

**磯辺** 実はアジアは、世界で最も多くのプラスチックを捨てている地域です。海に棄てられてしまうプラスチックのうち、実に約55%が東アジアと東南アジアに固まっています。そして日本周辺は、悲しいことですが、浮遊マイクロプラスチックが突出して多い海域、つまり「ホットスポット」なのです。

これは2014年に、私が環境省に依頼されて参加した「環境省マイクロプラスチック沖合調査」で明らかになったものです。この前の年に環境省に呼ばれ、東京海洋大学の東海正教授を紹介され、日本周辺のマイクロプラスチックを調査して欲しいという旨の依頼を受けたわけです。この調査は2014年の約50測点での調査を皮切りに、測点を年々拡大して現在では100近くに拡充されて続けられています。

そして2014年の調査で、日本周辺の海面にあるマイクロプラスチックが非常に多いことが分かったのです。驚くかもしれませんが、北太平洋で報告されていた量と比べると、ひと桁以上大きく、世界の海で平均した値と比較すれば27倍にも及びました。

これは日本から出たプラスチックごみに加え、アジアの国々から出たものが、日本列島を囲む黒潮や

対馬暖流といった海流によって運ばれてくるのでであろうと見ています。

実は今話したように、マイクロプラスチックの大規模な調査、あわせて監視を行い、その情報を公開している国は、他にないと言えるのです。つまり日本は、海洋プラスチック汚染の監視に先進的に取り組んでいると言えます。

その一方で、マイクロプラスチックの影響で、何か悪いことが起きてくるとしたら、最初に東アジアや東南アジアなのではないかと言われています。これからどのようにプラスチックの問題と付き合っていくのかということも問われているわけです。

**私達は非常に厳しい現実を突きつけられているわけですね。日本がホットスポットになっているのには、海流の影響もあるということでしたが、そもそも海流は、地震や火山の噴火などで変わることがあるのでしょうか。**

**磯辺** 海流は、基本的に風との関係で駆動するものですので、偏西風や貿易風など、地球における大きな風の流れが変わらない限りは、海流が大きく変わることは無いものです。

例えば、トンガで海底火山が噴火した影響で日本でも津波が懸念されるようなニュースを耳にしますが、それは言わば瞬間的な現象です。海流は長い期間に渡って起こる現象ですので、地震や噴火が直接関係して変化する事はありません。

また、地震で海底の地形が変わると海流に影響するかと、深層の海流は変化することがあるかもしれませんが、海面の方まで影響が及ぶことは無いと考えられます。

それよりも、地球温暖化で南極の水が融けたりすることの方が、海流への影響は大きいでしょう。そうして海流が変化すれば、大気が放出する熱のやり取りにも変化が起き、大気や気象にも影響を及ぼします。

それほどまでに大気と海洋は密接に結びついていまして、これは大気海流結合過程と呼ばれるものでもあります。

**海洋プラスチック汚染の問題解決のためにどういったことが必要でしょうか。**

**磯辺** 現在、世界中でプラスチックは使用されていて、それを完全な形で処理して、完全に管理することは、不可能と言わざるを得ません。何故かと言うと、使い捨てプラスチックの管理が最終的に個人に委ねられているからです。そこで「プラスチックは必ず環境下に漏れ出る」という前提のもとに、解決策を考えないといけなわけです。そう考えると、私はプラスチックの母数そのものを減らさざるを得ないのではないかと思います。

しかし、一方で考える必要があるのは、プラスチックは贅沢品ではなく、端的に言うと、経済的に裕福で無い人々が多数利用して

いるという事です。プラスチックがあるから、食品や清潔な水を衛生的に遠くまで持ち運ぶことが出来て、清潔な暮らしが成り立っているという人々がいるわけです。

つまり、プラスチックを減らさねばならないと一方的に唱えるのではなく、減らす事で他の面で別のリスクが起こりうる「リスクトレードオフ」を踏まえて、減らし方を考えていかなければならないと思います。

そうした中で、地球の成り立ちを調べて知るという立場にいる研究者として、「プラスチックをいつまでに、どれだけの量まで減らさなければ、こうしたリスクが起こってしまおう」という事の研究を深めていき、その情報を世の中にしっかりと出していくことが、私たちの仕事であると考えています。

**産業界の方は現状の課題を踏まえて、プラスチックに変わる新しい素材の開発を志向していくことが求められるわけですね。**



太平洋沖で浮遊する漂流マイクロプラスチックの曳網採取調査 2019年調査船にて撮影

## 産学官との連携

**磯辺** そうですね。「プラスチックの次の素材の時代」へと向かうためには、先ほど言ったように私たちがきちんとした情報を出す、そしてエンジニアリングの皆さんがまた新しい試みをしていく、それを受けてまた私たちが、その試みは本当に地球環境にとって持続的なのかを検証していく、といったようなキャッチボールを行っていくべきなのかなと思っています。

チームで南極海を初調査  
マイクロプラスチックを  
発見した世界初の功績

**「海のマイクロプラスチックの量を調査する」その方法は、かなり大変だそうですね。**

**磯辺** はい、船に乗りこみ、海面近くに浮遊するマイクロプラスチックを網で掬って採取します。これは動物プランクトンの採取方法がお手本になっています。そのように

して曳網採取します。船に上げた網の中にはプランクトンや海草も混じっていますが、それらを含め網に付着したものを全て海水で洗い出し、海水ごと容器に詰めて実験室へ持ち帰り、それを手作業で選り分けるのです。

マイクロプラスチックだけを抽出してくれる試薬といったものはありませんので、ピンセットで1つずつ取り出します。1mmを下回るもので根気よく選り分けるのです。

しかしあまりに微小ですと、もう生物や鉱物の破片なのか、プラスチックなのか肉眼では判別出来ませんので、フーリエ変換赤外分光光度計という分析機器を使って、素材判定を行います。これはATR式という検査方式で、数百マイクロメートル単位のマイクロプラスチックまで判別出来ます。実はそれ以下のサイズのものは、特に海に浮かぶプラスチックであれば、世界中でほとんど計測出来ていません。これはまた大きな課題ですので、後ほどお話いたします。

そしてプラスチックだったら、1粒ずつ写真を撮り、画像処理ソフトで長さを測って…という分析になるわけです。

**気の遠くなるような作業ですね。**

**磯辺** ものすごく根気がいりますよ(笑)。こうして2020年まで、私の研究室で分析したマイクロプラスチックの数は、17万粒を超えました。これらの写真や記録は、マイクロプラスチックに関する世界最大級のデータバンクと言えます。

## 産学官との連携

そうした調査を、日本周辺の海だけでなく、海外でも行ってきたのでしょうか。

**磯辺** 2016年のことになりますが、太平洋を、日本から南極海まで南北縦断で調査しました。東京海洋大学の東海教授を通して同大学の調査船を何とか使わせていただくことをお願いしました。また、東京海洋大学の内山(松本)香織博士に協力してもらい、調査しました。南極海での調査は内山博士に任せ、私はタスマニア島から東京までの調査を担当しました。

ちなみに、他国の領海と排他的経済水域 (EEZ) の中では、勝手に調査は出来ません。実は広い海でも、結構EEZは入り組んでいて、自由に調査していい観測点を見つけるのは苦労します。南極海から東京まで、EEZの隙間を探しながら38測点を調査しました。

その結果ですが、予想はしていたわけですが、南極海にもマイクロプラスチックが浮いていました。世界で使ったプラスチックが、南極海にまで流れていったということです。

また、太平洋の南半球よりも北半球に向かうに連れてマイクロプラスチックの量は多くなりました。人口分布が多いプラスチックをより多く使う、北半球の方がやはり多かったわけです。

南極海でマイクロプラスチックを採取した論文は世界的に世界初になりましたが、その過程は大変緊張するものでした。「世界初」は、

研究者にとって重要なことですので、スピード競争です。私たちは南極海で試料を確保したら、日本に戻る船で運搬しては先を越されるかもしれないと空輸し、日本の九州大学の研究室ではスタッフが待ち構えて到着したマイクロプラスチックの取り出し作業を行い、そして私も大急ぎで論文執筆に取り組みました。調査後4か月後に国際学術誌に論文を投稿しまして、これは海洋学の分野では異例の早さでした。査読の間や掲載が認められるまでは心が休まりませんでしたが、2016年9月末に査読審査を通過して掲載が認められました。

同時に、「日本チームが南極海でマイクロプラスチックを発見した」と初の功績が世界中で報道されました。実はその数か月後には、他国の論文が発表されまして、言わばタッチの差で「世界初」を無事に勝ち取ることが出来ました。



沖縄県石垣島の海岸砂に混じるマイクロプラスチック 2013年撮影

### プラスチックごみで懸念されるシナリオとは

行方の分からないプラスチックごみが非常に多いというお話がありました。地球環境や人間、生物について推定されるシナリオはあるのでしょうか。

**磯辺** 実は考えられるシナリオとして、良いものと悪いもの、2つがあります。

まず、現在の最新の見積もりでは、世界で正式に処理されずに棄てられているプラスチックが約5億トン、そのうち、海に捨てられているものは2500万トンほどで、さらにその7割弱は海のどこへ行ってしまったのか、行方不明になっています。さらに、海の分の2500万トンを除いた残りの95%は陸上で棄てられて、これもまた行方不明、どこに行ったのかが分かっていないというのが、最新の成果となっています。

そして考えられるシナリオですが、まず、「悪い方」の最悪のシナリオとしては、プラスチックが粉々に砕けて、我々が観測できないほどに小さくなって広がっているというパターンです。

先程、数百マイクロメートル単位以下のマイクロプラスチックは、ほとんど計測出来ていないことに触れましたが、もしかすると、数十マイクロメートルから数マイクロメートル、ひょっとすると、ナノレベルの小さなプラスチックの粒が世界中に大量に存在していて、それが我々の想定以上に海上を漂い、海洋生物の体内に蓄積されている可能性があります。

プラスチックという物質は細かくなればなるほど生物から排出されづらくなり、体内に蓄積されていきます。そうすると、あらゆる生物に影響が出てくると考えられていて、その事を裏付ける実験結果は多数存在しています。

まとめると、プラスチックは計測出来ないレベルに細かくなり続けながら大量に存在していて、そしてそれが今後も増え続けてしまう、というのが想定しうる悪い方のシナリオと言えます。

## 産学官との連携

では、良い方のシナリオはいかがでしょう。

**磯辺** 良いシナリオと言うか、今話したような悪い事にはならないのではないかと推定のシナリオになりますが、地球の生態系には、生態系が不測の被害に対して迅速に回復して対応する「レジリエンス」が存在しています。

例えば、マイクロプラスチックのように海上に物が浮いていた場合、生態系はそれを放置しているわけではなく、バクテリアや海藻類などの生物がその周りに付着します。すると、プラスチックだけだと軽くて浮いていたけども、徐々に重くなって海中に沈んでいくという現象が起こります。実際に、海水より比重が軽くて沈まないはずのポリエチレンやポリプロピレンが、海底で見つかりますので、沈んでいくのは事実です。

そのように、海の仕組みが浮いているプラスチックを海中や海底に落としているらしいという見立てがあります。しかもそれが、光から遠ざかって生物が生息していないところで落ち着かせているのであれば、元は石油であったプラスチック

を、もともとあった海底の深いところで吸収しているのかもしれない、ということも、ひとつの推定としてはあり得ます。あくまで「かもしれない」という話です。

この仕組みが非常に強く働くものなのであれば、案外プラスチックという物質を地球が上手に処理しているのかもしれないという可能性が存在するわけです。

悪い方、良い方、どちらのシナリオの可能性は高いのでしょうか。

**磯辺** 結論から言うと、良く分からない、ということになります。というのは、今地球環境が応答しようとしている現象が、悪い方のシナリオに対してのものなのか、良い方に対してのものなのか、そこが良くわからないわけです。これが、この分野のややこしい面ですが、だからこそ私自身は、研究して非常に興味深く、興味がつきない部分でもあります。

次号「科学の峰々」では、引き続き九州大学 応用力学研究所 大気海洋環境研究センター 主幹教授 磯辺 篤彦先生にお話を伺います。



環境への負荷が懸念される  
マイクロプラスチック調査で  
日本は先進的存在です