

配付先: 文部科学記者会、科学記者会、神奈川県政記者クラブ、横須賀市政記者クラブ、山口県教育庁記者クラブ、山口県政記者クラブ、宇部市記者クラブ、高知県政記者クラブ、青森県政記者会、むつ市政記者会、沖縄県政記者クラブ、山口ケーブルビジョン、山口経済レポート、名護市駐在3社

報道解禁
10月7日 09:00 (日本時間)



2023年10月5日
国立研究開発法人海洋研究開発機構
株式会社 KANSO テクノス
南デンマーク大学
国立大学法人山口大学
国立大学法人高知大学
北太平洋海洋科学機関

深海底堆積物に大量のマイクロプラスチックを発見 ～行方不明のマイクロプラスチックは深海に～

1. 発表のポイント

- ◆ プラスチックごみのうち、風化作用により劣化して海底に沈んでいったと考えられるマイクロプラスチック（以下、MPs）（※1）が深海堆積物表層で大量に見つかり、行方不明となっている MPs の一部は海底堆積物に蓄積している可能性が高いことがわかった。調査地点の中では、房総半島の沖合約 500 キロメートルの深海平原（※2）で最も多くの MPs が見つかり、人口密集地の沿岸に近い相模湾、海溝に位置するプレート三重会合点（※3）がそれに続いた。
- ◆ 相模湾／プレート三重会合点で見つかった MPs と、深海平原の MPs を比較すると、前者の MPs の粒径や縦横比が大きく、含まれるプラスチックの材質数が多かったが、後者のそれは粒径や縦横比が小さく、材質数も少ないという特徴があることがわかった。
- ◆ 今回見つかった堆積物内 MPs の形状や材質の類似性から、相模湾からプレート三重会合点へは海底地すべりなどで MPs が輸送されたのに対して、深海平原で見つかった MPs は海洋表層から直下の海底へ沈降したと考えられ、両者で輸送経路が異なっていたと推測される。

【用語解説】

- ※1 マイクロプラスチック：一般的に5ミリメートル以下のプラスチック粒子。
- ※2 深海平原：水深区分で水深4,000～6,000 mの深海帯にある平坦な地形。
- ※3 プレート三重会合点：3つのプレート境界が収束する場所。調査した房総半島沖の三重会合点は、3つの海溝が交わる世界で唯一の場所で、水深が9,000 mを超える。

2. 概要

国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 大和 裕幸、以下「JAMSTEC」という。）地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター 海洋プラスチック動態研究グループの土屋正史副主任研究員らのグループは、相模湾、プレート三重会合点および深海平原にかけての、水深 855 m から 9,232 m の 7 地点の深海底において、2019 年 9 月に有人潜水調査船「しんかい 6500」および大深度海底設置型観測システム「FFC11K」（※4）を使った調査を実施し、採取した堆積物柱状試料から堆積物内に大量のマイクロプラスチック（以下、MPs）が集積していることを明らかにしました。

世界では毎年 800 万トンを超えるプラスチックごみが海洋に流出し続けているとされています。これらのプラスチックごみは、沿岸や海岸などで、紫外線や熱、砂との衝突、生物による破壊などの風化作用によって劣化し、5 mm 以下の MPs になります。小さくなった MPs は潮汐や海流によって沖合に流され、やがて海底に沈んでいきます。MPs は最終的に深海底に到達するため、深海底の堆積物が MPs の大きな集積場の一つであると予想されていました。しかし、深海は調査機会が限られており、その分布実態や輸送過程には不明な点が残されていました。

本研究グループは、採取地点の海底地形やそれらの繋がりや海洋表層の MPs の分布、人口密集地からの距離に着目し、深海堆積物内の MPs を分析して輸送経路を推測しました。その結果、これまで知られている数の 2~5,500 倍もの MPs が、深海堆積物に存在することがわかりました。沿岸域の深海底は人口密集地からも近く、陸域・浅海域の特徴と類似していましたが、陸域から離れた深海平原の MPs は、それらの特徴とは異なる特徴を持っていることがわかりました。MPs の分布密度、大きさや形状、MPs の材質の類似性から推測すると、沿岸域では陸域や浅海域から流出した MPs が深海堆積物に蓄積するとともに、頻繁に起きる地震に伴う海底地すべりによって海底付近で MPs が輸送され、さらに、相模トラフに沿ってプレート三重会合点に到達すると考えられます。これに対して、深海平原はその直上にある黒潮続流再循環域に生じる渦にプラスチックごみや MPs が集積し、そこから海底に直接沈降している可能性が高いことが推測されました。

本成果は科学誌「Marine Pollution Bulletin」に 10 月 7 日付でオンライン公開される予定です。なお、本研究の成果の一部は、環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF18S20211）により実施しました。

タイトル：Distribution of microplastics in bathyal- to hadal-depth sediments and transport process along the deep-sea canyon and the Kuroshio Extension in the Northwest Pacific

著者：土屋正史¹、北橋 倫^{1, 2}、中嶋亮太¹、小栗一将^{1, 3}、川村喜一郎⁴、中村明夢⁴、中野健吾⁴、前田洋作¹、村山雅史⁵、千葉早苗^{1, 6}、藤倉克則¹

所属：1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 株式会社KANSOテクノス、3. 南デンマーク大学、4. 山口大学、5. 高知大学、6. 北太平洋海洋科学機関（PICES）

DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.115466

【用語解説】

※4 大深度海底設置型観測システム「FFC11K」：深海カメラや観測機器などを搭載可能な投げ込み式のフルデプス対応観測システムで、一定時間海底に設置して観測したあと、音響信号によって切り離し装置を作動させて自己浮上させる（参考：写真1を参照）。本研究では、「しんかい 6500」が到達できない水深約 9,000 m のプレート三重会合点において使用し、本システムのフレームに設置した堆積物柱状採泥器を用いて堆積物を採取した。

3. 背景

毎年 800 万トンを超えるプラスチックごみが海洋に流出し、そのうち 2 万～6 万トンが日本から発生したものと推定されています¹。海洋に流出したプラスチックごみは、沿岸や海岸などで、紫外線や熱、砂との衝突、生物による破壊などの風化作用によって劣化し、5 mm 以下のマイクロプラスチック（MPs）になります。海洋に流出した MPs はやがて深海に沈んでいくため、海底堆積物は MPs の集積場であると考えられていました²。しかし、深海堆積物の採取機会は限られており、分布実態や輸送過程には不明な点が残されていました。

我々は 2019 年に本研究と同じ調査地点の房総半島沖約 500 km、水深 6,000 m 付近の深海底（深海平原）において、大きなプラスチックごみを大量に見つけました³。深海底で発見したプラスチックごみは、劣化が進んでおらず、色も残っていました。このうちいくつかのプラスチックごみには、製造年月日や製造国のわかる印刷が残っており、日本から排出されたプラスチックごみも含まれていました。また、房総半島沖の黒潮続流再循環域と呼ばれる渦が発達する海域の直下に世界で最も多くのごみが溜まっていることを見つけました。JAMSTEC のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」で計算した結果と合わせて考えると、海洋表層の渦に取り込まれたプラスチックごみが、その直下の海底に直接沈降していると考えられました。しかし、小さい MPs から製造年月日や製造国の情報を読み取ることはできず、輸送経路の推測も困難でした。

そこで我々は、人口密集地からの距離や海底地形とその繋がり、海底で発生する地すべりの影響などに着目し、深海底の観測点間の MPs の数や大きさや形状、材質について、陸域や浅海域、海洋表層と比較しました。すべての地点で同じような経路をたどっていると仮定すると、MPs の特徴はどの地点でも類似することが予想されます。堆積する場所の沿岸からの距離や海底地すべりの影響の有無などによって、堆積物自体は分級（粒子ごとに大きさが揃うこと）しますので、同じような大きさを持つ MPs も粒径や形状、材質によって何らかの選別が生じている可能性があると考えました。つまり、沿岸域の相模湾は、国内で最大の人口密集地を後背地に持つため、人間活動の影響を強く受けるとともに、頻繁に発生する地震に伴う海底地すべりによって、より深い水深にまで影響を及ぼしうると考えました。さらに、相模湾の深海から相模トラフを通じてプレート三重会合点と呼ばれる海溝域までは、凹地地形が連続しており、この海底地形に沿って海溝にまで達している可能性があります。これに対して沖合深海底の深海平原は、相模湾からプレート三重会合点への連なりとは離れた場所にあるため、海底地すべりの影響はなく、MPs は大きなプラスチックごみと同じように海洋

表層から直接沈降する可能性が高いのではないかと考えました。この作業仮説を検証し、深海の堆積物内 MPs の分布実態と輸送過程を理解するために、2019 年 9 月に有人潜水調査船「しんかい 6500」と大深度海底設置型観測システム「FFC11K」を使って、相模湾とプレート三重会合点と房総半島から 500 km ほどの沖合の深海平原にかけての、水深 855 m から 9,232 m の深海底において堆積物柱状試料を採取（参考：写真 2）し、表層堆積物（0~1 cm）にある MPs を分析しました（図 1）。

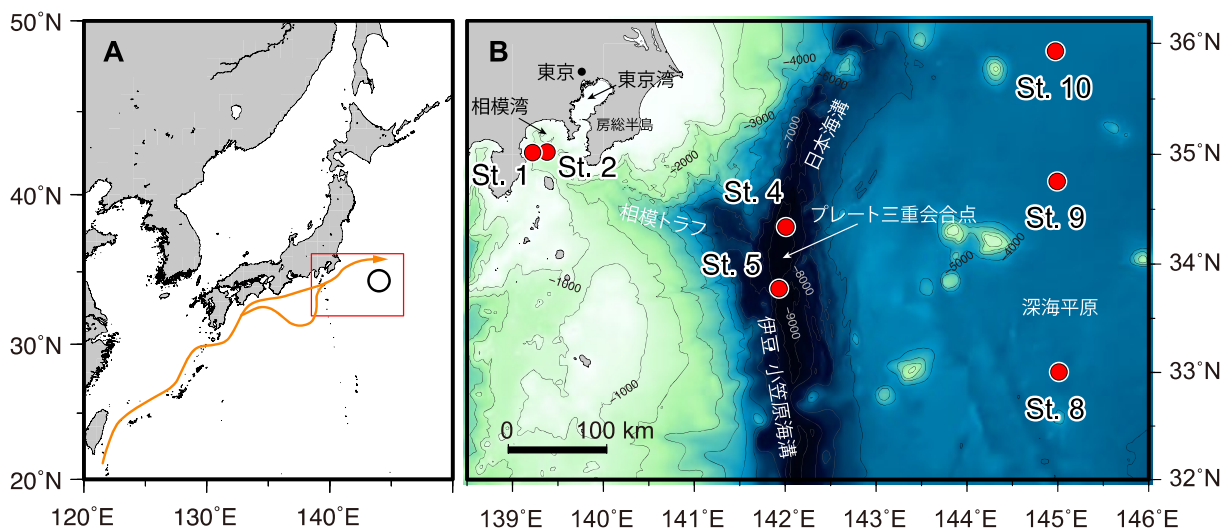


図 1 調査海域と調査地点周辺の海底地形

(A) 調査海域（赤四角）周辺の地図と黒潮・黒潮続流（オレンジ矢印）の流れ、調査期間中に黒潮続流とその再循環域に存在した渦の中心位置（黒丸）。(B) 調査地点の位置と周辺海域の海底地形。相模湾の St. 1 (855 m) と St. 2 (1,387 m)、相模トラフの海溝側出口に当たるプレート三重会合点の St. 4 (9,218 m) と St. 5 (9,232 m)、深海平原の St. 8 (5,719 m)、St. 9 (5,813 m)、St. 10 (5,707 m) で試料を採取した。相模湾と深海平原では有人潜水調査船「しんかい 6500」を用い、プレート三重会合点では大深度海底設置型観測システム「FFC11K」に搭載した堆積物柱状試料採取装置で採集した。

4. 成果

有人潜水調査船「しんかい 6500」および大深度海底設置型観測システム「FFC11K」によって採取した海底堆積物のうち表層から堆積物深度 1 cm を分析したところ、MPs の数は深海平原で最も多い傾向にありました。その数は、深海平原では乾燥堆積物 1g あたり平均 601.5 ± 629.4 個 ($220.5 \pm 48.1 \sim 997.8 \pm 996.6$ 個) であり、続いて相模湾では平均 29.6 ± 23.6 個 ($14.1 \pm 7.2 \sim 14.1 \pm 7.2$ 個)、プレート三重会合点では平均 11.2 ± 6.0 個 ($7.9 \pm 4.0 \sim 14.5 \pm 7.0$ 個) でした（図 2）。これは、これまでの研究で最も多くの MPs が見つかった地中海の堆積物に比べて 2~260 倍⁴、北大西洋に比べて 2~5,500 倍⁵ もの数になります。また、他の深海平原や本研究の観測点と同じ程度の水深を持つ海溝と比較しても最大約 2 万倍もの MPs が溜まっていることがわかりました。観測した深海底堆積物には、これまで観測された中でも飛び抜けて多い MPs が特に深海平原に分布していることになります。これを 1 平方メートルあたりに換算すると、深海平原では $28.4 \times 10^4 \sim 341.0 \times 10^4$ 個、相模湾では $1.3 \times 10^4 \sim 5.8 \times 10^4$ 個、

プレート三重会合点では $1.3 \times 10^4 \sim 3.3 \times 10^4$ 個となります。

また、試料採取地点の堆積速度は各地点で異なり、1年あたりで、相模湾の St. 1、St. 2 近傍⁶で 0.25~0.34 cm、プレート三重会合点近傍⁷では 0.0662 cm、深海平原近傍⁸では 0.00163~0.00216 cm です。つまり、1 cm の堆積物が溜まるのに、相模湾で 3~4 年、プレート三重会合点で 15 年かかっており、深海平原においては 463~614 年の時間がかかることとなります。1950 年代以降にプラスチックの爆発的な利用増加とそれに伴って MPs が増加したと考えられますので、堆積物表層 1 cm には、深海平原ではプラスチックが広く利用されるようになって以降現在までの約 70 年間の情報がすべて含まれているのに対して、相模湾やプレート三重会合点では、最近の約 5~20 年分に溜まった MPs が含まれていることとなります。

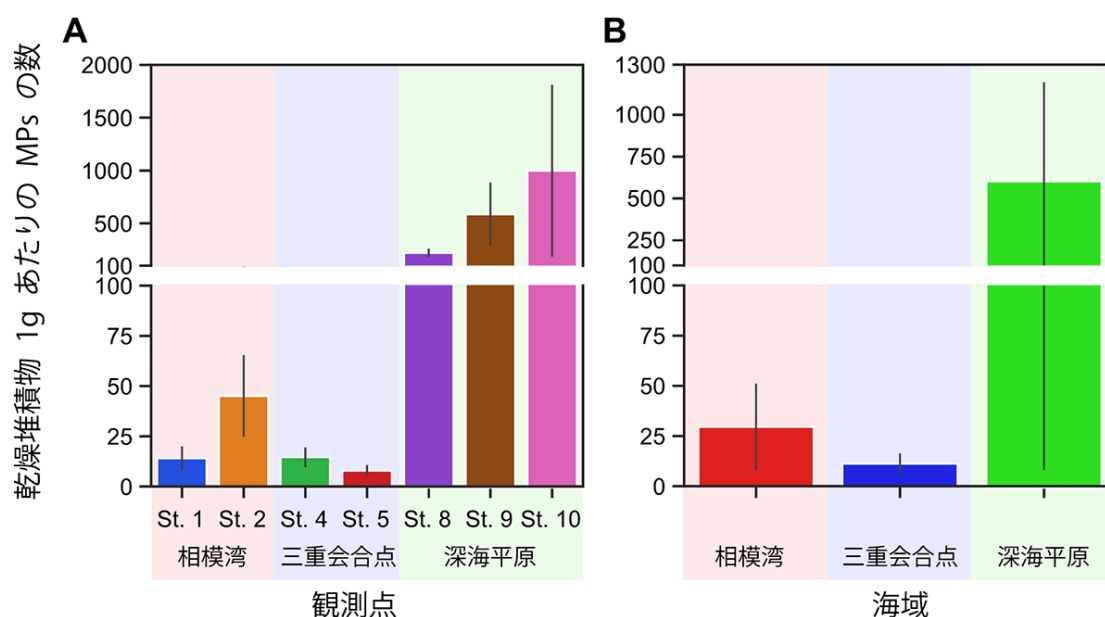


図2 乾燥堆積物 1g あたりの MPs の数

(A) 観測点ごとの MPs の数と、(B) 海底地形ごとの MPs の数。深海平原の St. 8, 9, 10 で数が多い傾向にある。また、相模湾の St. 2 は St. 1 よりも多く、海盆状の海底地形が MPs 集積に関係していると考えられる。三重会合点の St. 4 では、南側の St. 5 よりも若干 MPs が多い。これは、相模湾の St. 2 で溜まった MPs が相模トラフに沿って三重会合点に到達し、相模トラフの海溝側出口に近い地点の St. 4 にまず溜まるからだと考えられる。

MPs の粒子形状や材質数、大きさを分析した結果、相模湾とプレート三重会合点は類似しているものの、深海平原のそれとは異なっていました。特に、MPs の粒子形状 (縦横比) は、相模湾とプレート三重会合点では $2.0 \pm 0.9 \sim 2.2 \pm 1.4$ で細長い形状でしたが、深海平原では縦横比は有意に小さく平均 1.6 ± 0.4 でした。また、MPs の材質数は、相模湾とプレート三重会合点で多く、類似した構成でした。一方、深海平原では、材質数は他の 2 つの海域に比べて少ないことがわかりました (図3)。その構成を見ると、相模湾とプレート三重会合点ではポリエチレン、ポリプロピレン、ポリエチレンテレフタレート、エチレンビニルアルコール、アクリル樹脂、エチレン酢酸ビニル、ポリスチレンなど多様な材質で全体の 90% を超えます。

これに対して、深海平原では、ポリエチレンとポリアミドだけで 90%を超えます。このように、沿岸に近い相模湾とプレート三重会合点と、深海平原は異なる特徴を持つことがわかりました (図 4)。MPs の大きさには、有意な差はないものの深海平原では小さく、相模湾とプレート三重会合点では大きい傾向にありました。

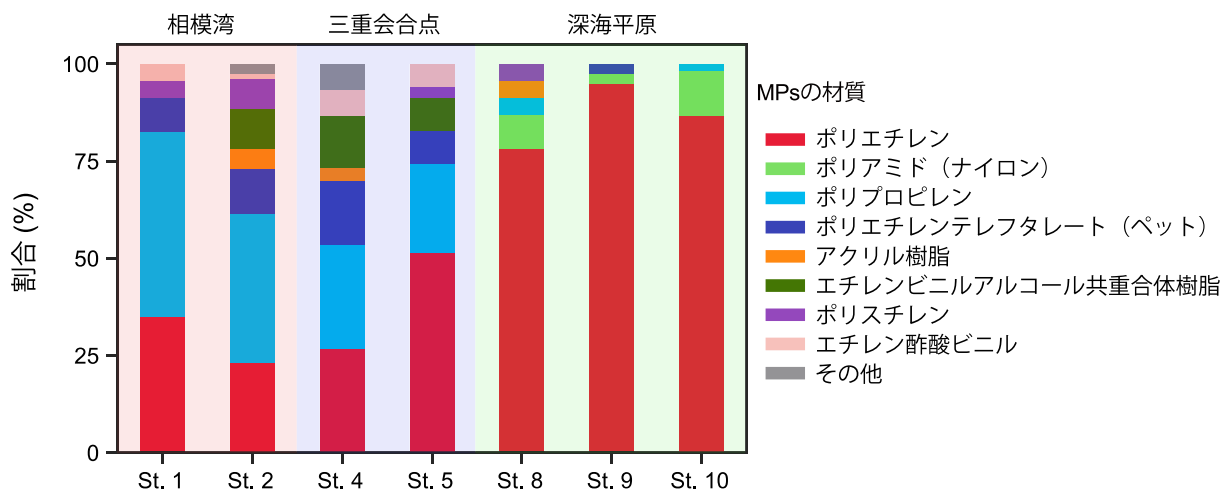


図 3 観測点ごとのマイクロプラスチック (MPs) の材質の構成比
MPs の材質の構成比は、深海平原で大きく異なることがわかる。

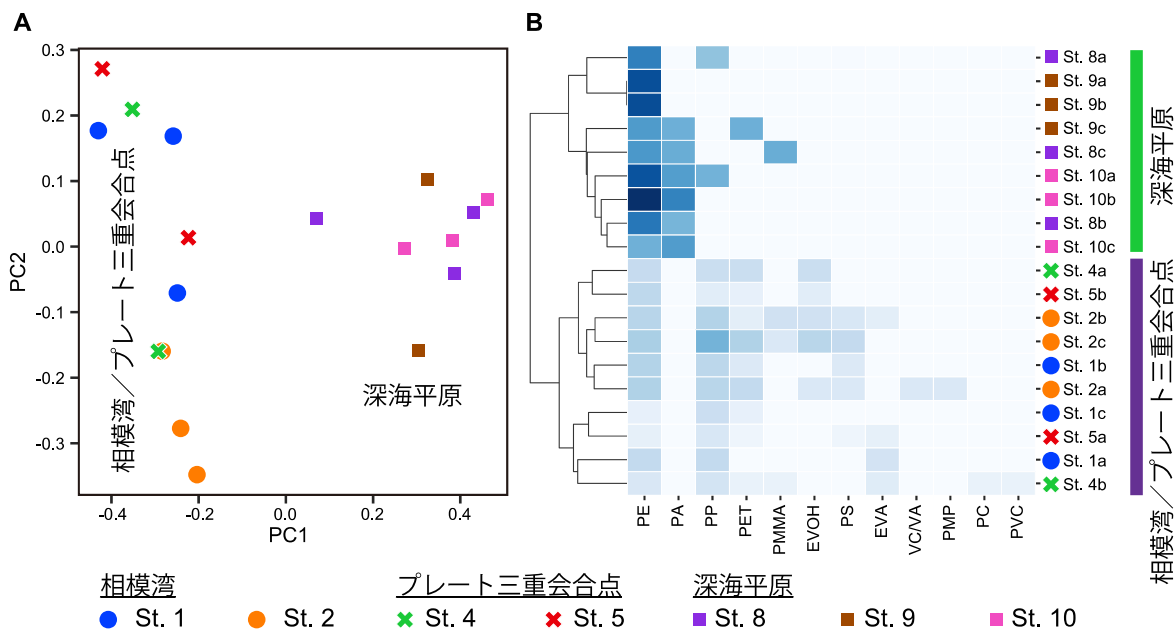


図 4 試料ごと・観測点ごとの類似度の比較

(A) 主座標分析結果では、第 1 軸 (PC1) で相模湾／プレート三重会合点と深海平原を区別できる。(B) クラスタ解析・ヒートマップ解析でも同様に海底地形ごとに 2 つに分けられる。特に、ポリエチレン (PE) とポリアミド (PA) は、深海平原で見られるが、相模湾／プレート三重会合点では前者は少なく、後者はまったくないという特徴を持つこと、深海平原では MPs の材質数が少なく、相模湾／プレート三重会合点では材質数が多いことで、明瞭に分けられる。

相模湾とプレート三重会合点、深海平原で見つかった MPs は、作業仮説として立てた経路の違いを示している可能性が高いと考えられます。相模湾やプレート三重会合点で観測された材質は、東京湾⁹や相模川¹⁰と類似していました。すなわち、東京湾や相模川を通じて海に至った MPs が沿岸域で沈降し、相模湾海底に到達したと考えられます。日本周辺は地震が頻発し、これに誘発された海底地すべりによって更に深い水深まで堆積物が輸送されますが¹¹、相模湾でも同様に海底地すべりが生じます¹²。このような海底地すべりに伴って相模湾の St. 1 から St. 2 にまで輸送され、さらに相模トラフを通じてプレート三重会合点の St. 4 や St. 5 にまで到達すると考えられます (図 5)。この一連のつながりを考慮すると、陸域の相模川や浅海の東京湾と、深海域の相模湾やプレート三重会合点にみられた MPs の材質の類似性が説明できます。これに対して深海平原の MPs は、陸域とは異なる材質や相模湾・三重会合点とは異なる材質・縦横比を持っていますので、異なる輸送経路を考える必要があります。実際に、深海平原の試料採取地点近傍の海洋表層で採取された MPs は、ポリエチレンやポリアミド、ポリプロピレンが多く見つかっており、本研究で見つかった深海平原 MPs との類似性があります¹³。つまり、深海平原の MPs は大きなプラスチックごみと同様に黒潮続流によって運ばれ、渦に取り込まれたものが直下の深海底に沈んでいると考えることで、相模湾やプレート三重会合点との違いを説明できます (図 5)。

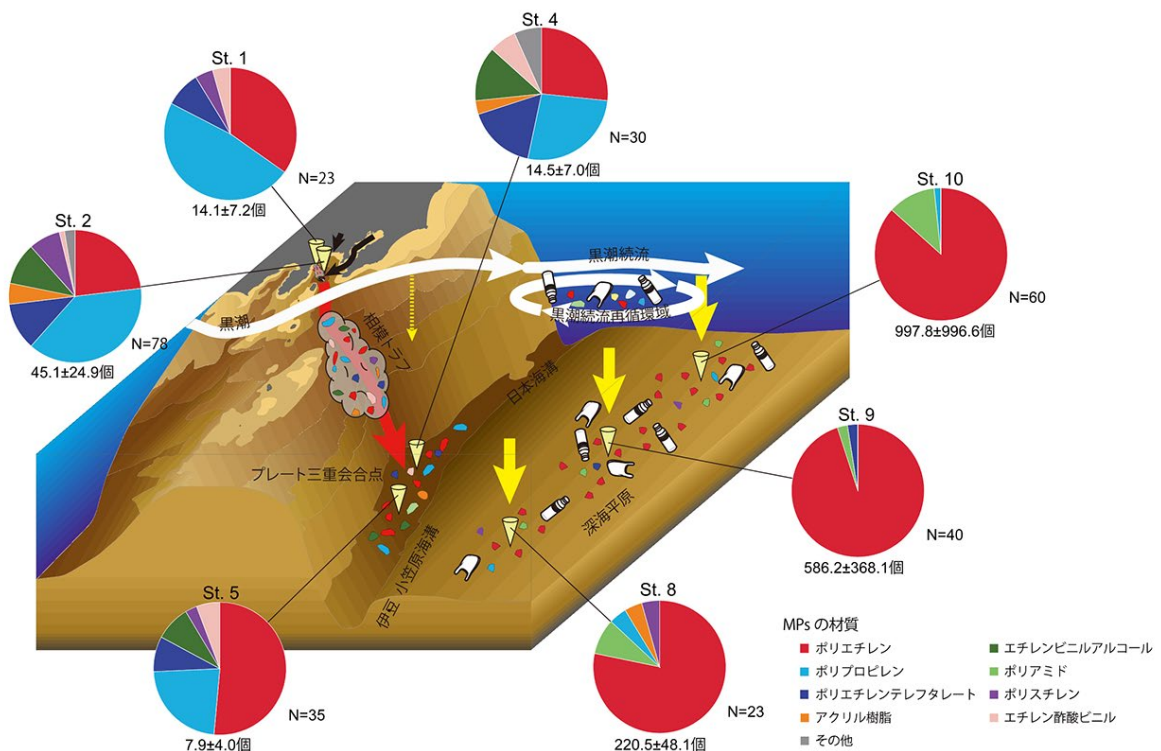


図5 マイクロプラスチックの輸送経路の模式図

MPsの大きさや縦横比、MPsの材質の類似性や数といった特徴から、2つの経路が推測できる。相模湾とプレート三重会合点はMPsの類似性があり、さらに東京湾や相模川で見られる材質とも類似していることから、相模川や東京湾から流出したMPs（黒矢印）は相模湾海底に溜まるとともに、より浅い海域からも相模湾の湾央部に溜まる。それが海底地すべりなどの影響によりプレート三重会合点にもたらされる（赤矢印）。プレート三重会合点でも表層からの沈降は起こり得るが、黒潮流軸に近いいため表層のMPsは押し流されてしまい、その影響は少ない（黄色点線矢印）と考えられる。深海平原では海洋表層に発達する渦の影響によりプラスチックごみが集積し、大きなプラスチックごみと同様にMPsも直接沈降している（黄色矢印）と推測できる。

5. 今後の展望

本研究では、MPsは深海平原で数が多く、大きさや縦横比が小さく、材質数が少ないという特徴を持ち、沿岸に近い相模湾深海底やそこと海底地形が連続するプレート三重会合点とは異なる特徴を示すことが明らかになりました。また、相模湾から相模トラフを通じて三重会合点に輸送されている一方で、沖合の深海平原は海洋表層から直接沈降したものである可能性があり、MPsの分布は異なる輸送経路の影響を受けていることが推測されました。

MPsを含む海洋プラスチックごみは東アジアを中心とした排出源から流出すると考えられていますが、今回の堆積物内のMPsの特徴や、2021年に我々が公表した論文でも、日本からの排出に由来するプラスチックごみが相当数含まれている可能性があることも分かってきました。排出源とされる東アジアから日本沿岸にかけて輸送されるものを想定すると、排出

源に近い黒潮上流部である沖縄周辺海域や、今回の観測点までの間の黒潮中流部に存在する黒潮再循環域の深海底にも同じようにMPsが溜まっていると考えられますが、今回研究を行った海域とは後背地の人口密度や海底地形が大きく異なります。そのため、このような影響がどの程度MPsの分布の違いとして顕在化しているのかを明らかにしていく必要があります。

深海堆積物内のMPsについては、広域的な分布実態や、特徴や輸送経路の違いなど、まだ分からないことが多く、今後調査を継続していく予定です。また、本研究も含めてこれまでの研究では、堆積物内のMPsの数を比較していますが、MPsをろ過する際のフィルターが目合いが研究ごとに異なるため、単純に数だけを比較することに疑問の余地が残ります。堆積物内のMPsの分析は世界各地で進められていますが、数だけではなく重量に換算するなどの共通化した方法を模索し、分析技術や手法の標準化などの検討も進めていく必要があります。

引用文献

- 1 Jambeck, J.R. *et al. Science* **347**, 768–771 (2015).
- 2 Woodall, L.C. *et al. R. Soc. Open Sci.* **1**, 140317 (2014).
- 3 Nakajima, R. *et al. Mar. Pollut. Bull.* **166**, 112188 (2021).
- 4 Kane, I.A. *et al. Science* **368**, 1140–1145 (2020).
- 5 Courtene-Jones, W. *et al. Mar. Pollut. Bull.* **154**, 111092 (2020).
- 6 Kato, Y. *et al. Prog. Oceanogr.* **57**, 77–95 (2003).
- 7 Wenzhöfer, F. *et al. Deep-Sea Res. I* **116**, 276–286 (2016).
- 8 Machida, H., Arai, F. Atlas of tephra in and around Japan. University of Tokyo Press. 336p. (2011).
- 9 Nakano, H. *et al. Mar. Pollut. Bull.* **162**, 11887 (2021).
- 10 Kataoka, T. *et al. Environ. Pollut.* **244**, 958–965 (2019).
- 11 Kawagucci, S. *et al. PeerJ* **8**, e10429 (2020).
- 12 Yamaoka, A. *et al. JAMSTEC J. Deep Sea Res.* **14**, 319–327 (1999).
- 13 Pan, Z. *et al. Sci. Total Environ.* **650**, 1913–1922 (2019).

お問い合わせ先：

(本研究について)

国立研究開発法人海洋研究開発機構

地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター 海洋プラスチック動態研究グループ
グループリーダー代理 土屋正史

電話：046-867-9793 E-mail：tsuchiyam@jamstec.go.jp

株式会社 KANSO テクノス

東京支店 技術グループ

北橋 倫

電話：03-3526-3138 E-Mail：kitahashi_tomo@kanso.co.jp

南デンマーク大学

自然科学部生物学科 デンマーク超深海研究センター
小栗一将

E-Mail：ogurik@biology.sdu.dk

国立大学法人山口大学

大学院創成科学研究科（理学系学域）

研究教授 川村喜一郎

E-mail：kiichiro@yamaguchi-u.ac.jp

国立大学法人高知大学

農林海洋科学部

教授 村山雅史

電話：088-864-6718 E-Mail：murayama@kochi-u.ac.jp

(報道担当)

国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋科学技術戦略部 報道室

電話：045-778-5690 E-mail：press@jamstec.go.jp

国立大学法人山口大学 総務企画部総務課広報室

電話：083-933-5007 E-Mail：sh011@yamaguchi-u.ac.jp

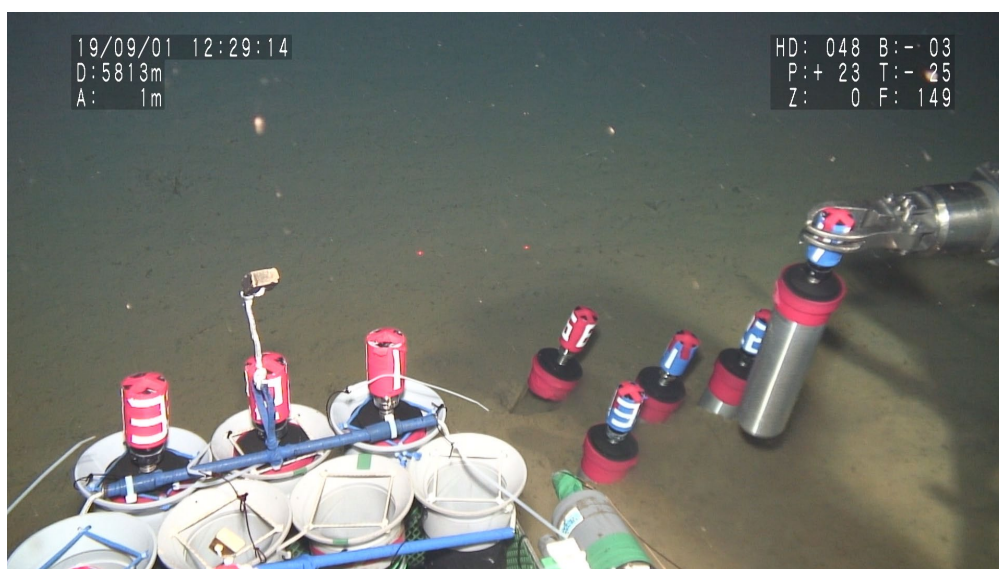
国立大学法人高知大学 総務部物部総務課 総務係

電話：088-864-5114 E-Mail：km03@kochi-u.ac.jp

(参考)



(写真1) 大深度海底設置型観測システム「FFC11K」に搭載した堆積物柱状採泥器（矢印）。観測システムが海底に着底したと同時に、採泥器の透明なチューブも海底に挿さる。その後、観測システムの離底と同時に堆積物が採取できる。



(写真2) 「しんかい 6500」のマニピュレータを用いて、堆積物柱状試料採泥器のチューブを海底に挿し、堆積物を採取する様子。通常、コアを採取するチューブは、ポリカーボネートやアクリルなどの透明なプラスチックを用いる。マイクロプラスチックはプラスチック製のコアチューブからも発生する恐れがあるため、本研究では、アルミ製のチューブを作成して採泥を行い、試料採取時の汚染を避ける手法を用いた。