

平成 30 年度 環境省請負業務

平成 30 年度 漂流マイクロプラスチックを含む漂流・海底ごみの分布調査

及び指標等検討業務

報告書

平成 31 年 3 月

国立大学法人 東京海洋大学

目次

I. 調査目的と概要

- 1. 目的と概要 1
- 2. 調査内容 4

II. 沖合海域における漂流ごみの目視観測調査及び現存量の推計

- 1. 調査目的 6
- 2. 調査方法
 - 2-1. 対象海域 7
 - 2-2. 観測体制 8
 - 2-3. 観測手順 10
 - 2-4. 観測項目 10
 - 2-5. ライントランセクト手法におけるデータ解析方法 13
- 3. 調査結果
 - 3-1 調査実施の概要 17
 - 3-2 日本周辺海域の漂流ごみ種類別の密度分布 19
 - 3-3 相模湾調査の結果 32
- 4. まとめと今後の課題について 33

III. 海表面を浮遊するマイクロプラスチックに係る調査

- 1. 調査目的 34
- 2. 調査方法
 - 2-1. 対象海域と採集回数 34
 - 2-2. マイクロプラスチックの採集方法 35
 - 2-3. 標本の処理 36
 - 2-4. 安全管理 38
- 3. 結果
 - 3-1. サイズ別組成分布 38
 - 3-2. 2018年度の空間分布 41
 - 3-3. 2014-2018年度の空間分布 45
 - 3-4. 相模湾における周年調査の結果 47
- 4. 今後調査への提案 51

IV. 沖合海域における海底ごみの調査

- 1. はじめに 52
- 2. 調査概要と方法 52
- 3. 調査結果
 - 3-1. 海域毎の種類別の割合 54

3-2. 曳網毎の海底ごみの密度	55
3-3. 考察	57
V. その他の取組	
1. 沖合海域における漂流マイクロプラスチックを含む漂流・海底ごみの分布特性及び発生源等の解析・手法推定並びに指標等の検討	58
1-1. 漂流ごみの分布特性及び発生源等の解析・推定手法並びに指標等の検討	58
1-2. マイクロファイバーの流出に対する洗濯機附属フィルターの効果に関する実験	62
2. 沖合海域における漂流マイクロプラスチックを含む漂流・海底ごみの調査ネットワークの構築検討	65
3. アジア地域の海洋ごみ研究者育成のための国際招へい研究プログラムの実施	65
3-1. 東南アジア各国の研究者の招へい	65
3-2. インドネシアでの国際シンポジウムと「インドネシア海域における漂流プラスチック海ごみ研究に関する会議」の開催	66
3-3. 国際交流まとめ	67
4. 検討会の実施	67
VI. 沖合海域における今後の海ごみの調査の提案	68
謝辞	70
付録	71
付録1 漂流ごみ関係 種別 レグ毎の分布密度図	72
付録2 マクロプラスチック調査点および浮遊密度リスト	80
付録3 海底ごみ計測結果と写真一覧	87
付録4 海底ごみの分類リスト	107

I. 調査目的と概要

I-1. 目的と概要

2009年7月に成立した「美しく豊かな自然を保護するための海岸における良好な景観及び環境の保全に係る海岸漂着物等の処理等の推進に関する法律」に基づき、海岸漂着物対策が推進され、海岸漂着物や沿岸域における漂流・海底ごみの実態調査が行われてきた。そして、2014年からは、我が国周辺の沖合海域にて船舶を用いた目視による漂流ごみの観測を行い、海域別の密度及び資源量をごみ種類別に推定するとともに、併せて海表面に浮遊しているマイクロプラスチックの採集、さらには東シナ海などの沖合域において、底曳網を用いた海底ごみの調査を行ってきた。これらの調査結果から、日本周辺海域は、マイクロプラスチックのホットスポットであることが明らかになってきている。また、沖合には海岸に漂着する前のマクロサイズの漂流ごみも多数確認され、これらの発生源を把握するためには、日本の周辺海域の情報を収集するだけでなく、その他の海域についても情報を収集し、比較していくことが必要であると考えられた。

こうした流れを受けて、「美しく豊かな自然を保護するための海岸における良好な景観及び環境の保全に係る海岸漂着物等の処理等の推進に関する法律」は、平成30年6月より「美しく豊かな自然を保護するための海岸における良好な景観及び環境並びに海洋環境の保全に係る海岸漂着物等の処理等の推進に関する法律」と改められ、事業者に対してマイクロプラスチックの海域への流出が抑制されるよう、公共の水域又は海域に排出される製品へのマイクロプラスチックの使用の抑制、廃プラスチック類の排出の抑制に努めることを求める一文が加えられた。また、国際的な連携の確保及び国際協力の推進として、海岸漂着物対策を国際的協調の下で、海岸漂着物対策の推進に関する国際的な連携の確保及び海岸漂着物等の処理等に関する技術協力その他の国際協力の推進に必要な措置を国として講ずることが、新たに明文化されている。

そこで本事業では、2014年から続けてきている調査観測を実施することで、継続的なデータの蓄積を行うとともに、2017年度事業の大学間連携により東京海洋大学以外の練習船（北海道大学、長崎大学、鹿児島大学）とも連携を組み（図I-1）、調査範囲の拡大（ごみの発生起源とその行き先）するとともに、過去のデータのとりまとめを行った。そして、2018年度実態把握調査として、昨年度に引き続き以下の5海域で調査を実施した。

- ①東シナ海：黒潮の上流海域に位置し、海洋へのプラスチック排出量が最大と推定されている中国と我が国の間にあり、かつ東アジア・東南アジアからの漂流ごみのルートになる海域である。
- ②本州沖合：東アジアや東南アジアの海洋ごみは、黒潮に乗って移動すると考えられる。黒潮で運ばれるごみが外洋域で、どのように分布するかを把握することは、大洋におけるごみの分布を考える上でも重要な情報となる。
- ③日本海：半閉鎖的な海域であり、黒潮の分枝である対馬海流によって、東シナ海はじめ上流域からの海洋ごみが流入するため、他に比べて海洋ごみの密度が高い海域であることがこれまでの調査からも確認されている。また、日本海は、海岸への漂着ごみが多いことでも知られている。将来的に東アジア・東南アジアでの海洋ごみ対策が講じた際の効果を確認する上でも、継続的な調査が不可欠な海域である。

④北海道東方海域：北方からの親潮の下流域でもあり、黒潮が黒潮続流域を含む北太平洋海流として日本列島から離岸していく海域になる。北方からの日本へ来遊する海洋ごみと日本から離れて海洋ごみの動静を把握する上で重要な海域となる。

⑤南方海域：北太平洋亜熱帯循環の西端に位置する。亜熱帯循環帯は、太平洋に流出した海洋ごみが最終的に収束する海域として知られており、日本の南方の排他的経済水域の一部がこれに該当する。今後、海洋ごみの対策を行って行く上での、この海域の現状を把握することは急務といえる。

これらの海域では、漂流ごみの目視観測調査、海表面を浮遊するマイクロプラスチックの採集調査を実施し、一部の海域では、海底ごみの採取調査を実施した。

さらに、政府が目指す海洋ごみに対する国際協力推進の一環として、東南アジアの国々からの研究者の受け入れ事業を昨年度に引き続き実施するとともに、インドネシアにてシンポジウムを開催するなど、東南アジアへの海洋ごみ調査連携の強化を進めた。また、国際的な協力が進む中、中国沿岸と日本の沿岸における衣類起源と推測されるマイクロファイバーの検出状況の違いが指摘される中、その原因を探るための調査を新たに実施した。



東京海洋大学 海鷹丸



東京海洋大学 神鷹丸



東京海洋大学 青鷹丸



北海道大学 おしよろ丸



長崎大学 長崎丸



鹿児島大学 かごしま丸

図 I-1 調査に参加した 4 大学練習船

I-2. 調査内容

(1) 沖合海域における漂流ごみの目視観測調査及び現存量の推計

昨年度に引き続き、4大学の練習船の航海を活用することで、黒潮の上流域から下流域までの広範囲にて目視観測調査を実施した。また、季節の違いによる漂流ごみの違いを検討するために、沖合の黒潮の分枝が流れ込む相模湾での定期的なモニタリングについても昨年度に引き続き実施した。漂流ごみの密度と現存量の推定においては、鯨類資源の資源量推定に用いられるライントランセクト手法を用いた観測手法及びデータ解析方法を適用することにより、密度推定の精度向上を図るとともに、漂流ごみの日本周辺における分布の傾向把握に努めた。

(2) 海表面を浮遊するマイクロプラスチックに係る調査及びマイクロプラスチック密度分布の推計

目視観測と同様に、調査範囲を拡大しデータの充実化を図った。また、マクロサイズの漂流ごみの調査と同様に、相模湾において季節変化についてもモニタリングを行った。採集したマイクロプラスチックの分析を行うことにより、我が国周辺海域におけるマイクロビーズを含むマイクロプラスチックの分布状況を把握し、概況情報を整理した。なお、マイクロプラスチックについては、九州大学応用力学研究所の磯辺篤彦教授に再委託して、詳細な分析に取り組んだ。

(3) 沖合海域における海底ごみの調査及び海底ごみの現存量の推計

底びき網を使って沖合域の海底ごみ調査は、東シナ海や太平洋沖合海域で継続し、海域別の特徴を明らかにするとともに、その量の推定を行った。今年度は、試験的に東京海洋大学、長崎大学、鹿児島大学の練習船が、北緯31度・東経127度50分付近で時期をずらした調査を行い、同一海域での季節の変化の有無についても検討した。

(4) その他の取組

- ① 沖合海域における漂流マイクロプラスチックを含む漂流・海底ごみの分布特性及び発生源等の解析・手法推定並びに指標等の検討
- ② 沖合海域における漂流マイクロプラスチックを含む漂流・海底ごみの調査ネットワークの構築の検討
- ③ アジア地域の海洋ごみ研究者育成のための国際招へい研究プログラムの実施
- ④ 検討会の実施

それぞれの調査内容は、本報告書の各章として、次の担当者が取りまとめた。

II. 沖合海域における漂流ごみの目視観測調査及び現存量の推計

東海 正・北門利英・内田圭一（東京海洋大学）

III. 海表面を浮遊するマイクロプラスチックに係る調査及びマイクロプラスチック密度分布の推計

磯辺篤彦（九州大学）

IV. 沖合海域における海底ごみの調査及び海底ごみの現存量の推計

内田圭一（東京海洋大学）

V. その他の取組

後藤純子（共立女子大学）

内田圭一（東京海洋大学）

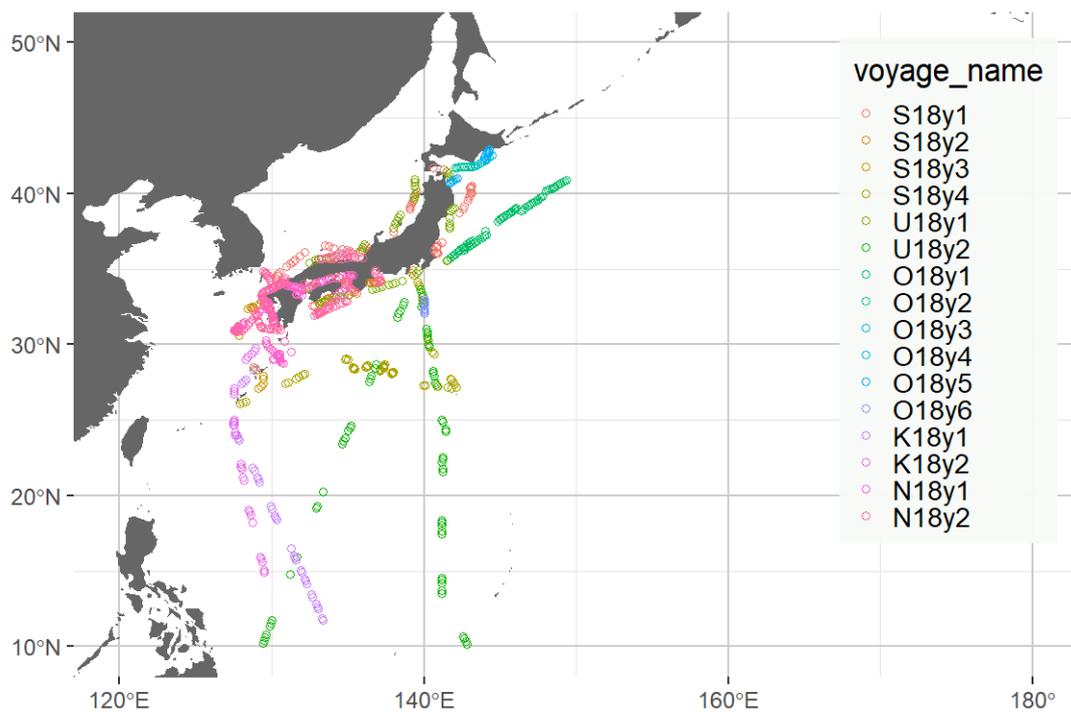
各船のデータの管理取りまとめは、今井圭理（北海道大学）、清水健一、森井康宏、八木光晴（長崎大学）、三橋延央、内山正樹、東隆文（鹿児島大学）、内田圭一（東京海洋大学）が担当した。

また、これ以降、図や表は「2018年」のように年で示しているが、これは年度を表していることに注意する。

II. 沖合海域における漂流ごみの目視観測調査及び現存量の推計

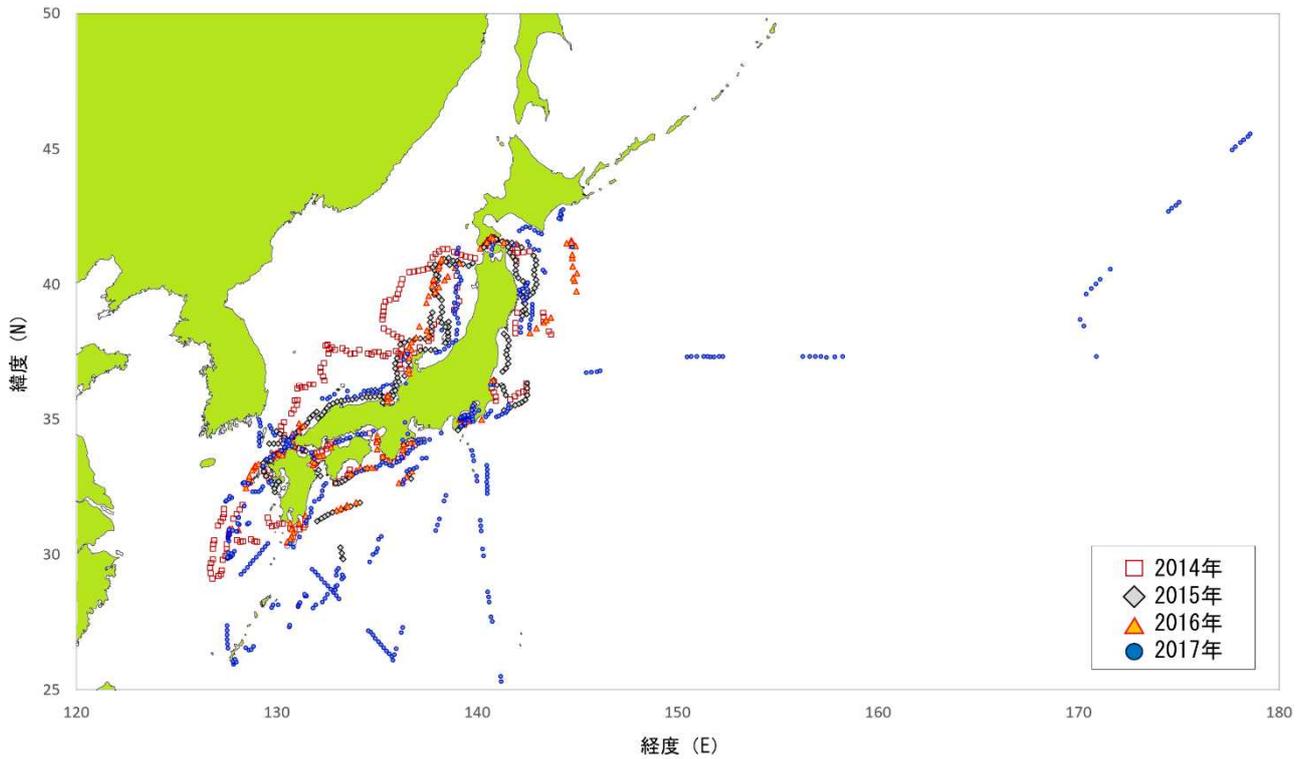
II-1. 調査目的

漂着ごみの発生過程と発生原因の解明するために、今年度は行動海域が異なる4大学の練習船の航海を活用することで、これまでカバーすることができなかった黒潮の上流域から下流域までの広範囲にて目視観測調査を実施した(図II-1)。なお、2014年から2017年までに実施した目視観測地点を年別に示したものと図II-2に示す。4大学の練習船による調査が開始されてから、より沖合域の調査が充実化していることが確認できる。そして、昨年度に引き続き季節の違いによる漂流ごみの違いを検討するために、沖合の黒潮の分枝が流れ込む相模湾での定期的なモニタリングを実施した。漂流ごみの密度と現存量の推定においては、従前どおりに鯨類資源の資源量推定に用いられるライントランセクト手法を用いた観測手法及びデータ解析方法を適用することにより、密度推定を行い、漂流ごみの日本周辺における分布の傾向把握を行った。



図II-1 2018年度の沖合漂流ごみ目視調査地点図

(S: 神鷹丸、U: 海鷹丸、O: おしよろ丸、K: かごしま丸、N: 長崎丸)



図Ⅱ-2 2014年度から2017年度の沖合漂流ごみ目視調査地点図

Ⅱ-2. 調査方法

2-1. 対象海域

先に述べたように2017年度調査に引き続き、海鷹丸・神鷹丸（東京海洋大学）に加えて、おしよろ丸（北海道大学）、長崎丸（長崎大学）、かごしま丸（鹿児島大学）の協力のもと、黒潮の上流域から下流域までの広範囲における調査を実施した。また、季節ごとの漂流ごみの分布変化のモニタリングとして、黒潮続流が入り込む相模湾での定期的な調査を昨年度に引き続き青鷹丸（東京海洋大学）にて実施した。各船の航海時期と航行範囲は表Ⅱ-1に示すとおりである。

表Ⅱ-1 4 大学練習船調査実施表（2018 年度）

船名	全長	総トン数	眼高	調査日	調査範囲	整理番号
海鷹丸	93 m	1886 t	14 m	7/12-8/10	日本周回	U18y1
				11/12-2/25	南方海域	U18y2
神鷹丸	64.5 m	986 t	9 m	7/12-8/10	日本周回	S18y1
				8/18-9/11	西日本周辺	S18y2
				1/29-2/12	東シナ海・南方海域	S18y3,4
青鷹丸	35.5 m	170 t	4 m	6/21-1/17	相模湾	SE18y1-5
おしよろ丸	78.3 m	1598 t	10 m	6/15-6/17	北太平洋	O18y1
				7/24-7/25		
				9/28	日高湾・釧路沖	O18y2
				10/19	日高湾・釧路沖	O18y3
				11/7	釧路沖	O18y4
				11/14-11/15	釧路・八戸沖	O18y5
長崎丸	68.9 m	1131 t	12 m	12/11	八丈島沖	O18y6
				6/22-6/26	東シナ海	N18y1
				8/8-8/21	大坂・別府	N18y2
				8/29-9/11	敦賀・舞鶴	N18y2
				9/14-9/27	名古屋・神戸	N18y2
かごしま丸	66.9 m	935 t	9 m	8/17-9/21	東シナ海・南方海域	K18y1,2

2-2. 観測体制

漂流ごみの目視観測調査は、最小で観測者 1 人と記録者 1 人の 2 名として、調査に当たる船毎の学生や調査員の数によって観測兼距離計測者、観測兼識別担当者など役割分担を増やして観測にあたった（表Ⅱ-2）。また観測中は集中力を維持するために 30 分から 1 時間で役割を交代しながら行った。調査の際には、目視観測データ入力アプリ（図Ⅱ-3）をインストールした GPS 内蔵のタブレットを使用した。これにより、個々の観測データに基本情報と緯度経度情報を付加することが可能になった。漂流ごみが見当たらないときには、記録者やその他の役割の者も観測を行った。

表 II-2 漂流物観測学生役割分担と業務内容

	役割分担	使用機材等	業務内容	配置場所
1名	記録	タブレット PC	観測・記録	船橋ウイング
2名	観測	野帳	観測・特記事項記録	船橋ウイング
3名	距離計測	傾角度計	観測・最接近時の距離を計測	船橋ウイング
4名	識別	双眼鏡・カメラ	観測・漂流物の種判定・カメラ撮影	船橋ウイング

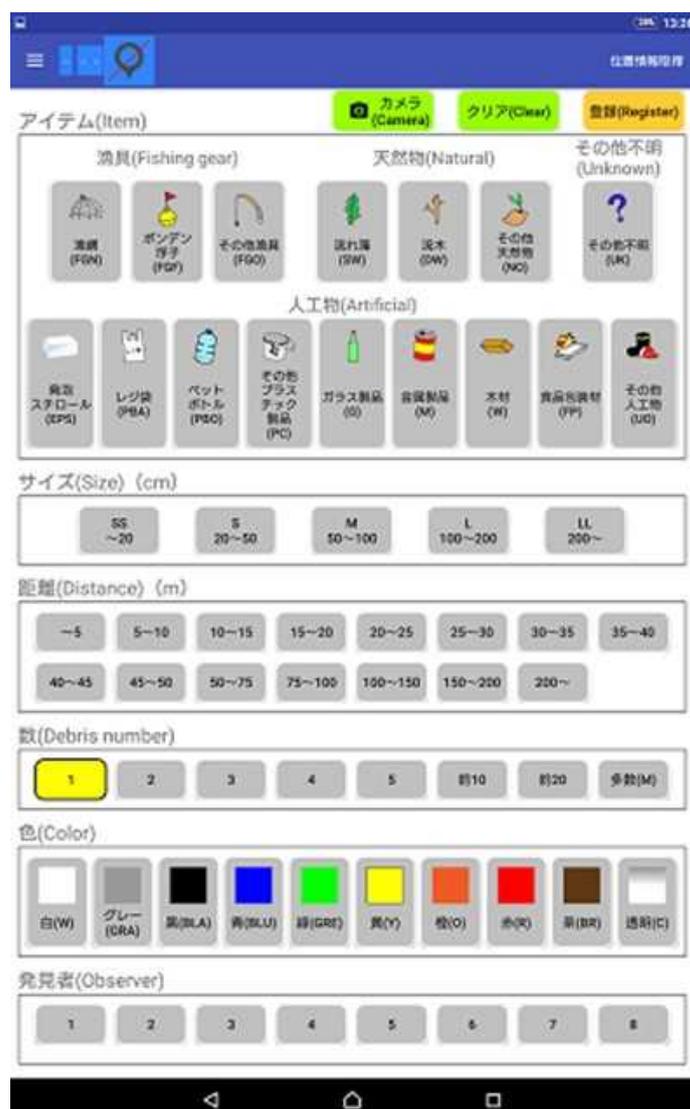


図 II-3 目視観測データ入力アプリの入力画面

観測時間は視野のきく 6 時から 18 時の航走時間帯に実施した。観測グループの調査時間帯は、概ね以下 (2-3) の通りに行った。なお、観測交代はスムーズに行い、途切れることのないよう留意した。

2-3. 観測手順

- ① 観測グループは、15分前に観測場所（ウイング）に集合し、備品（傾角度計・野帳・双眼鏡・タブレットPC）の確認をする。
- ② タブレットPCを起動するとともに目視観測データ入力アプリを起動し、タブレットによるGPSによる測位開始を確認する。
- ③ グレアの割合から観測舷決定を行う（海面反射が少ない方を選ぶ）。
- ④ 観測環境の変化で観測舷を変更する場合は、原則として毎30分または毎正時とした。
- ⑤ 記録者は、観測開始前に、目視観測データ入力アプリの基本情報入力シートに、ファイル名、記録者氏名、観測舷、コース・船速、風向・風速、気象・海象、観測舷、グレア率などを記入した。
- ⑥ 観測者は声に出して漂流物に関する情報を記録者に伝え、記録者は可能な限り復唱しながらデータの入力を行った。
- ⑦ 観測に余裕のある時は、記録者も一緒に観測を行った。
- ⑧ 潮目などのような特徴的な漂流物に遭遇した場合は、タブレットの備考欄より該当する性質を選び、記録野帳に記録し、可能な範囲でタブレットのカメラ機能で撮影を行った。

2-4. 観測項目

目視観測調査では、以下の項目を識別、測定し、目視観測データ入力アプリで記録した。メタデータ（基本情報）として、記録者、天候、風向風速、風浪階級、海面反射割合（グレア率）、観測舷、船速、針路などの観察環境を記録した。緯度経度は、スタートと同時に自動的に記録される。漂流ごみを発見した場合、その種類、距離、サイズ、色、数、観測者を入力した。距離は、漂流ごみが船体に最接近した際にその船体からの横距離(すなわちトラックラインとの垂直距離)を目測したものである。また、対象物に鳥がとまっているなど特徴的な事象がある場合は、その事実について、野帳に記録した。観察対象物は表Ⅱ-3に示すカテゴリーに分けて記録した。また、メタデータは気象の変化やコースの変更があった際にその都度修正した。

表 II-3 漂流物（ごみ）の種類区分

- 漂流物種類 -		(参考) 記録時に用いた略号等	
人工物	その他プラスチック製品	PC	Petrochemical
	食品包装材トレー、弁当空、お菓子類袋など	FP	Food Packaging
	レジ袋	PBA	Plastic Bag
	発泡スチロール	EPS	Expanded Polystyrene
	ペットボトル	PBO	Plastic Bottle
	ガラス製品	G	Glass goods
	金属製品	M	Metal Goods
	木材	W	wood
	その他	UO	Unnatural other
漁具	漁網	FGN	Fishing Gear Net
	ボンデン 浮子	FGF	Fishing Gear Float
	その他 漁具	FGO	Fishing Gear Other
自然物	流れ藻	SW	Seaweed
	流木	DW	Driftwood
	その他	NO	Natural other
その他不明	その他不明	UK	Unknown

漂流物のサイズは、最大部分の長さを目測して、以下のカテゴリで記録した。なお、海上に浮いているものは、付近に基準とするものがないためサイズ推定にばらつきが生じる可能性があったことから、資料 II-1 のような目安表を作成し、データの標準化に努めた。

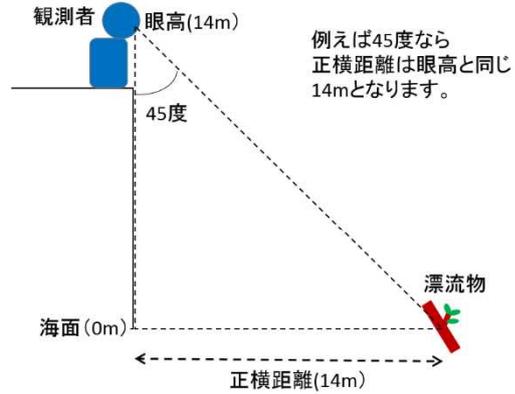
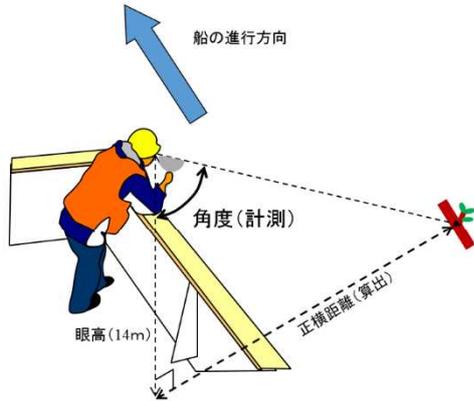
(LL>200cm, 200cm>L>100cm, 100cm>M>50cm, 50cm>S>20cm, 20cm>SS)

最接近時距離は、舷側から 5m 間隔での距離を目測して記録した。

同時に複数の漂流物が発見された場合は、出来る限り別々に記録することとし、複数個が一群となつて発見された場合、それを一群として記録し、その群を構成する漂流物の個数を記録した。最接近距離（正横距離）は精度向上と個人誤差を抑えるために、傾角度板を用いて角度から距離を推定した（図 II-4、資料 II-2）。そして得られた最接近距離は、統計処理をする際に 5m 毎のカテゴリに分けて整理することから 5m 単位で入力した。

海鷹丸目視観測最接近距離把握イメージシート

傾角度板を使って、最接近距離の感覚をつかむ。



角度と距離の関係模式図

角度と最接近距離の関係表

角度(度)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
海鷹丸(m)	1.2	2.5	3.8	5.1	6.5	8.1	9.8	11.7	14	17	20	24	30	38	52	79	160

図 II -4 正横距離測定概念図

例：5m 単位で正横距離を判断する場合

0 より 5m 以下は 5m （5m は 5m, 6m は 10m）

5m より 10m 以下は 10m、10m より 15m 以下は 15m とした。

〈記録用早見表 I〉

サイズの記入は SLM で

サイズの記入例

20cm > SS
 50cm > S > 20cm
 100cm > M > 50cm
 200cm > L > 100cm
 LL > 200cm

例えば
 カップめん、容器、ソフトボール、落ち葉、空き缶
 ペットボトルは全てサイズ (500ml: 21cm, 1.5~2L: 31cm) サングラ、スーパーの袋、ボンデン、サッカーボール、一升瓶、一斗缶
 ごみ袋、カラーコーン (70cm) ドラム缶 (90cm)

種類の記入例

種類	記号
漂流物の例	
漁網	FGN
漁具	
ボンデン 浮子	FGF
その他 漁具	FGO
発泡スチロール	EPS
レジ袋	PBA
ペットボトル	PBO
食品包装材 (トレー、弁当空、お菓子類袋など)	FP
人工物	
その他プラスチック製品	PC
ガラス製品	G
金属製品	M
木材	W
その他	UO
流れ藻	SW
自然物	
流木	DW
その他	NO
その他不明	UK

実例

資料 II-1 漂流物記録補助早見表

〈記録用早見表 II〉

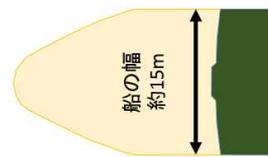
距離の記入例

記入例 正横距離

5m 舷側より5m以下
 10m 5mより10m以下
 15m 10mより15m以下
 20m 15mより20m以下
 25m 20mより25m以下

以下同様

目安として



角度	距離 (m)
5	1.2
10	2.5
15	3.8
20	5.1
25	6.5
30	8.1
35	9.8
40	11.7
45	14
50	17
55	20
60	24
65	30
70	38
75	52
80	79
85	160

資料 II-2 計測角度—正横距離変換早見表

2-5. ライトランセクト手法におけるデータ解析方法

一般的には、海表面上で漂流ごみは均一に分布していると仮定できる。しかしながら、航走する船舶の片舷から漂流ごみを目視観測すると、船体に近いところではほとんどすべての漂流ごみが発見できるのに対して、船体から離れるにしたがって見落とす確率が高まる。そこで、記録した横距離の頻度分布を取ると、発見した個数は船体近くから横距離が大きくなるにつれて、減少していく (図 II-5)。

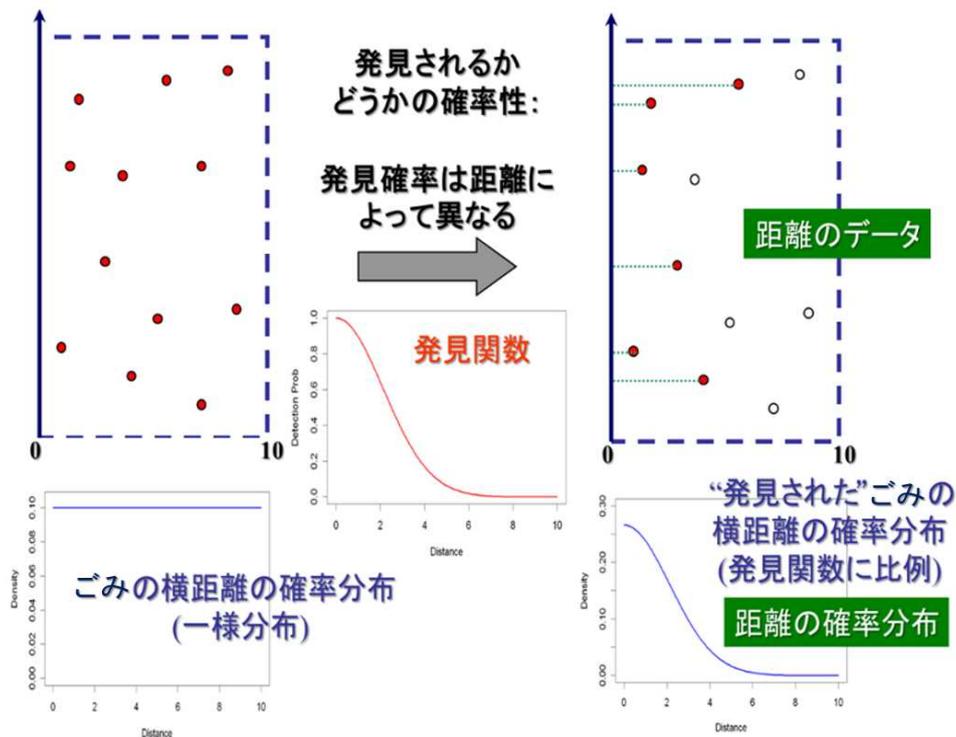


図 II-5 ライントランセクト手法による横距離データの性質

この横距離分布を表す単調減少の関数を発見関数と呼ぶ。発見関数は一般的に用いられる Half-Normal、Hazard-Rate に加え、左側 c m に半正規分布をつけた Half-Half-Normal、Half-Hazard-Rate の計 4 つを指定して用いることができる。トランケイトはデフォルトで 200 m としている。Half-Half-Normal、Half-Hazard-Rate の *cut point* はデフォルトで 10m としている。

Half-Normal

$$g(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

σ はパラメータ

Hazard-Rate

$$g(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^{-b}\right)$$

σ, b はパラメータ

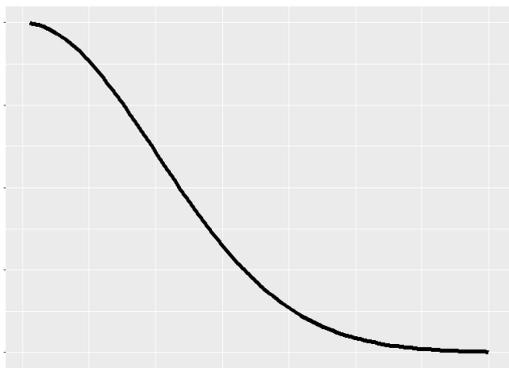


図 II-6. Half-Normal 型の発見関数の概形

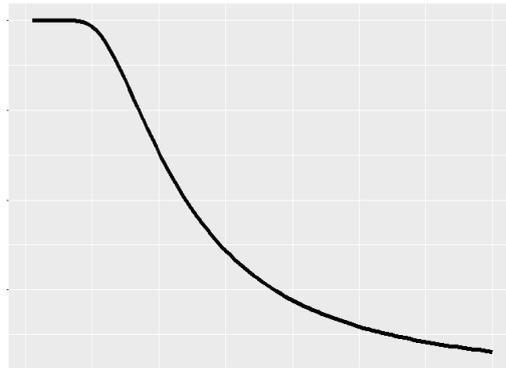


図 II-7. Hazard-Rate 型の発見関数の概形

Half-Half-Normal

$$g(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\delta^2}\right), & x \leq c \\ \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right), & x > c \end{cases}$$

σ, δ はパラメータ

Half-Hazard-Rate

$$g(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\delta^2}\right), & x \leq c \\ 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^{-b}\right), & x > c \end{cases}$$

σ, b, δ はパラメータ

※ c は cut point

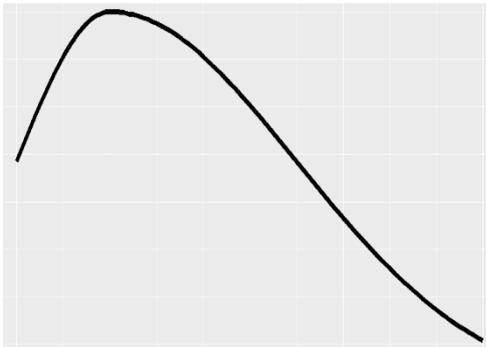


図 II-8. Half-Half-Normal 型の発見関数の概形

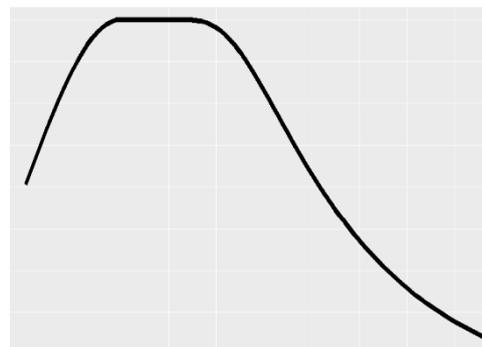


図 II-9. Half-Hazard-Rate 型の発見関数の概形

共変量解析

ライントランセクト手法では、一般的に発見関数のスケールパラメータ σ を共変量値の関数とすることで環境要因を考慮した解析を行うことができる。 σ は正のパラメータなので、 i 番目に発見した対象物の共変量の集合を $\mathbf{z}_i = (z_{i1}, \dots, z_{iq})$ とすると条件 \mathbf{z}_i の下での σ は

$$\sigma(\mathbf{z}_i) = \exp\left(\alpha + \sum_{q=1}^q \beta_q z_{iq}\right) \quad (3.10)$$

と表現できる。 $\alpha, \beta_1 \dots \beta_q$ はパラメータである。

パラメータの推定とモデル選択

観測データの横距離はある程度の幅を持って観測されているので、観測データの列名 \max , \min と発見関数から確率密度関数を以下のように定義し最尤法でパラメータの推定を行う。

$$f(x_i|\theta, \mathbf{z}_i) = \frac{\int_{\min_i}^{\max_i} g(x|\theta, \mathbf{z}_i) dx}{\int_0^w g(x|\theta, \mathbf{z}_i) dx}$$

$$L(\theta|x) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta, \mathbf{z}_i)$$

最尤法で求めた最尤値 \hat{L} とパラメータ数 k から AIC を次の式で算出しモデル選択を行うことができる。

$$AIC = -2 \log(\hat{L}) + 2 k$$

密度推定

密度推定には、Horvitz-Thompson-Like Estimator を用いた。各個体の発見確率の平均である

$$P_a(\mathbf{z}_i) = \frac{1}{w} \int_0^w g(x|\theta, \mathbf{z}_i) dx$$

を用いてレグ毎の密度を

$$\hat{D}_k = \frac{1}{wl_k} \sum_{i=1}^{n_k} \frac{1}{\hat{P}_a(\mathbf{z}_i)}$$

によって推定する。 n_k はあるレグでの発見数である。全体の密度は

$$\hat{D} = \frac{1}{wL} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{P}_a(\mathbf{z}_i)}$$

として計算できる。

推定値の分散

ライントランセクト手法における分散は、発見関数のパラメータによる部分と遭遇率と呼ばれる各トランセクトにおける発見数の違いによる部分からなる。 Horvitz-Thompson-Like Estimator を用いた時の全体の密度の分散は各レグでの現存量と遭遇率から以下の式で算出される。

$$Var(\hat{D}) = \left(\frac{1}{wL}\right)^2 \left\{ L \sum_{k=1}^K \frac{l_k}{K-1} \left(\frac{\hat{N}_{ck}}{l_k} - \frac{\hat{N}_c}{L} \right)^2 + \hat{\mathbf{d}}^T H^{-1}(\theta) \hat{\mathbf{d}} \right\}$$

ここで L は総努力量、 l_k は k 番目のレグの努力量、 $H^{-1}(\theta)$ はパラメータのヘッシアン行列の逆行列を示す。 \hat{N}_{ck} それぞれのレグでの現存量、 \hat{N}_c は調査海域の現存量を示し、それぞれ以下の式で算出する。

$$\hat{N}_{ck} = \sum_{i=1}^{n_k} \frac{1}{\hat{P}_a(\mathbf{z}_i)}$$

$$\hat{N}_c = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{P}_a(\mathbf{z}_i)}$$

$$\hat{\mathbf{d}} = \left. \frac{\partial \hat{N}_c}{\partial \theta} \right|_{\theta=\hat{\theta}}$$

グリッド毎の密度推定

グリッドの密度は調査レグの密度推定値に基づいて算出した。グリッドに含まれる調査レグが複数ある場合が考えられるので、グリッドの密度はレグの長さの重み付き平均で与えた。つまり、グリッドの密度 D_g は

$$D_g = \frac{1}{\sum_{m=1}^{M'} l_m} \sum_{m=1}^{M'} D_m l_m$$

M' はグリッドに含まれるレグの数、 D_m , l_m はそれぞれグリッドに含まれる m 番目のレグの密度と長さを表す。

海区毎の密度推定もグリッドと同様に行う。

引用文献

Buckland, S.T. et al. (2015) *Distance sampling: Methods and applications*. Springer International Publishing, Switzerland.

Buckland, S.T. et al. (2001) *Introduction to Distance Sampling*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.

Marques, T.A., Thomas, L., Fancy, S.G. and Buckland, S.T. (2007) Improving Estimates of Bird Density Using Multiple-Covariate Distance Sampling. *The Auk* 124(4): 1229-1243

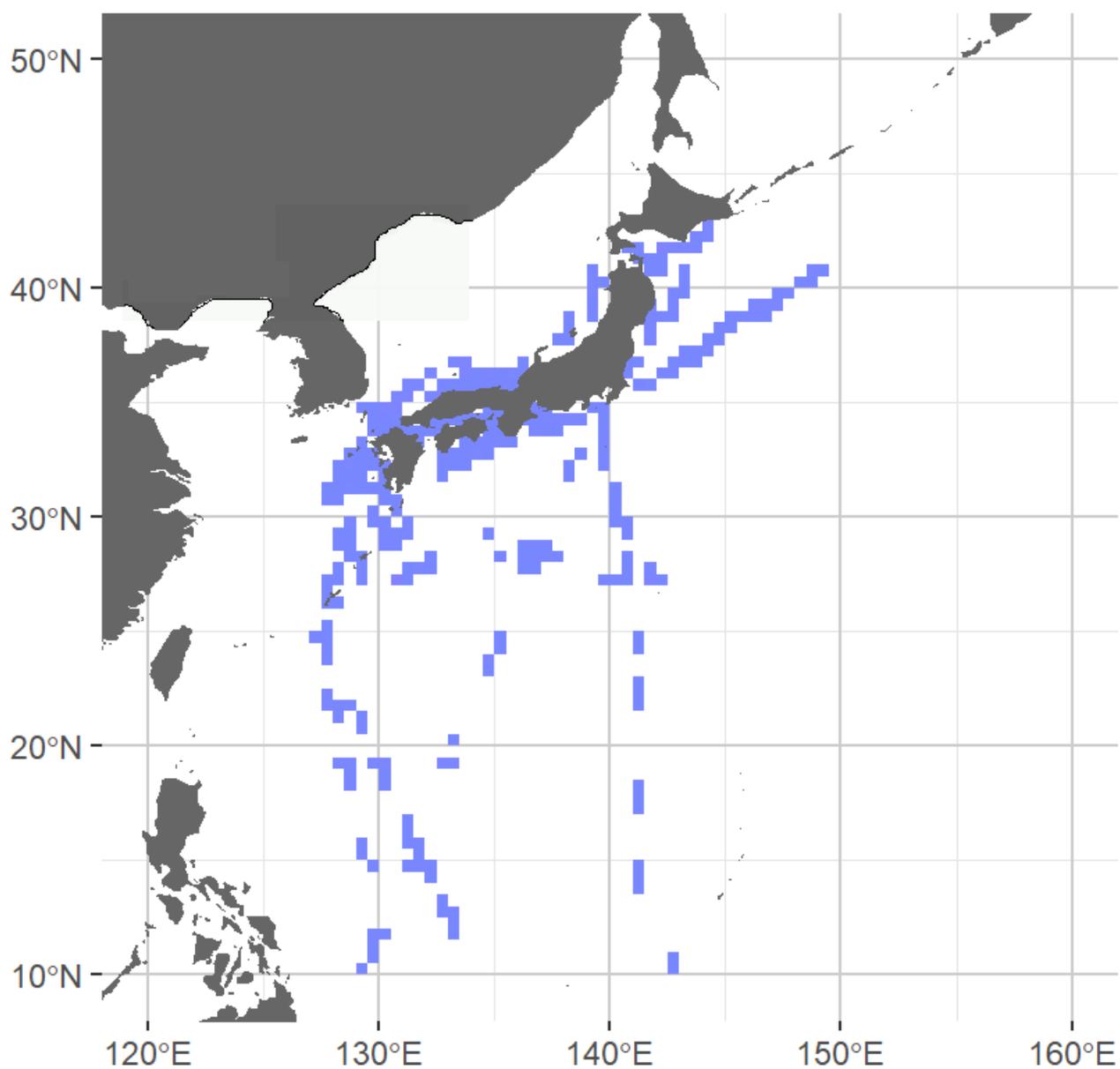
II-3. 調査結果

3-1. 調査実施の概要

2018年度は、6隻の練習船によって表II-4、図II-1に示すような調査を実施した。解析を行った結果、密度を算出したグリッドの分布は、図II-10に示す通りである。

表II-4 2018年度調査実績

船名	調査日	調査範囲	回数	距離 (km)	発見個数 (個)
海鷹丸	7/12-8/10	日本周回	35	1193	11814
	11/12-2/25	南方海域	116	1336	698
神鷹丸	7/12-8/10	日本周回	64	1144	9950
	8/18-9/11	西日本周辺	17	389	3470
	1/29-2/12	南方海域	45	1241	556
おしよろ丸	6/15-6/17	北太平洋	39	1035	2985
	9/28	日高湾・釧路沖	9	126	564
	10/19	日高湾・釧路沖	6	158	492
	11/7	釧路沖	3	90	278
	11/14-11/15	釧路・八戸沖	6	127	572
	12/11	八丈島沖	8	115	82
長崎丸	7/31-8/31	西日本周辺	20	2538	1423
	9/1-9/25	西日本周辺	17	2597	821
かごしま丸	8/17-9/21	東シナ海・南方海	33	2244	1370
青鷹丸	6/21-1/17	相模湾	52	397	5499

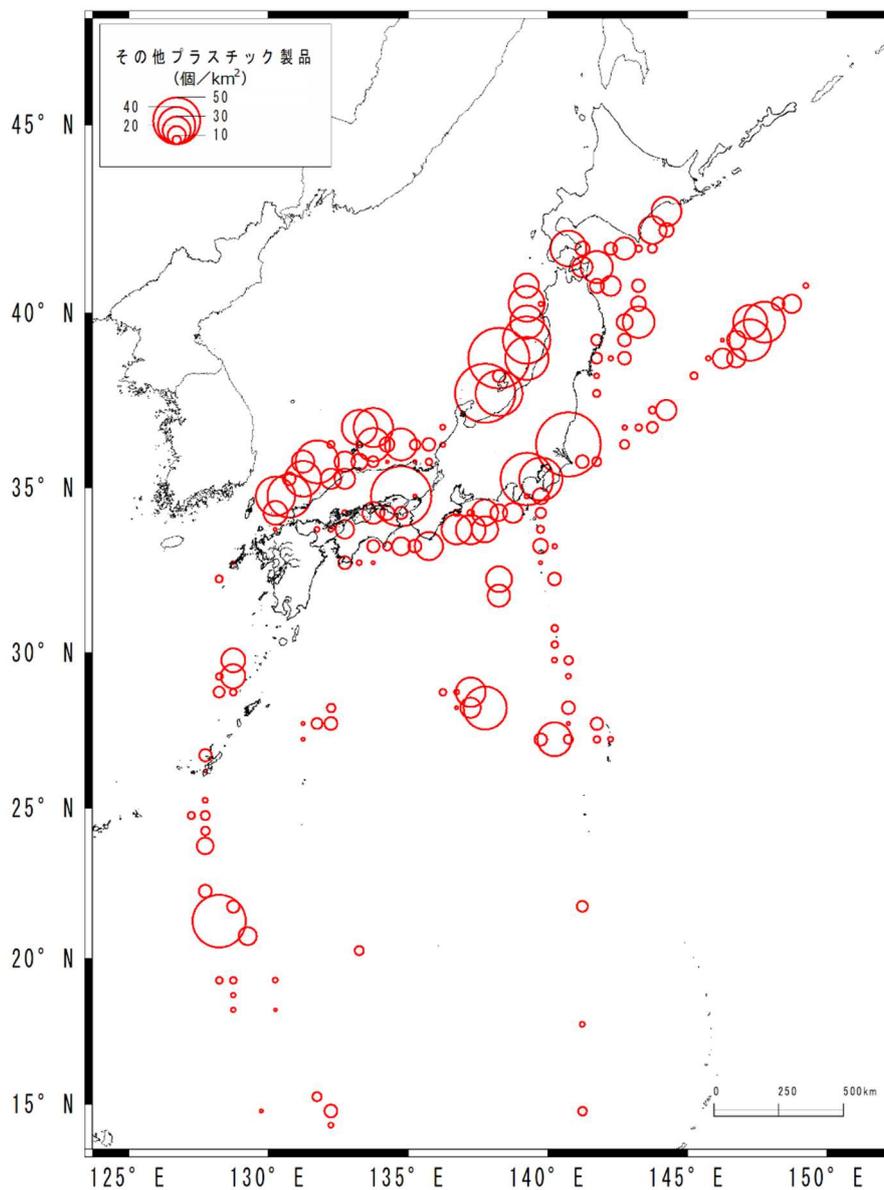


図Ⅱ-10 解析結果から得られたグリッド（緯度経度 30 分毎）の分布図

3-2. 日本周辺海域の漂流ごみ種類別の密度（個/km²）分布

3-2-1. その他プラスチック製品（図Ⅱ-11）

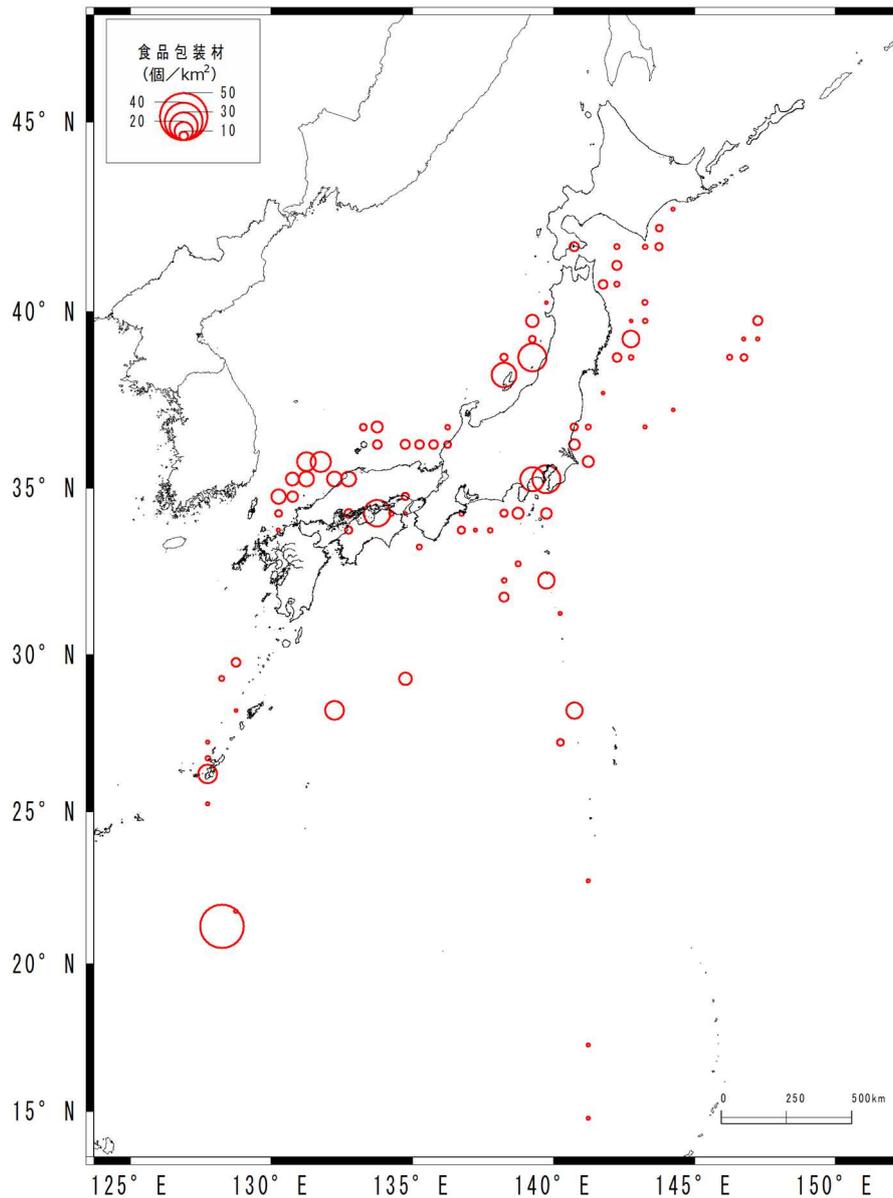
食品包装材やレジ袋、ペットボトル等に分類されないその他プラスチック製品は、荷造り紐やバケツ、シート状のものなどがこれに該当する。こうしたプラスチック製品は、西から見ていくと、50個/km²以上の高密度な点は、南西諸島の南方に1エリア、瀬戸内海東方、関東周辺海域、能登半島から佐渡島にかけて見られた。最も高密度だったのは関東の沖合で69個/km²であった。また、日本の南方海域では、北緯25度から30度の間に高い密度のエリアがいくつか見られた。それ以外にも高密度な点は、人口密度が高い都市部に近い場所に多いことから、これらの地域から海洋中に流入したものが、風や潮流で沖合域から外洋域に拡散していているものと考えられた。



図Ⅱ-11 その他プラスチック製品の密度分布

3-2-2. 食品包装材 (図Ⅱ-12)

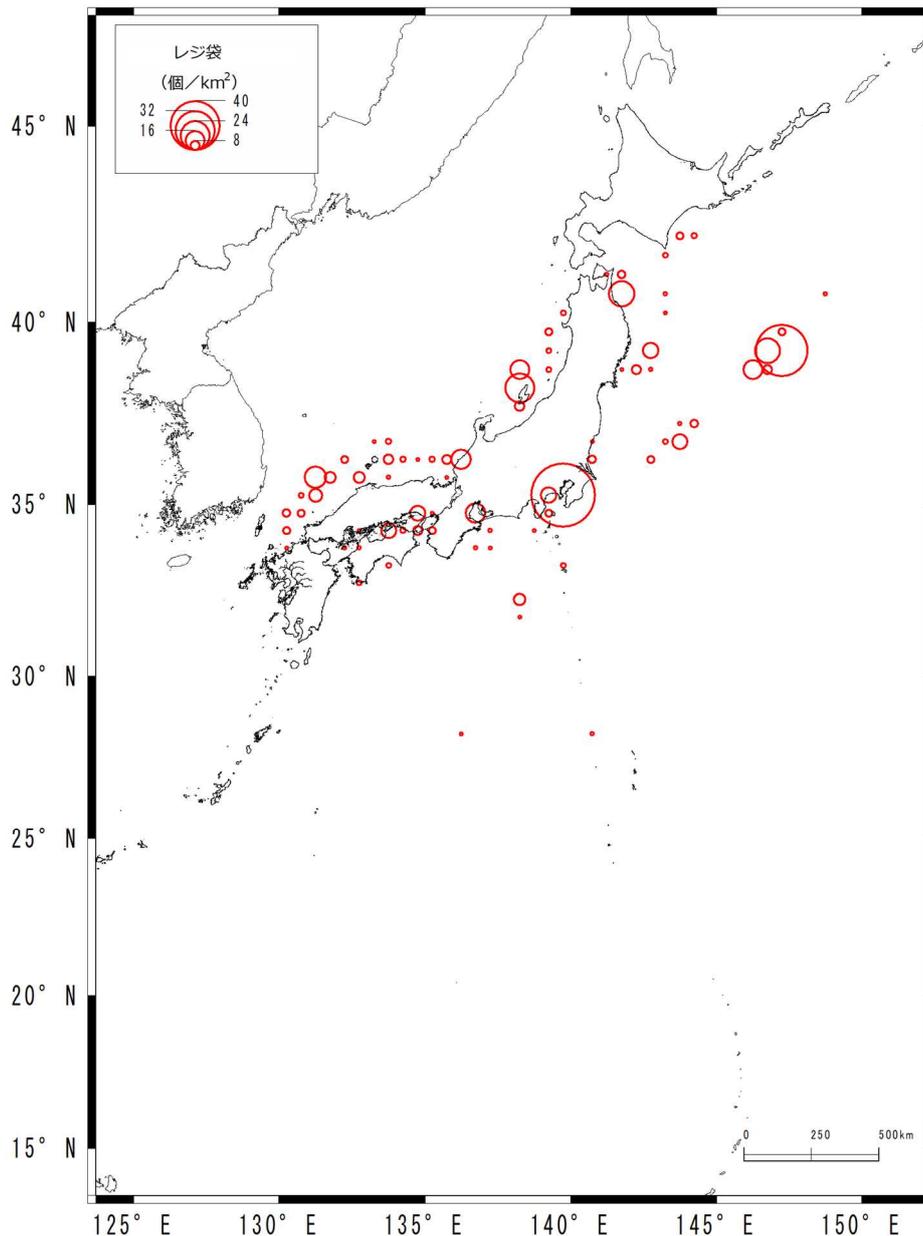
食品包装材は、最も高密度だったのは、46 個/km²を記録した南方海域であった。その他の高密度であった場所は、その他プラスチック製品で 50 個/km²以上が記録された関東周辺海域、佐渡島の他に山口県から島根県にかけての日本海側沖に見られた。食品包装材の多くはプラスチック製品であり、漂流の状態もその他プラスチック製品と同じように、水面下に張り付くように漂う。これらのことから、その他プラスチック製品と似た分布傾向を示したものと考えられた。



図Ⅱ-12 食品包装材の密度分布

3-2-3. レジ袋 (図Ⅱ-13)

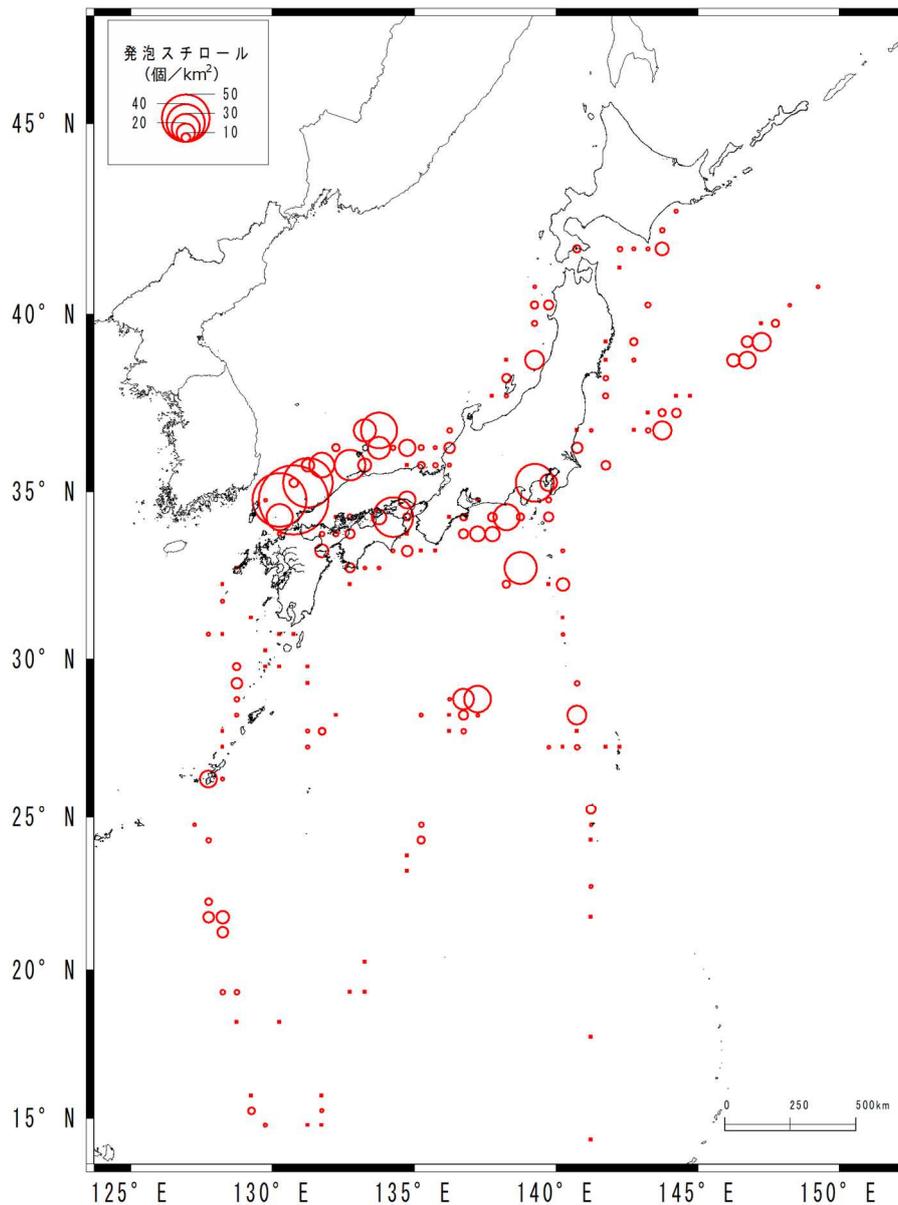
レジ袋は、2017年度と同じように、東高西低の傾向がみられた。最も密度が高かったのは、関東周辺海域の52個であったが、東日本の沖合（東経145度から150度の間）に高密度なエリア（42個/km²）も見られた。レジ袋は、その他プラスチック製品と同じように、水面に張り付くか、もしくは水面下を漂っていることから海流の影響を受けやすいと考えられる。2017年も東経170度以東のエリアでも、日本の沿岸と同程度の密度の場所があった。今回高密度であった場所は、黒潮の続流域であることから、レジ袋が黒潮によって日本のはるか東に海域にまで運ばれているものと考えられた。



図Ⅱ-13 レジ袋の密度分布

3-2-4. 発泡スチロール (図Ⅱ-14)

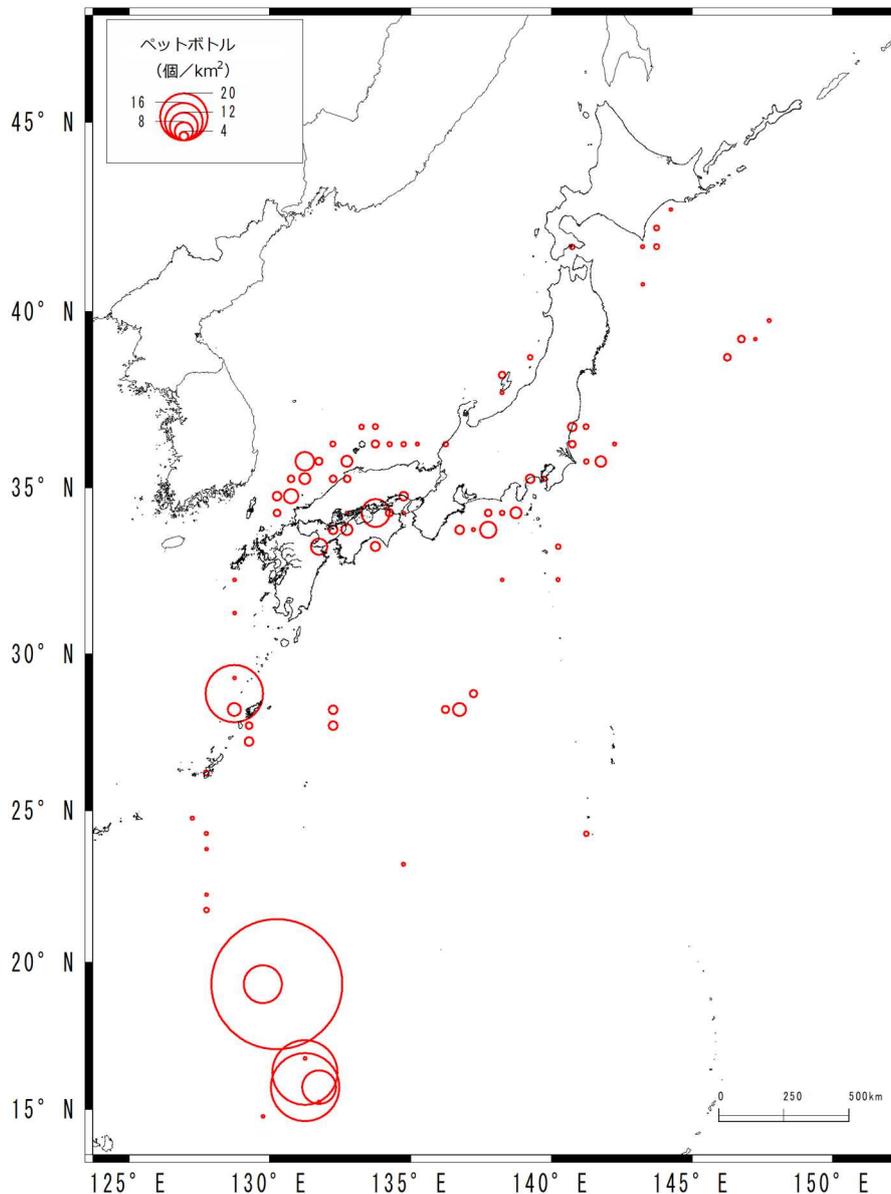
今年度の調査では、発泡スチロールは、九州の西側海域に高密度な場所が多く見られた（最高は山口県日本海側沖で 73 個/km²、続いて九州北部沖で 57 個/km²、島根県沖で 51 個/km²）。また瀬戸内海（香川県沿岸で 42 個/km²）や、関東地方の太平洋側（神奈川県沿岸で 39 個/km²）にかけても、やや高い密度のエリアが分布している。西日本の日本海側に高密度なエリアが集中する傾向は、2014 年と 2017 年の調査の傾向と同様の西高東低の結果となった。



図Ⅱ-14 発泡スチロールの密度分布

3-2-5. ペットボトル (図Ⅱ-15)

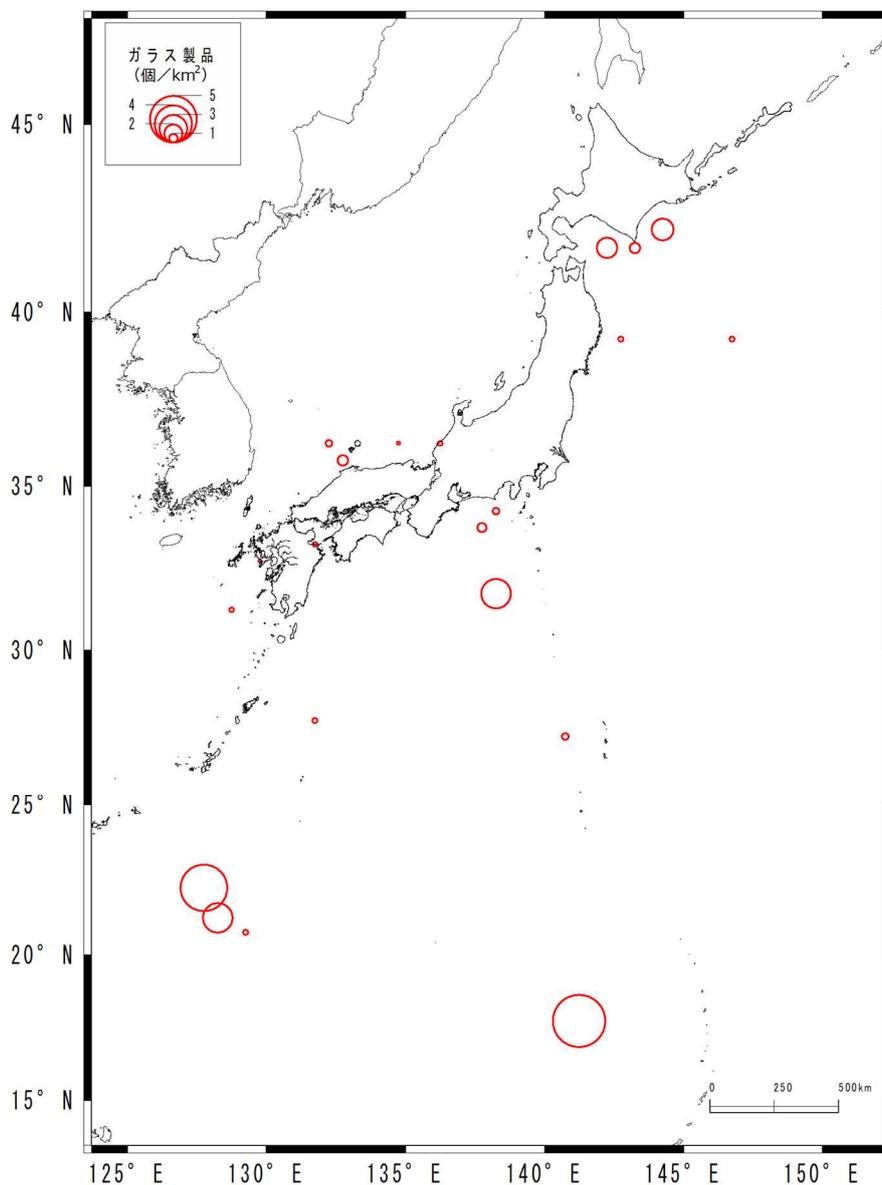
ペットボトルは、これまでの調査では発泡スチロールと同様に、九州北部から西日本の日本海側で密度の高いエリアが見られた (最高 37 個/km²)。しかし今年度は、南西諸島の南方海域において、これまでの調査では見られなかった高密度なエリアが散見された (最高 55 個/km²)。ペットボトルは、完全に浮上していたものが多かったことから、その挙動は発泡スチロールと似ていると考えられる。本州周辺においては、発泡スチロールと似た分布傾向を示した。このことからこれらの発生源は、発泡スチロールと同じか近い場所にあると推定された。また、環境省の平成 28 年度漂着ごみ対策総合検討業務の結果によると、奄美、対馬、種子島、串本及び五島では漂着ペットボトルの約 4~6 割が外国製であったという。今回、高密度を記録した南方海域のペットボトルの発生源は明らかではないが、これらが南からの季節風と黒潮に乗って、日本の南西諸島から九州地方に漂着する可能性はある。今後は、このように外洋を漂流しているペットボトルを回収し、その文字から発生源の推定をすることも考えらえる。



図Ⅱ-15 ペットボトルの密度分布

3-2-6. ガラス製品 (図Ⅱ-16)

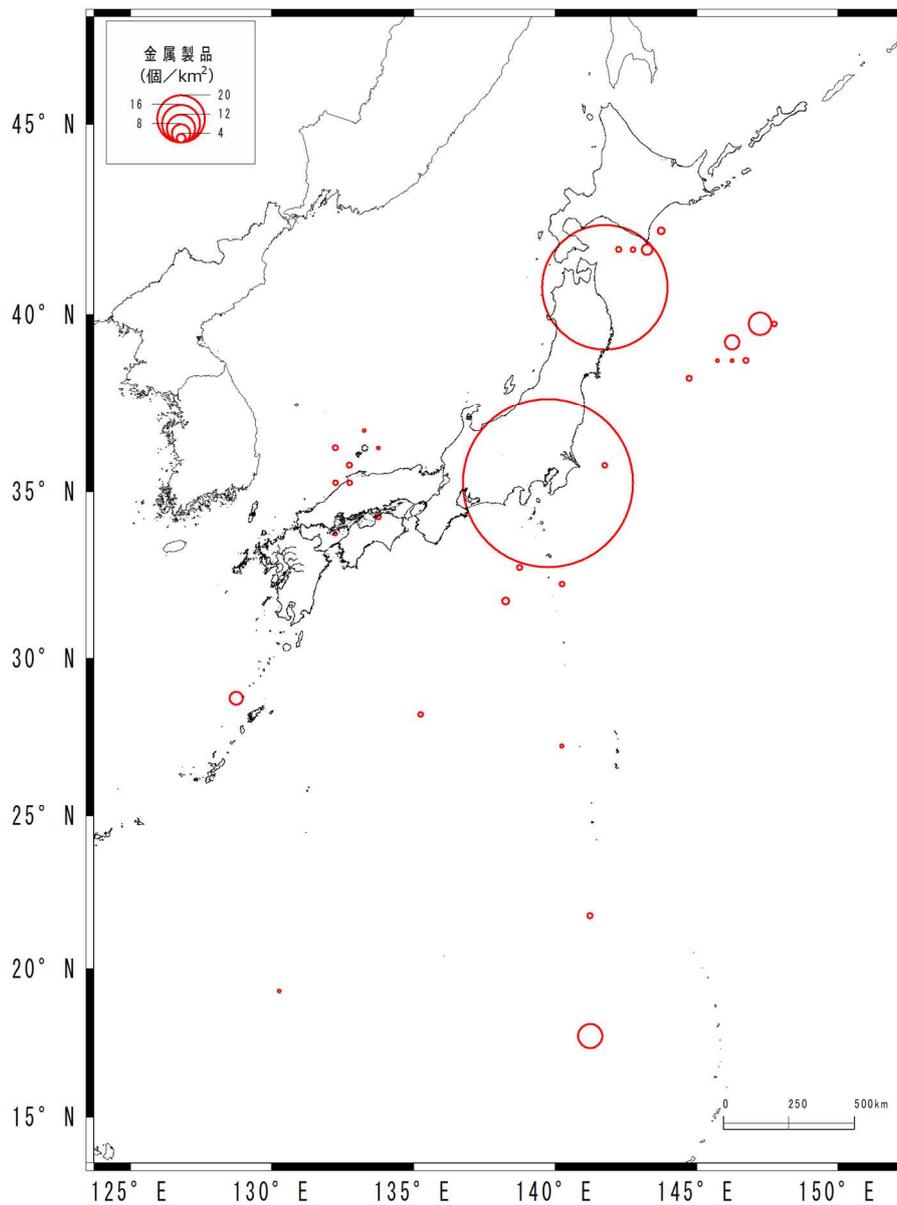
ガラス製品は、キャップが閉まった状態の空き瓶や電球、蛍光灯などである。これまでの調査では、東シナ海や日本海側、瀬戸内海、関東の沖合、津軽海峡の東方沖などで、高密度なエリアが記録されている。今年度の結果は、これまでの調査の結果と同様に、津軽海峡の東方沖でも高密度なエリアが見られたが、今年度は特に、日本からはるか離れた南方海域でも高密度なエリアが記録された (6個/km²)。また、プラスチック製品に比べて発見される個数が少ないのは、ガラス製品が本来沈むものであることからその多くは海洋に投棄あるいは流入しても短時間で海中に沈んでしまうために沖合で発見されるものが少ないことや、元々のプラスチックと比較して使用される量が少ないなどが、その理由として考えられる。



図Ⅱ-16 ガラス製品の密度分布

3-2-7. 金属製品 (図Ⅱ-17)

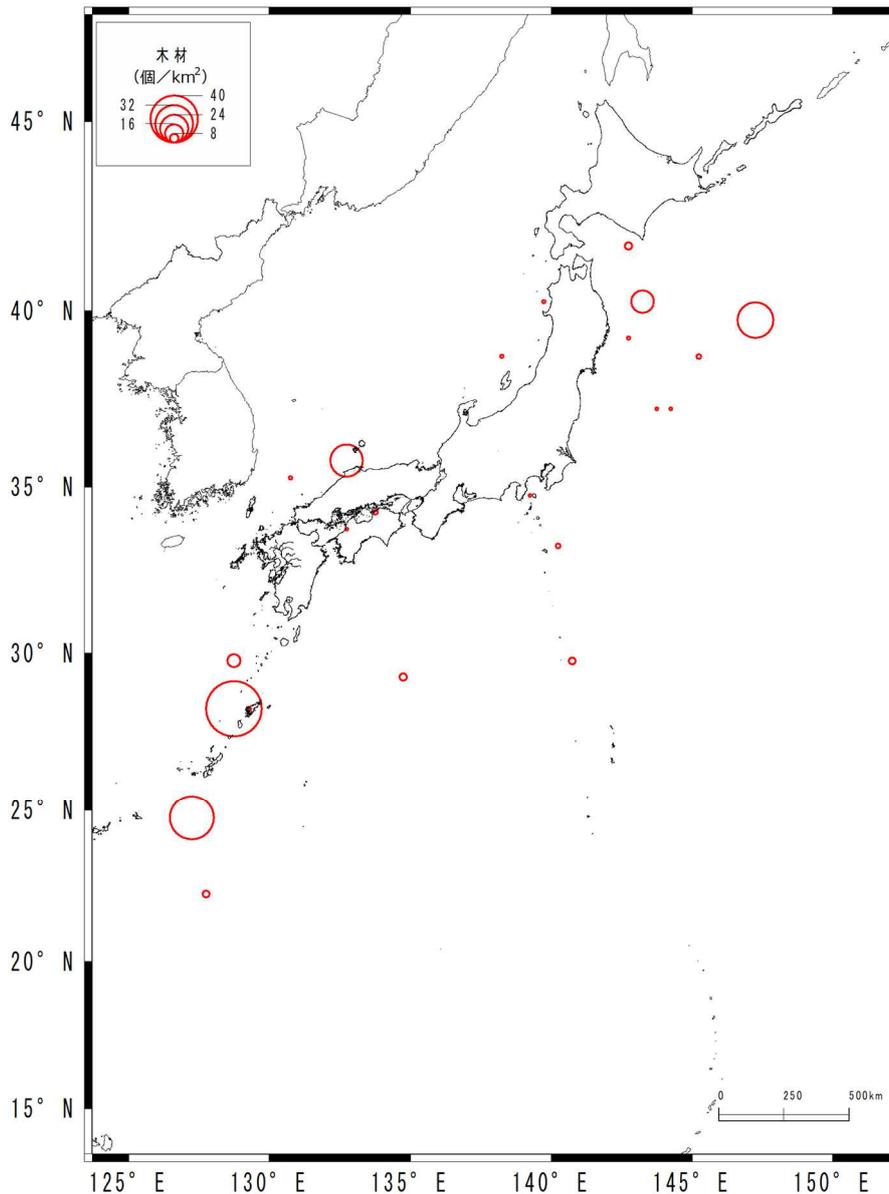
金属製品で観測されるのは、空き缶の天地が逆さまになりながら気室を保ち漂流しているものや、キャップの閉まった状態の金属製のボトル缶、塗料缶、ドラム缶などが主である。今年度は、関東沖合 (71 個/km²) と津軽海峡の東沖に突出した密度のエリアがあった。一方で、全体的な密度は低い。これらの金属製品は、ガラス製品と同様に比較的短時間で、海中に沈んでしまうために沖合での発見個数が少ない可能性と、元々の絶対量が少ない可能性の両面が考えられる。



図Ⅱ-17 金属製品の密度分布

3-2-8. 木材（人工物）（図Ⅱ-18）

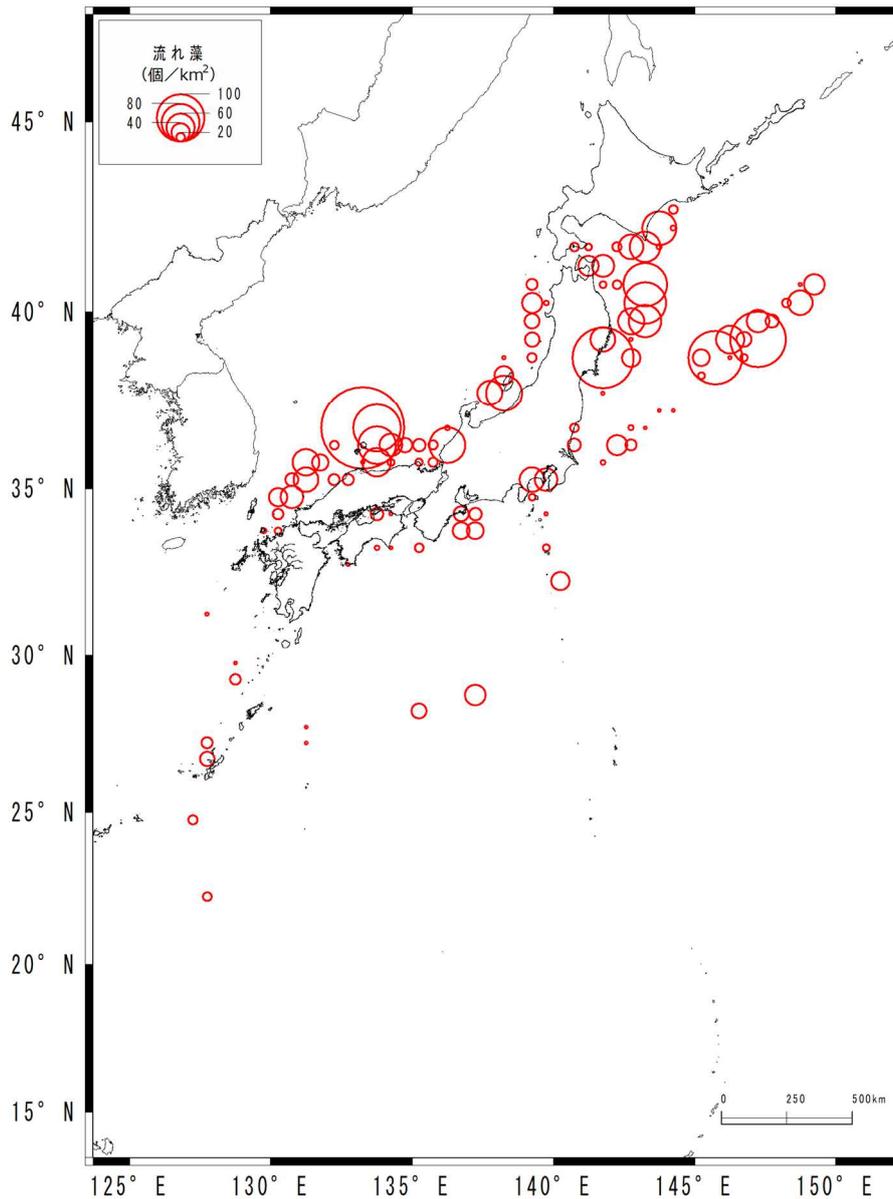
ここで木材とは、角材や板などの人工的に加工が施された木製品のことを示す。木材の発見件数は少なく、一けた台の密度のエリアが多くなった。2017年度の調査では、北関東から東北にかけての太平洋側では、100個/km²を超える高密度なエリアが複数見られたが、今年度は、100個/km²を超えるようなエリアは見られなかった。最も高かったのは、47個/km²を記録した南西諸島の周辺海域であった。その他にも20個/km²を超えるようなエリアが見られるが、この海域に、多量の木材が存在した理由については定かではない。



図Ⅱ-18 木材（人工物）の密度分布

3-2-9. 流れ藻 (図Ⅱ-19)

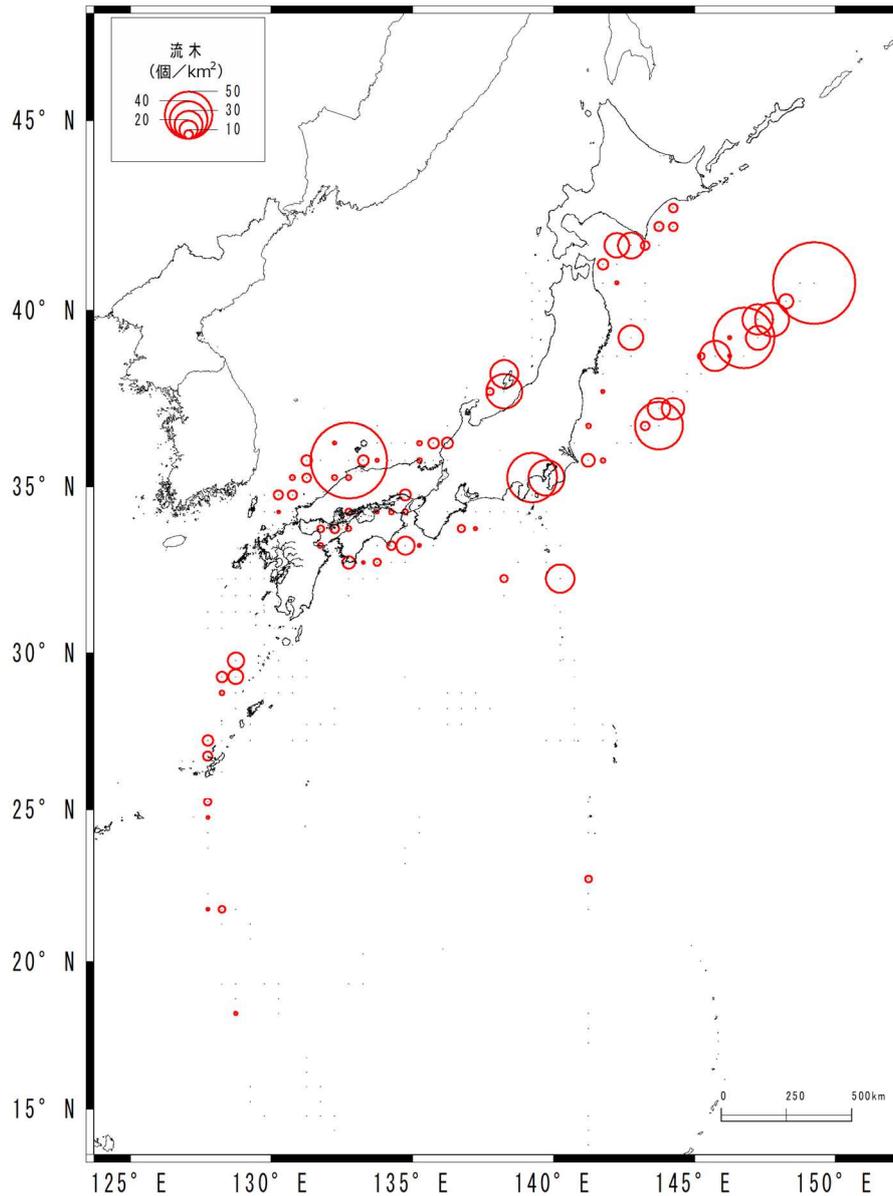
流れ藻は、細かく枝分かれがみられるホンダワラ類と、細長い葉のアマモ類が主に観測される。流れ藻は、日本海側の沿岸近くの記録が多くなる傾向が見られた (最高 173 個/km²)。また、津軽海峡の東方海域から、黒潮族流域に高密度なエリアが散見された。



図Ⅱ-19 流れ藻の密度分布

3-2-10. 流木 (図Ⅱ-20)

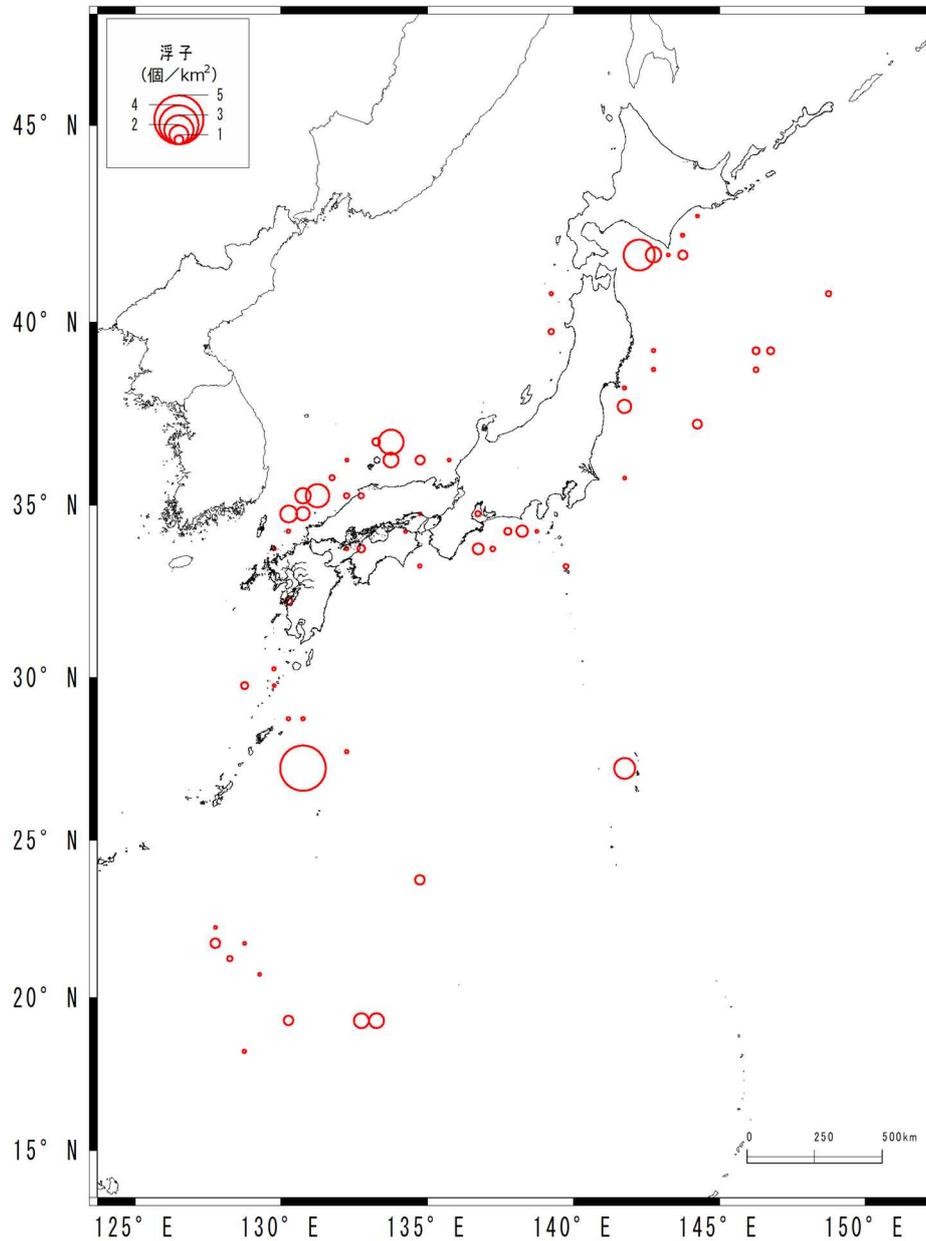
流木は、流れ藻ほど高密度ではないが、沿岸近くに高密度が多くみられる。また、流れ藻と同じように、黒潮域流域に高密度なエリアが多く見られた (最高 86 個/km²)。最も高密度なエリアが存在した場所は、その他プラスチック製品やレジ袋、流れ藻の高密度なエリアが多く見られた場所であったことから、今年度の調査時期は、この海域は漂流物が収束しやすい状況にあった可能性がある。



図Ⅱ-20 流木の密度分布

3-2-11. 漁具：浮子 (図II-21)

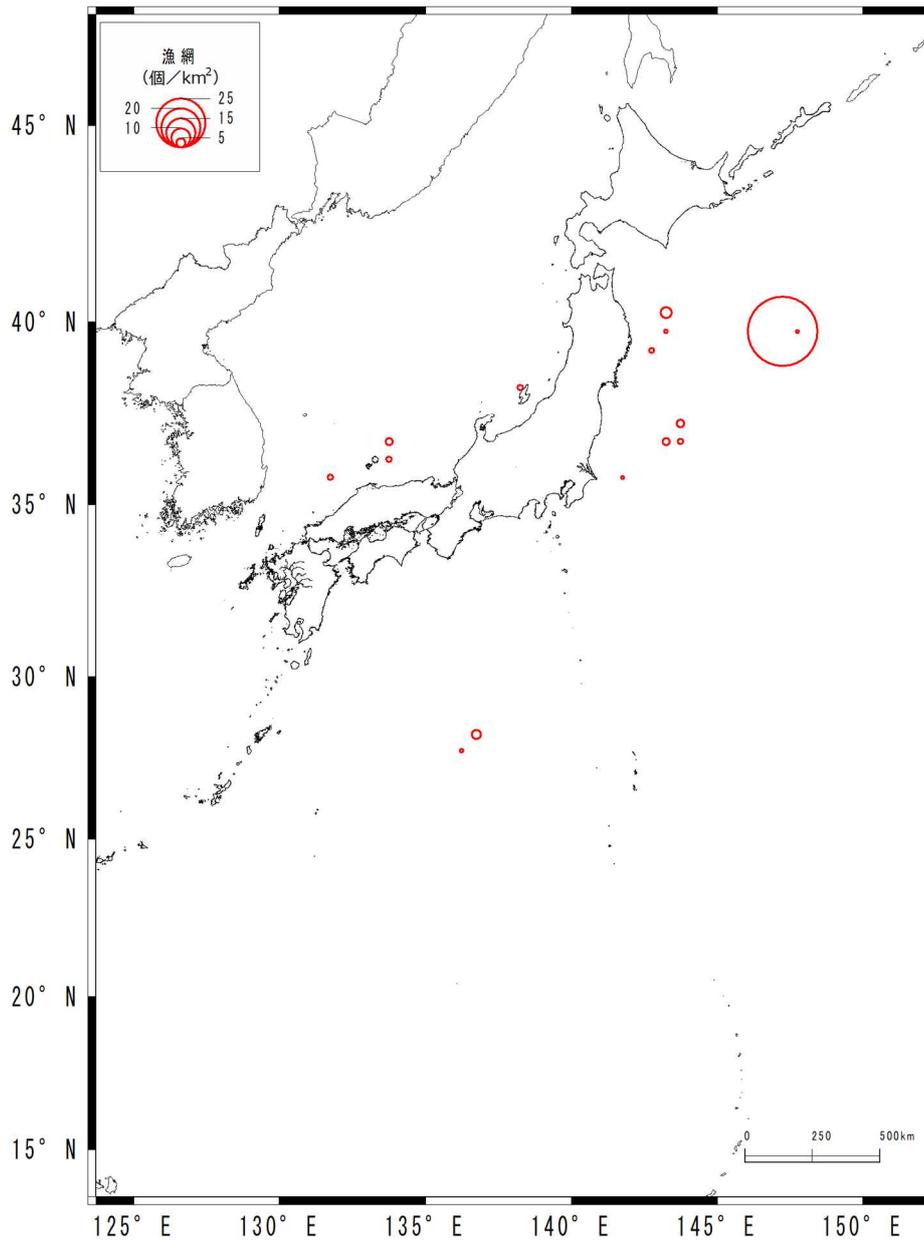
浮子は、南西諸島の東方海域で最高密度 5 個/km² のエリアがみられた。また、九州の北から山陰地方の沖合にかけて、少ない個数ではあるが観測されている。



図II-21 浮子 (漁具類) の密度分布

3-2-12. 漁具：漁網（図Ⅱ-22）

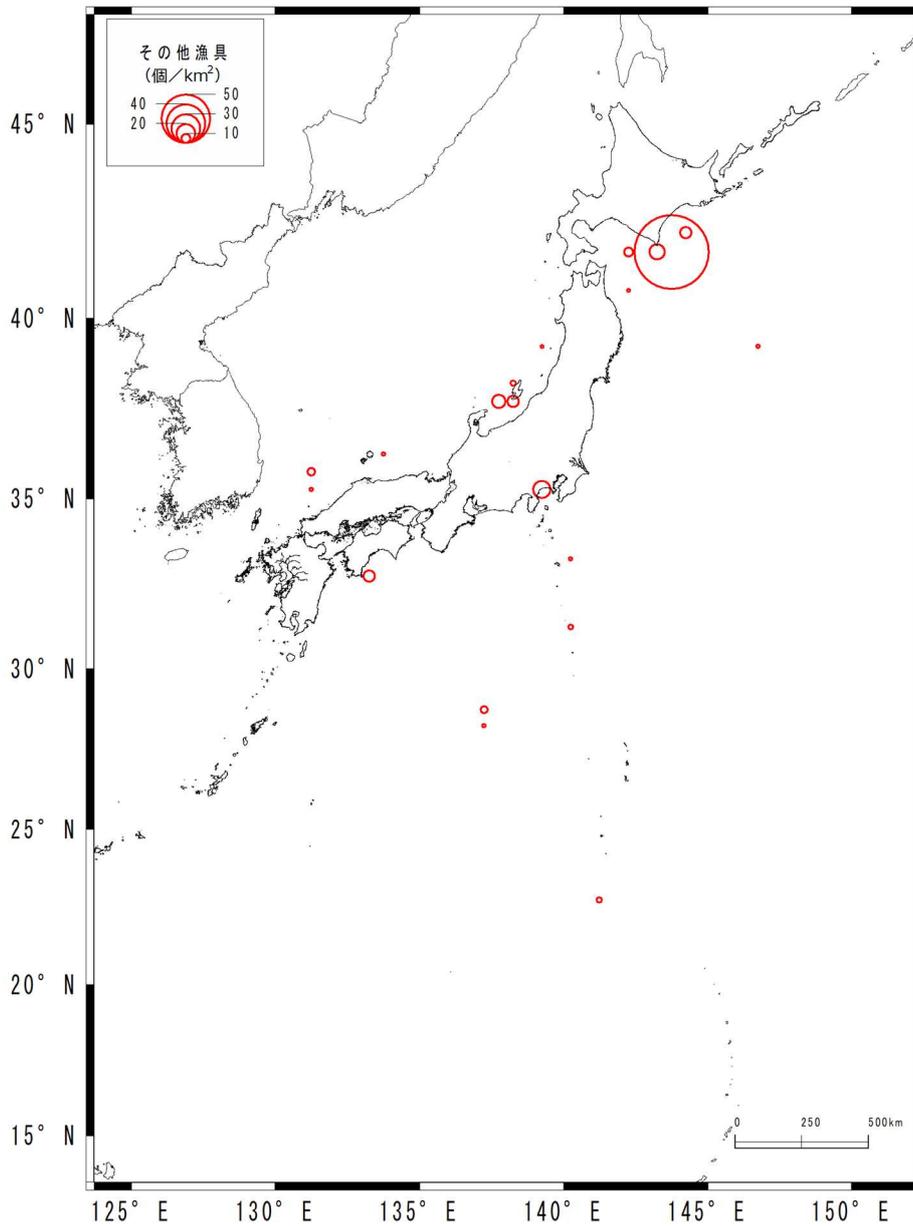
漁網は、最も密度が高かった最高 36 個/km²を記録したのは、黒潮族流域上のエリアであった。漁網の多くは使用目的を考えると本来は沈む材質のものが多くははずである。ここで漂流ごみとして観測された漁網は、直接手に取って確認することはできなかったが、何らかの浮力のあるものと絡まりながら漂流しているものと考えられた。



図Ⅱ-22 漁網（漁具類）の密度分布

3-2-13. その他漁具 (図Ⅱ-23)

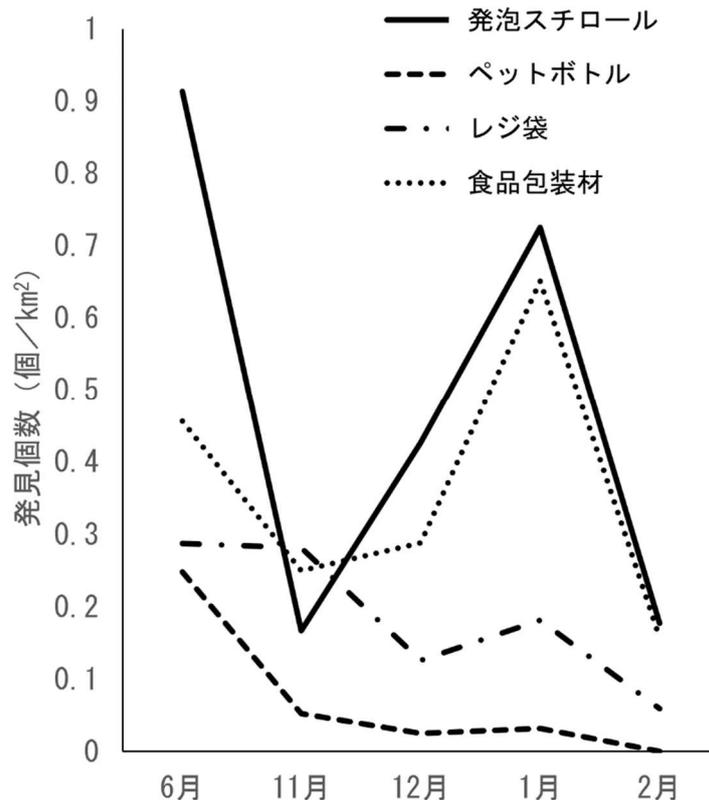
その他漁具は、主に魚を入れるためのかごや、旗竿、ロープなどの漁業資材になる。例年、九州の西方の東シナ海に高密度なエリアが見られるが、今年度は北海道の南で 76 個/km² というエリアがみられた。しかし、全体的には少なかった。



図Ⅱ-23 その他漁具類の密度分布

3-3. 相模湾調査の結果

今年度も2017年度に引き続き、相模湾での定期調査を実施した。調査は、東京海洋大学の練習船青鷹丸を用いて実施した。ここでは、はじめに季節毎の漂流ごみの出現状況を比較するため、種別の平均密度を調査月ごとに算出した(図II-24)。特にここでは、風の影響を受けやすい全体を水面上に露出させた状態のペットボトルと発泡スチロール、海面下または海面に張り付いた状態で漂流しているレジ袋、食品包装材、その他プラスチック製品でその季節変化について考察した。



図II-24 相模湾における漂流ごみの発見個数の季節変化
(横軸が調査月、縦軸が個数 (個数/km²))

調査日の天候の関係で、調査時期が晩秋から冬季に偏ってしまったが、ペットボトルは、初夏よりも冬季の方が発見個数が低くなる傾向が見られた。これは夏季は南風に影響で、外洋から湾内に向けてごみが集積しやすい環境にあり、冬季になると北寄りの風で沖合に拡散してしまっているものと考えられた。一方で、同じような状態で漂流する発泡スチロールは、ペットボトルとは異なり、12月～1月と増加する傾向が見られた。沈んだ状態、または海面に張り付いた状態で漂流していたものについては、食品包装材はそれに似た傾向を示したが、レジ袋で異なる傾向が見られた。いずれのタイプの漂流ごみも、夏に多く、冬に少なくなる傾向がみられたが、これはそれぞれの季節の季節風が関係している可能性が高い。今後も引き続き同様の調査を継続し、データの蓄積をしていくとともに、海岸の季節的な利用状況や、調査前の天候などについても情報を収集していくことが考える。

II-4. まとめと今後の課題について

4-1. 漂流物の分布傾向

漂流ごみの種類によって、特徴的な分布の傾向が見られた。その他プラスチックの分布は、西から見ていくと、50個/km²以上の高密度な点は、南西諸島の南方、瀬戸内海、関東周辺海域、能登半島から佐渡島にかけて多く見られた。食品包装材についても、関東周辺海域、能登半島から佐渡島にかけて溜まる傾向がみられた。一方で、ポップアップタイプの漂流ごみである発泡スチロールとペットボトルは、九州北部から西日本の日本海側で多く見られた。両種は、海上では多くが完全に海面上に浮き上がり、海流の流れだけでなく、風の影響も受けやすい状態にある。このことから、この2種類は同じような場所が発生源である可能性が考えられた。

一昨年度より始めた、相模湾での定期調査では、昨年につき、南風が卓越する夏季に密度が高くなり、北風が卓越する冬季に密度が低くなる傾向が見られた。このことから、調査海域の地形や季節風によって、その場所に集積するごみの量というのが変化する可能性が示唆された。海洋ごみの調査は、潮目のような高密度な海域に遭遇すると、極端に発見個数が上がってしまい、それによって推定される密度が高くなることもある。そのため、1回の調査では、その海域の特徴を代表しているとはいえない面もある。このような調査は、できる限り継続しデータを蓄積することで、その海域に分布する海洋ごみの特徴を明らかにすることができるものとする。

4-2. 漂流ごみの資源量推定について

2016年度までの調査では、海鷹丸と神鷹丸、青鷹丸による漂流ごみの種類別の発見関数を求めて、調査を行ったレグ（原則1時間の観測）ごとに、推定したパラメータを基に種類別の密度を推定した。これに対して2017年度から、更に種別毎に発見に影響を与える要因（風浪階級やサイズ、天候）を考慮したモデルを取り入れることで、発見された一つ一つの漂流ごみに有効探査幅をもとめ、これを基に、分布密度の計算を行った。また、ここで推定している分布密度を基に、海域毎の漂流ごみの量を推計するとともに、その推計量と海岸に打ち上げられているごみの量の関係などを比較し、沖合と沿岸の関係を検討する必要もあろう。海ごみは様々な種類があり、比較をすることは容易ではない。そこで、沖合でも種判定がしやすく海岸の調査でも計数しやすいペットボトルなどから、このような取組を始めるのが容易と考える。

Ⅲ. 海表面を浮遊するマイクロプラスチックに係る調査

Ⅲ-1. 調査目的

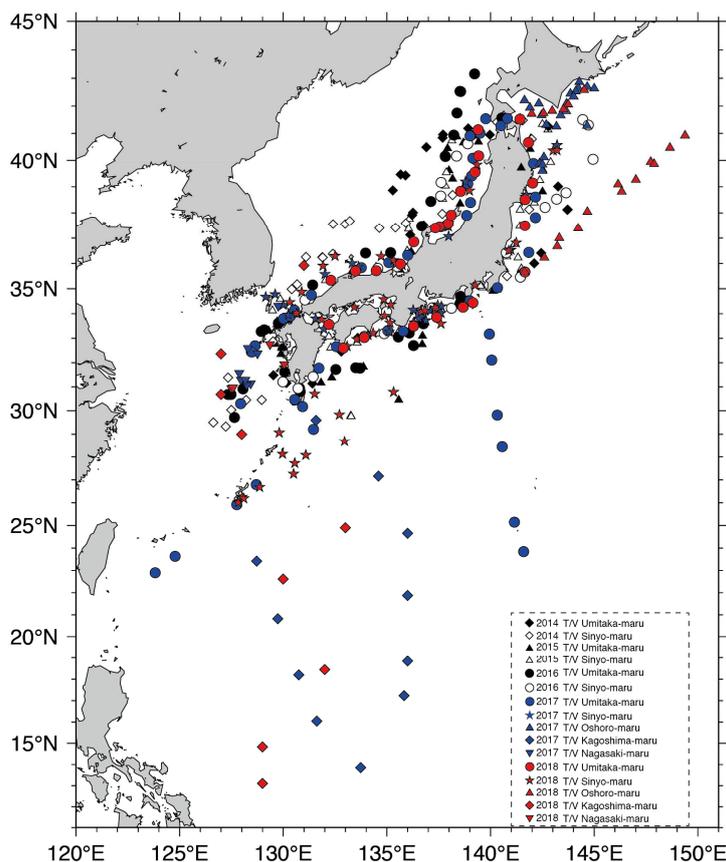
人為的な海ごみの7割を占める廃プラスチックは、その大きさ(δ)よりマクロプラスチック(元の形状を残すもの)、メソプラスチック($\delta > 5\text{mm}$ の微細片)、マイクロプラスチック($5\text{mm} > \delta > \text{数}\mu\text{m}$)、そしてナノプラスチック($\delta < \text{数}\mu\text{m}$)に分類される(Andrady, 2011; Cole et al., 2011)。そのうち、マイクロプラスチックやナノプラスチックには、製造過程で洗顔剤や歯磨き粉等に混入され、使用後に環境流出した一次生産物 **microbeads (primary microplastics)**がある。加えて深刻であるのは、海岸で劣化したプラスチックごみが破碎して生じた二次生産物(**secondary microplastics**)である。本調査では、2014年度からの調査に引き続いて、2017年より、東京海洋大の練習船2隻に加え、北海道大学おしよろ丸、長崎大学の長崎丸、そして鹿児島大学のかごしま丸の5隻運用体制で、日本周辺を中心としつつも、北西太平洋に範囲を広げて曳網採集を行い、プラスチック微細片、発泡スチロール片、糸くずの漂流状況を精査した。また、昨年度に引き続いて相模湾において各季節に数回の曳網採集を行うことで、浮遊密度(定義は後述)の時間変化を調べた。なお、本報告書の調査結果は2019年3月現在の数値であり、あくまでも速報値であることに留意されたい。

Ⅲ-2. 調査方法

2-1 対象海域と採集回数

これまで同様に日中で数回の採集を実施した(図Ⅲ-1)。海鷹丸は2018年7月から8月にかけて日本周回航路の26測点で観測を実施した。神鷹丸は2018年2月調査に加えて、7月から9月にかけて計46測点で観測を実施した。おしよろ丸は19点、長崎丸は4測点、かごしま丸は14測点での調査を実施しており、本年度報告書には合計109測点での調査結果が反映されている。調査位置のリストは、本報告書に添付した電子ファイル(list2018.txt)に記載されている。

以上の沖合調査に加えて、本年度は6,10,11,12月および、2019年1月に相模湾において青鷹丸による曳網採集を実施した。これはプラスチック微細片、発泡スチロール片、糸くずについて、浮遊密度の季節変動を調査することが目的である。各月の調査では海象条件に応じて1-3日をかけ、3-4回の曳網を実施した。



図Ⅲ-1 調査位置(本年度調査は赤いマーク)

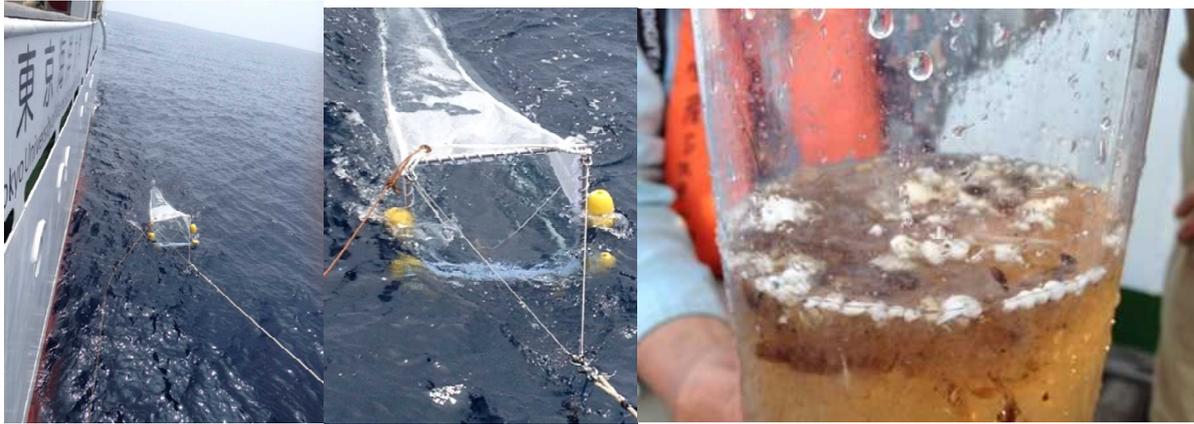
2-2 マイクロプラスチックの採集方法

濾水計を装着したニューストーンネット（気象庁(JMA)ニューストーンネット No.5552：口径，75cm 角（0.56m²）；測長 300cm；網地ニップ，目合：350 μm）を用いて，原則として 2-3 ノットで 20 分の曳網を行い、マイクロプラスチックの採集を行う。この採集時には GPS による位置情報を取得する。採集されたサンプルは、プラスチック微細片とともに採集された生物種の腐敗を防ぐため、生物固定（ホルマリン固定：2%）を行い、ポリエチレン容器に保存する(写真Ⅲ-1)。

なお、濾水計の回転数から濾水量を算定するに当たっては、推算式を

$$\text{濾水量} = \text{回転数} \times 0.064\text{m}^3/\text{回} \times 0.5 \times 0.6$$

とした。ここで、0.064 は検定を経て導いた一回転当たりの濾水量(曳航した船舶の対水速度×時間×口面積で計算)である。写真Ⅲ-1 にある通り、開口部の半分の高さにブイを結んで常に海面を漂流する曳網を実施しており、このため濾水量は開口部面積の 1/2 倍とした。また、同型のニューストーンネットで導いた抵抗係数 0.6(無網曳航試験との濾水計の回転数比)を乗じることで、実際の曳網時における濾水量に補正した。

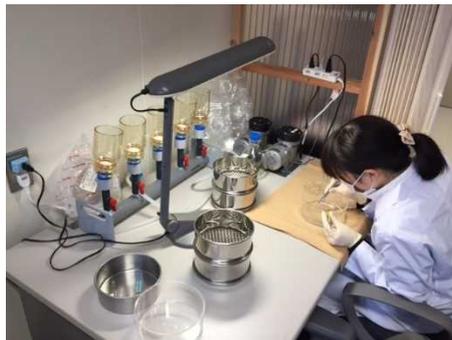


写真Ⅲ-1 ニューストンネットの曳網風景と、ポリエチレン容器に採集した試料

2-3 標本の処理

1) 一次処理

得られた標本から微細片以外の大型夾雑物を取り除き、2.0mm と 300 μm のふるいにかけて、ふるいにかけてサイズ別分類を容易にした上で、シャーレに目視・手作業で分類した(写真Ⅲ-2)。なお細かなものは吸引濾過ののち、フィルタに取り分けた。



写真Ⅲ-2 マイクロプラスチックの手作業による分別

2) 二次処理

1mm を下回る微細片は、材質の判定が困難であり、FT-IR(写真Ⅲ-3)で材質判定を行った。材質判定に当たっては大きさ 0.3-0.4mm(一部に <0.3 mm を含む)が下限であって、この段階で、一次処理と併せてプラスチックのみが選り分けられた。



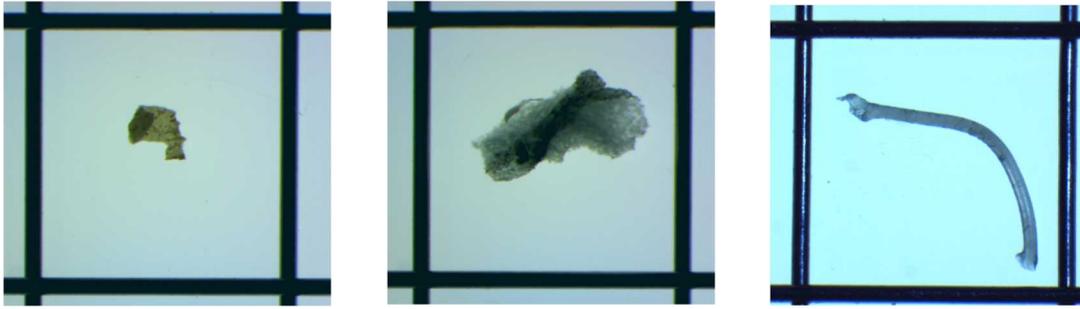
写真Ⅲ-3 材質判定に用いた FT-IR

3) 三次処理

光学顕微鏡を通してモニタに拡大し、画像処理ソフトを用いて最大長さを測定した(写真Ⅲ-4)。一測点毎に、全ての微細片のサイズを計測した。測定した微細片サイズの範囲は $0.3 \text{ mm} < \sigma < 30 \text{ mm}$ とした(一部に $< 0.2 \text{ mm}$ を含むが網の目合い以下であるため浮遊密度の信頼性は低い)。各海域での濾水量とプラスチック微細片の量から、それぞれ海水単位体積当たりの数を求めた。分析に当たっては、写真Ⅲ-5にあるプラスチック微細片と発泡スチロール片及び糸くずを対象とした。



写真Ⅲ-4 画像処理ソフトを用いたサイズ測定



写真Ⅲ-5 採集した微細片の例。左からポリエチレン片、発泡スチロール片、糸片の例。枠は5mmで、ラインの太さは0.3mm。

2-4 安全管理

一連の分析作業については、プランクトン計量で配慮されるべき安全管理に準拠した。すなわち、ホルマリン2%溶液を扱うため、ドラフトのある実験室か、もしくは換気施設を強化した別室を実験室に設け(写真Ⅲ-6)、作業員には定期的な休息を取らせるとともに、白衣とゴム手袋、及び作業中のマスク着用を義務づけた。また、マイクロプラスチック等のサンプルを取り出した海水は、いったんポリ容器に集積した後に、九州大学筑紫キャンパスに敷設されている廃液処理施設に持ち運び、適切な処理を施した。



写真Ⅲ-6 分析室。ホルマリンを含む海水処理のため、安全を考慮して換気を強化した別室で行った。

Ⅲ-3. 結果

3-1 サイズ別組成分布

単位海水体積中に浮遊していたプラスチック微細片(メソプラスチックとマイクロプラスチック)、発泡スチロール片、そして糸くずについて、図Ⅲ-2にサイズ別の個数分布(以降、浮遊密度)を示した。

プラスチック片の浮遊密度はサイズが小さくなるに従って大きくなるが(<5mm, <10 mm, <40 mmでバーの目盛幅が異なることに注意)、これはサイズの大きなものが劣化した後、細片化を繰り返すことで数多くの微細片が形成されると考えれば自然であろう。ただし、サイズが0.8 mmを下回るあたりで浮遊密度は再び下降に転じる。発泡スチロール片の浮遊密度については、プラスチック片と同様にサイズが小さくなるに従って大きくなるが、これもまた、サイズの大きなものが劣化した後、細片化を繰り返

返して微細片が形成されることを考えれば自然であろう。

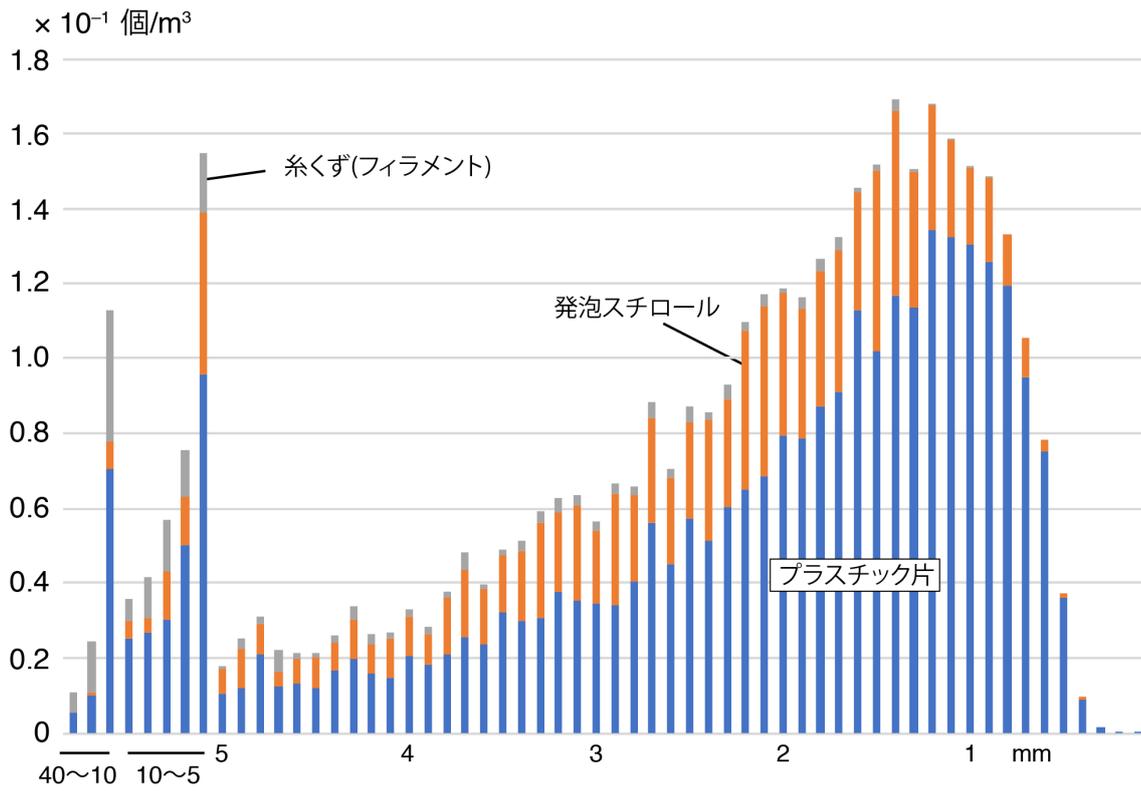
5mm を下回る大きさを平均した、プラスチック微細片と発泡スチロール片、そして糸くずの浮遊密度を表Ⅲ-1 に示す。これまでの全調査結果も合わせ、表に示している。マイクロプラスチックの浮遊密度は、前年度調査に比べて増加した。また、発泡スチロール片と糸くずも、前年度調査と比較して7倍程度増加し、初年度と同じ浮遊密度となった（本年度添付データセット list2018.txt を参照）。平均値の算出に際しては、異常値の除去のため、いわゆる 3σ カットを施しているが、それでもなお、突出して値の高い測点が前年度までには散見され、これが平均値を押し上げた要因となった。このように、測点ごとに密度の揺らぎが大きな浮遊物調査(概してプランクトンなどにおいても同様の傾向は見られる)であれば、今後とも長期に監視を続けることで、より確からしい値が算出できるだろう。それでも5年平均値である 2.49 個/m³ は、やはり北部太平洋などの他海域で得られた浮遊密度(Isobe et al., 2015)と比べ一桁大きな数値である。5年間の継続調査によって、日本近海での浮遊プラスチック量は、太平洋での平均値(<1 個/m³ 程度)に比べて、突出して高い濃度を示すことが確認できた。また、5年の調査結果は、全て、プラスチック糸くず(フィラメント)のマイクロプラスチックの中で占める割合は、一桁以上小さな傾向を示した。

表Ⅲ-1 サイズが 5 mm 以下のマイクロプラスチック、発泡スチロール片、糸くずの浮遊密度

*浮遊濃度が全体平均から著しく離れた場合(平均値からの偏差が標準偏差の三倍を超えた場合)、流れ藻等に絡まった大量採集とみなして平均操作から除外した(list2017.txt には記録)。

個/m ³	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	平均
マイクロプラスチック	3.74 ^{注)}	2.38	2.15	0.53	3.71	2.49
発泡スチロール片	1.25	0.28	0.32	0.09	0.46	0.45
糸くず	0.13	0.06	0.09	0.01	0.05	0.07

注) 平成 26 年度報告書では 2.4 個/m³ と記載している。その後、一部のデータを修正した再計算をすることで、Isobe et al. (*Marine Pollution Bulletin*, 101, 618-623, 2015)にも掲載した 3.7 個/m³ に更新した。

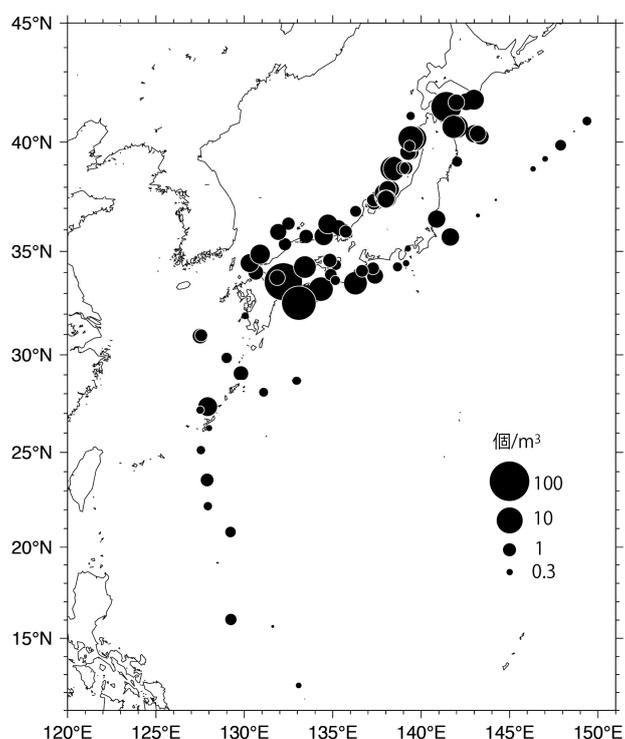


図Ⅲ-2 単位海水体積中のサイズ別個数分布

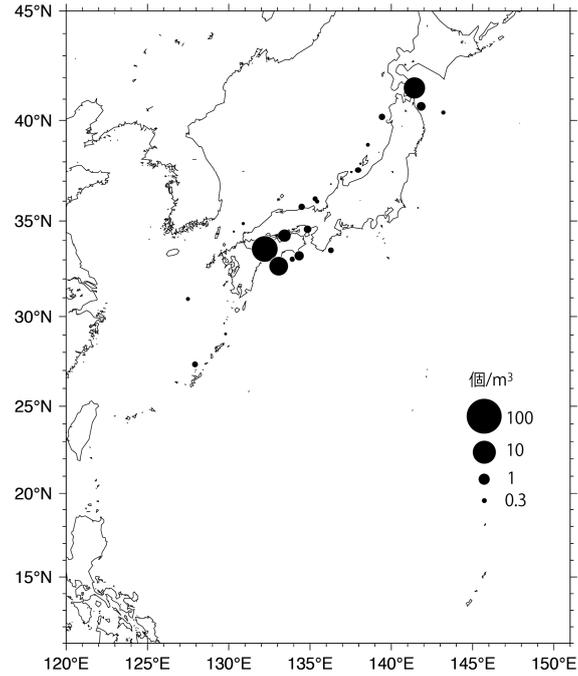
3-2 2018年度の空間分布

プラスチック微細片と発泡スチロール片、糸くずについて、浮遊密度分布を描いた。全ての値は、本報告書に添付した電子ファイル(list2019.txt)に記載されている(以下図はすべての形状について5mm未満のものを示しているが、添付したデータは、プラスチック微細片は5mmを境にメソとマイクロに分ける一方、もとより浮遊密度の少ない発泡スチロールと糸くずは、0.3mmから30mmまでの全てを合算して浮遊密度を見ている)。

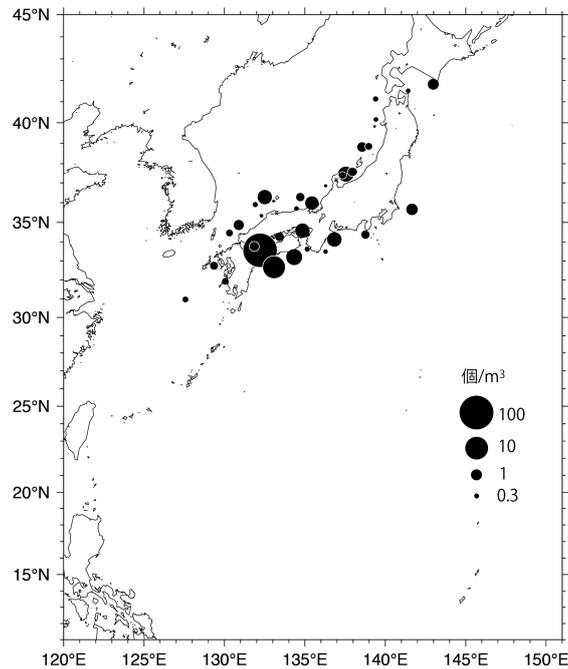
マイクロプラスチック(図Ⅲ-3)はメソプラスチック(図Ⅲ-4)に比べて浮遊密度が高めであるが、一様な分布ではなく、海域によって密度に大きな差異が生じている。津軽海峡東部と四国南部、瀬戸内海西部、そして日本海で高い密度を示す傾向にある。メソプラスチックは、津軽海峡東部と四国南部で高い値となった。発泡スチロール片(図Ⅲ-5)は四国西部での高い値が目立つ。本年度調査では糸くずの浮遊濃度は2017年度同様に少ないものであった(図Ⅲ-6)。



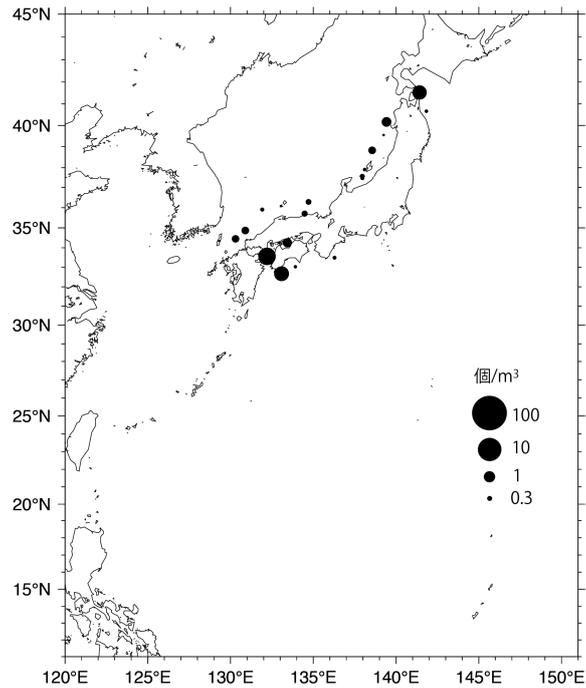
図Ⅲ-3 2018年度調査で採集されたマイクロプラスチック浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。実際の数値については付録参照のこと。



図Ⅲ-4 2018年度調査で採集されたメソプラスチック浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。実際の数値については付録参照のこと。

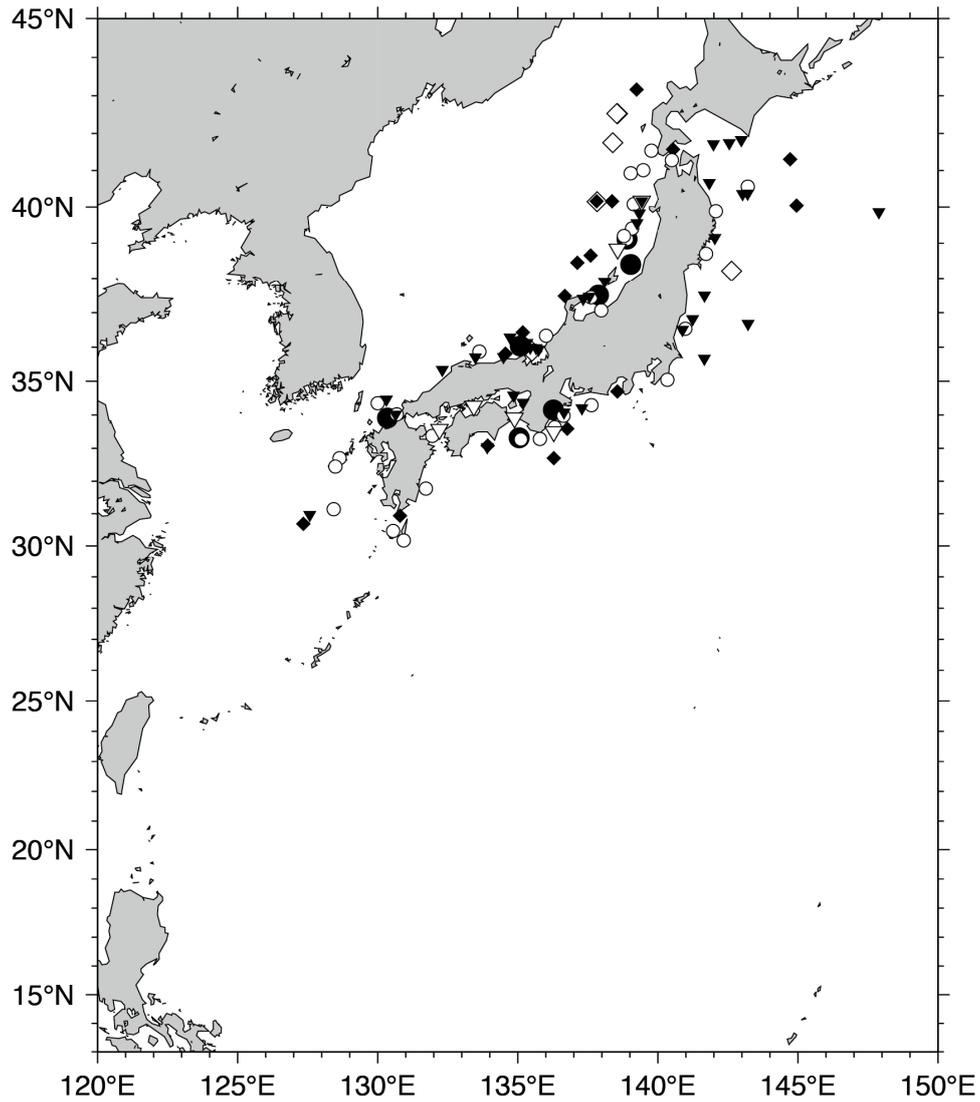


図Ⅲ-5 2018年度調査で採集された発泡スチロール片(<5 mm)浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。実際の数値については付録参照のこと。



図Ⅲ-6 2018年度調査で採集された糸くず(<5 mm)浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。実際の数値については付録参照のこと。

図Ⅲ-7にはマイクロビーズ(球形マイクロプラスチック)の検出場所を示す。浮遊数が二桁以上であった測点は白丸で示した。それ以外の測点は全て10個以下の浮遊数であった。2016年度の調査結果は菱形、2017年調査は丸、2018年調査は逆三角形である。日本周回航路のどの位置においてもマイクロビーズが検出された。本来は下水処理されるはずの、この人為的なマイクロプラスチック片(primary microplastics)であるが、もはや分布域は外洋に広がっている。図Ⅲ-3のマイクロプラスチックと分布は似ており(日本海北部の高密度、三陸沖の高密度)、輸送形態はマイクロプラスチックと同様であることがわかる。

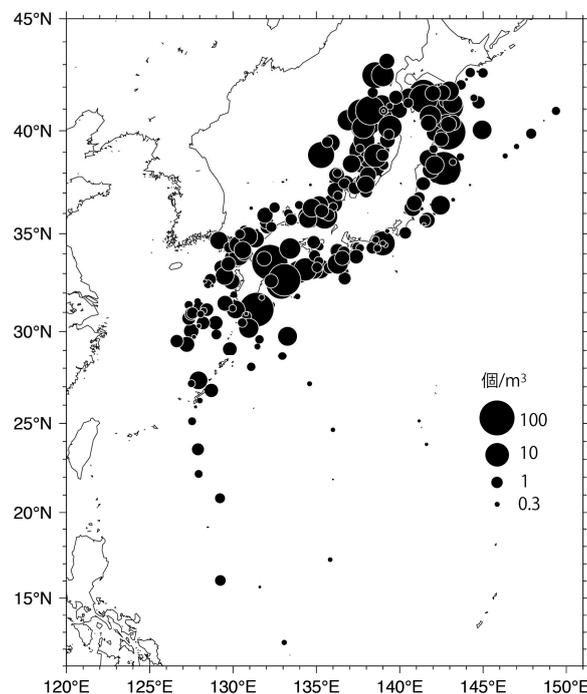


図Ⅲ-7 マイクロビーズの検出場所。2016年調査は菱形、2017年調査は丸、2018年調査は逆三角形。
 白は特に検出数が10個以上であった測点で黒は10個以下。

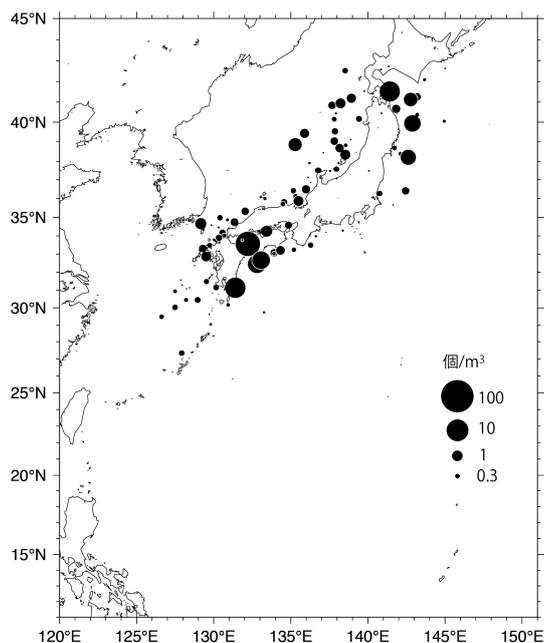
3-3 2014-2018 年度の空間分布

本節では、これまでの5年間で得られた微細片の空間分布を統合することで、我が国周辺における分布形態を検討する。マイクロプラスチックの浮遊密度は、やはり北陸から東北沖の日本海北部に多い(図Ⅲ-8)。更に山陰西部沖と九州・四国の太平洋岸に比較的に高濃度の海域が見て取れる。また津軽海峡から三陸沖にも高濃度の海域が見られる。ほとんどの調査が夏季に実施されたことを勘案すれば、夏季の海流系(日本海を北上し津軽海峡から太平洋に抜ける対馬暖流や、日本南岸を東進する黒潮)に輸送されていることをうかがわせる。日本海北部に多い原因を本調査結果だけで結論づけることはできないが、日本海北部に廃プラスチックの選択的・集中的な投棄があるとは考えにくく、冬季から夏季に至る遷移的な状況を表している可能性がある。季節を変えた今後の継続的な調査が望まれる。北西太平洋の回帰線近くまで測点を設けている(図Ⅲ-1)にもかかわらず、マイクロプラスチックの高密度海域が日本周辺に集中する事実が明白である。まさに我が国周辺を含む東アジア海域は、海洋プラスチック汚染のホットスポット(Isobe et al., 2015)というべきであろう。メソプラスチックの分布(図Ⅲ-9)は、概ねマイクロプラスチックの分布と類似したものとなっている。

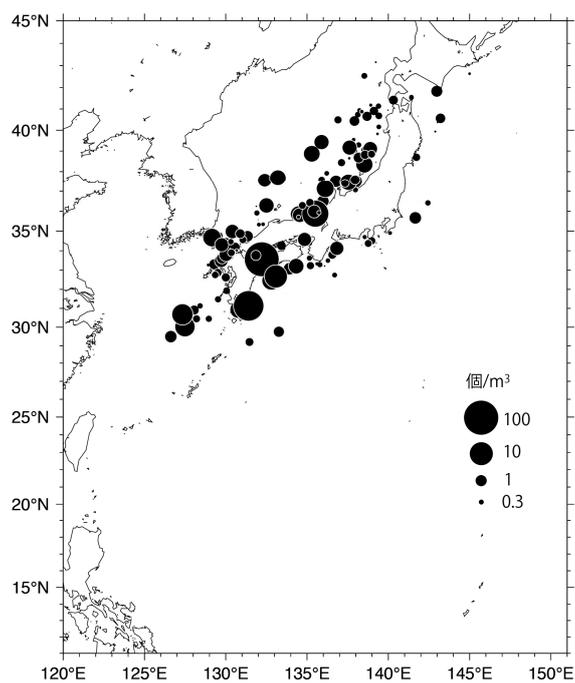
ほぼ日本列島を覆うプラスチック微細片とは異なり、昨年同様に発泡スチロール片(図Ⅲ-10)は、九州南部を除けば日本海以外にはあまり検出されない。日本海に流入する対馬暖流の流域、あるいは日本海で集中的に使用される発泡スチロール製品が、この細片の発生源であることは明白である。また、瀬戸内海西部での高濃度が目立つ。今後は浮遊漂流物の目視観測結果と合わせ、発生源の特定を行うことが望ましい。糸くずの分布は、プラスチック片と類似したものとなった(図Ⅲ-11)。



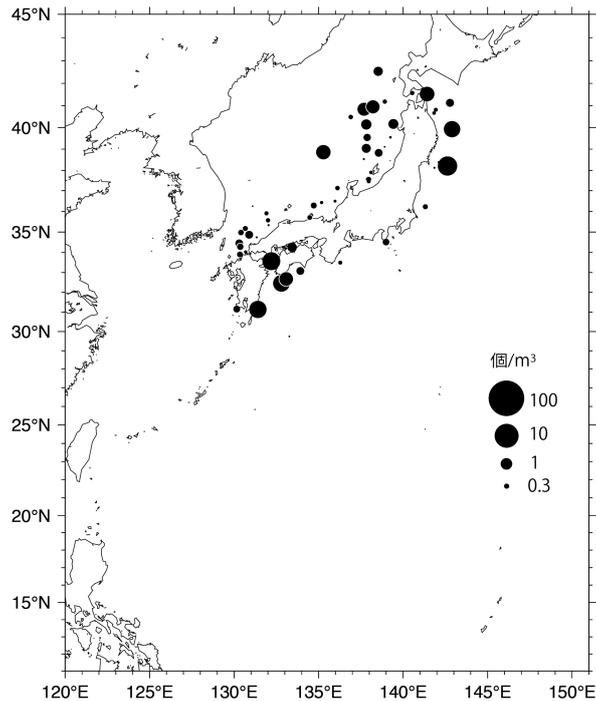
図Ⅲ-8 2014-2018 年度調査で採集されたマイクロプラスチック浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。



図Ⅲ-9 2014-2018年度調査で採集されたメソプラスチック浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。



図Ⅲ-10 2014-2018年度調査で採集された発泡スチロール片(<5 mm)浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。

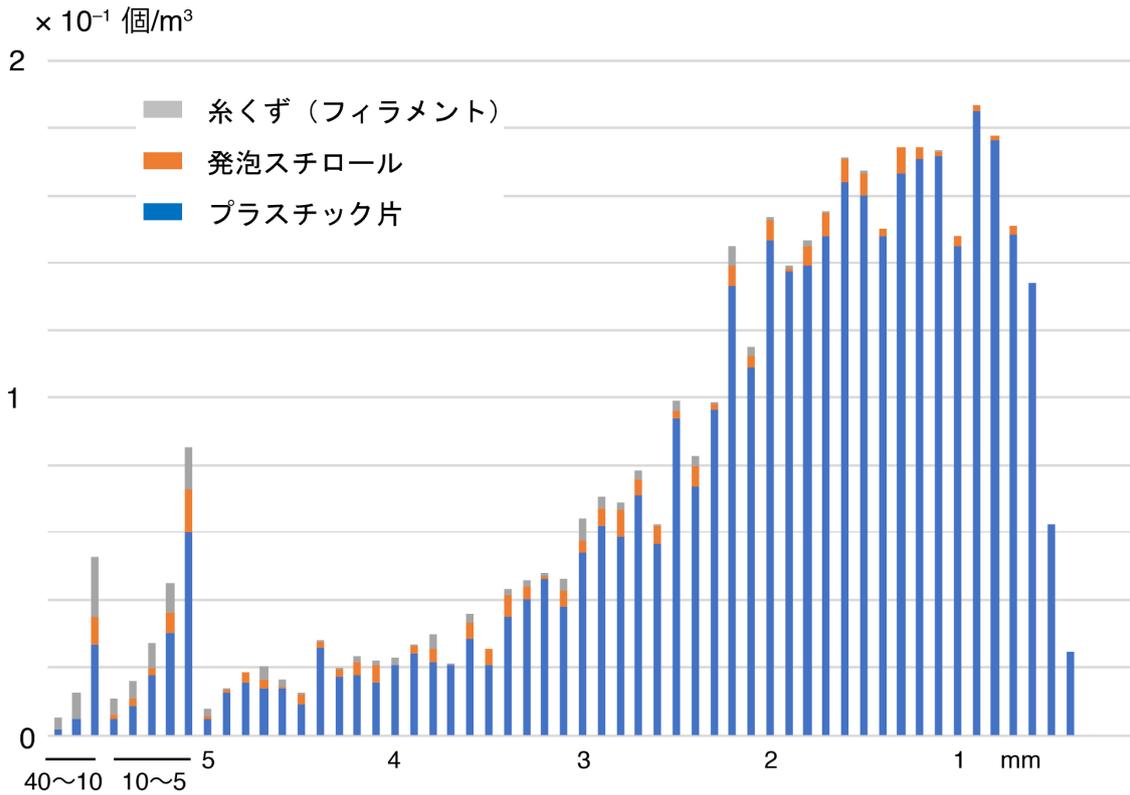


図Ⅲ-11 2014-2018年度調査で採集された糸くず(<5 mm)浮遊密度の空間分布。スケールは右。浮遊密度は円の直径に比例している。

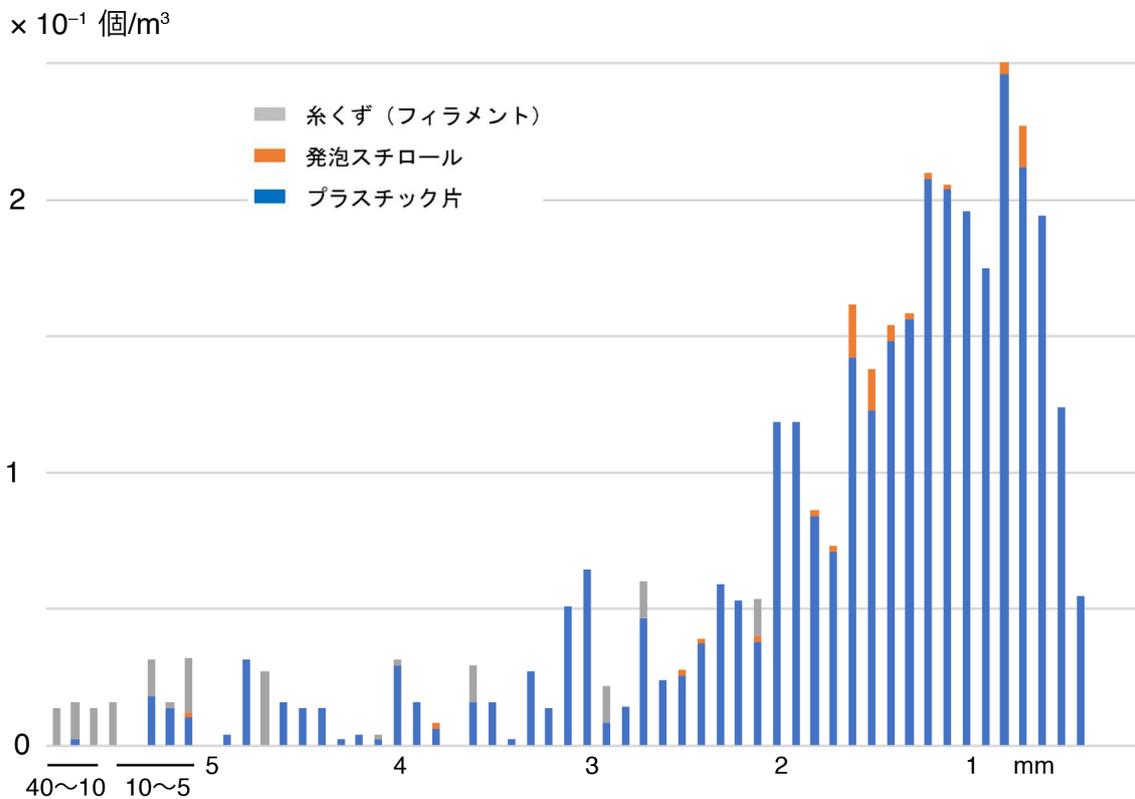
3-4 相模湾における周年調査の結果

月々の変化を見る前に、すべての月で採集した微細片のサイズ別浮遊密度分布を図Ⅲ-12に示す。昨年度と同様に沖合調査の結果(図Ⅲ-2)と比較して、同程度の浮遊密度が観測された。瀬戸内海の浮遊密度と沖合調査を比較した Isobe et al. (2015)でも指摘されていた通り、我が国の場合には、内湾よりもむしろ外洋でマイクロプラスチックの浮遊濃度が高い場合が多いが、本年度調査結果においては、相模湾はその状況に当てはまらなかった。しかし、河川水の影響など他の要因を排除するには議論の材料に欠けるため、浮遊密度の決定要因を結論づけるには更なる観測の継続が必要である。昨年度調査においては、沖合調査で得たサイズ別浮遊密度(図Ⅲ-2)では0.8mm程度から小さなサイズで浮遊密度の減少がみられたが、相模湾の調査では、より小さなサイズ(<~0.5 mm)から急激に浮遊密度の低下が見られた。このような密度が低下するサイズの違いは、本年度調査結果から読み取ることはできなかった。

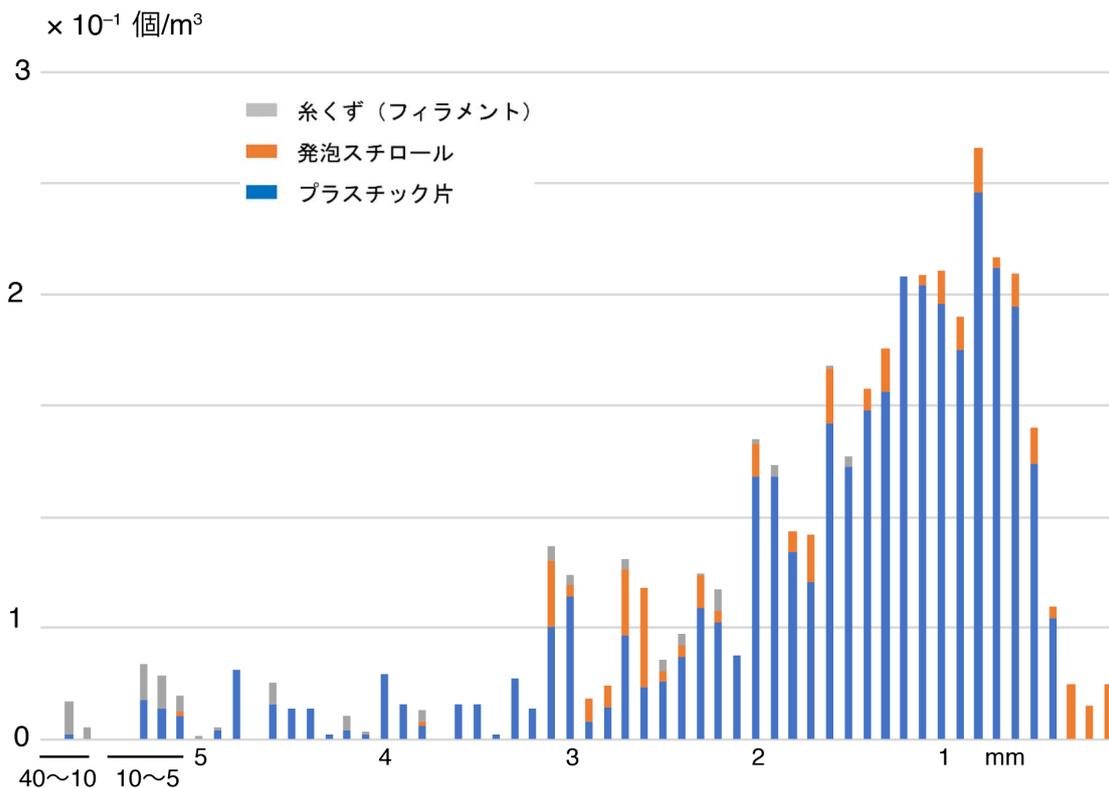
各月ごとの観測結果にはばらつきが大きい。サイズ別浮遊密度分布(図Ⅲ-13)を見れば、11月と1月は浮遊数が少なく鉛直混合による表層浮遊量の減少をうかがわせるが、一方で12月に大量の浮遊が観測された。



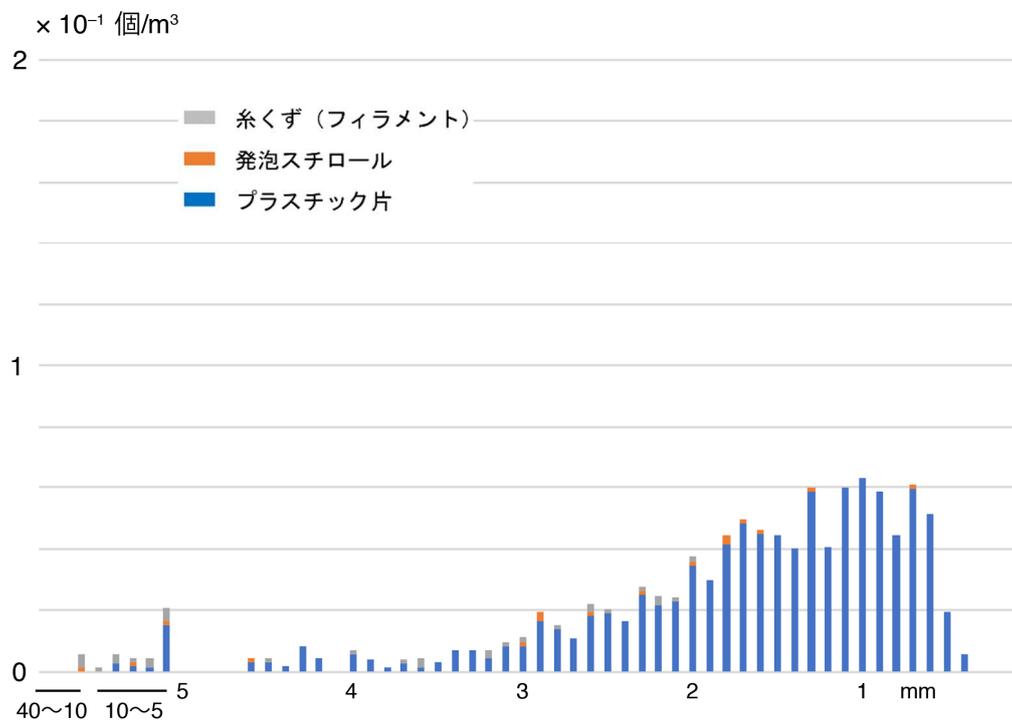
図Ⅲ-12 2018年度相模湾調査で採集された単位海水体積中のサイズ別個数分布。



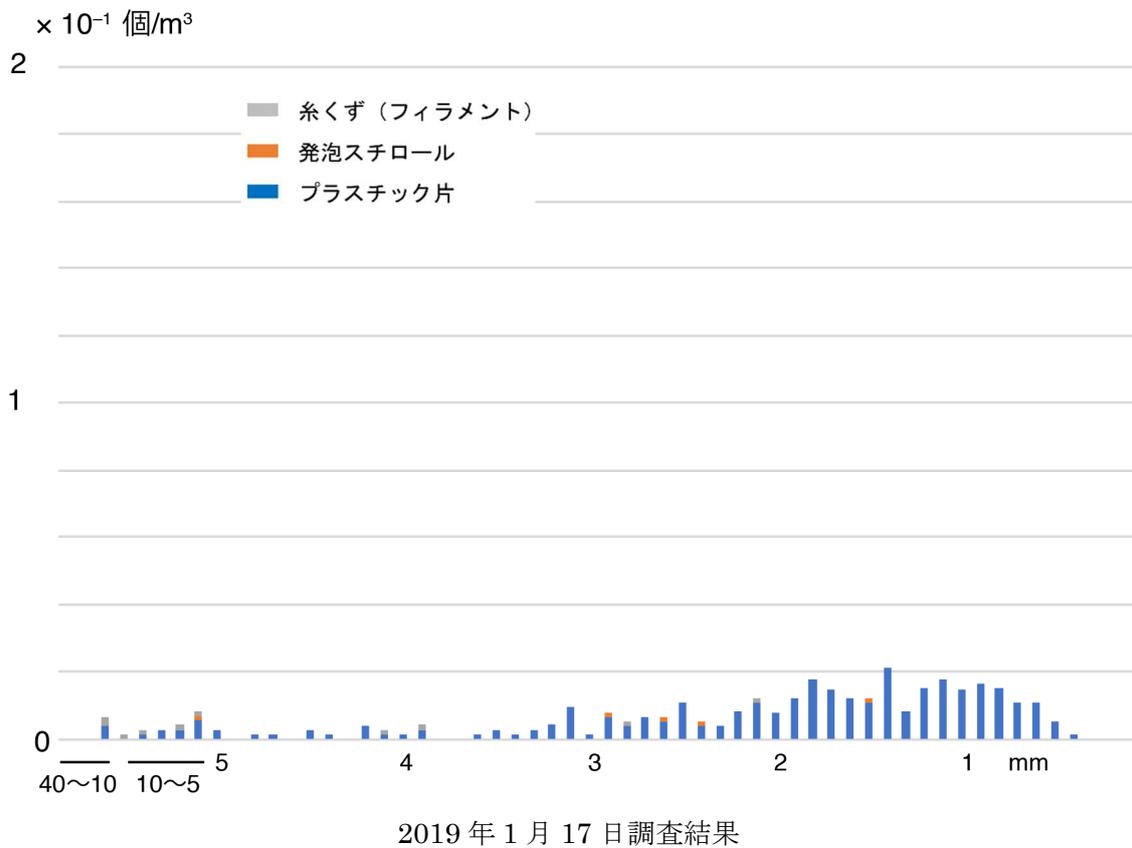
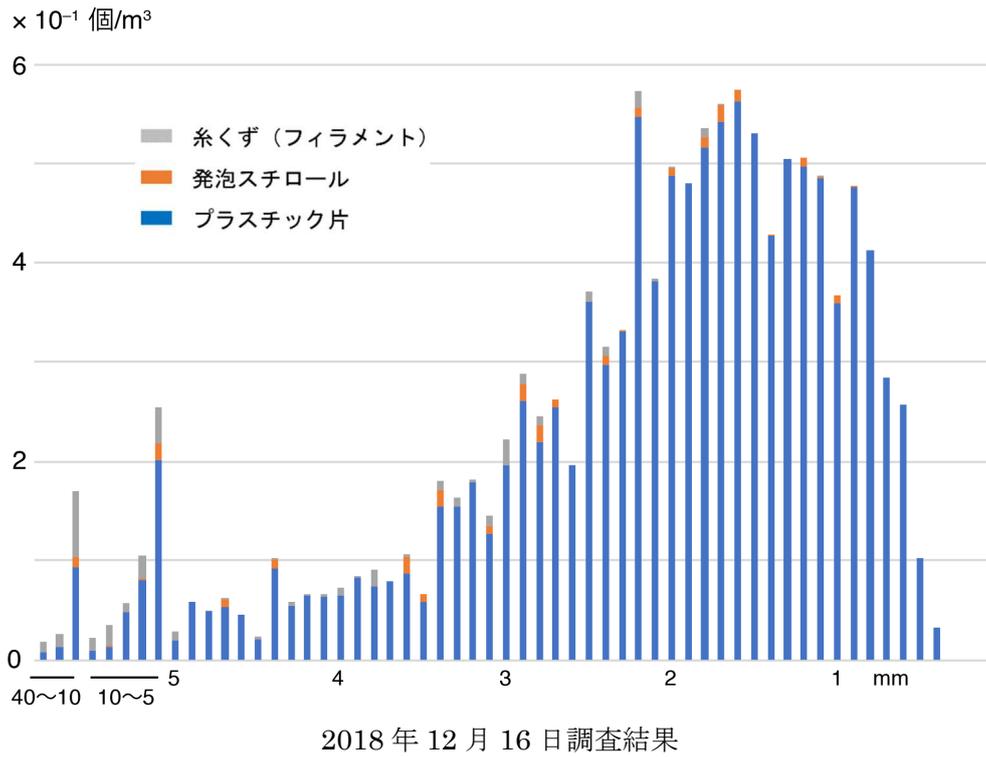
2018年6月22日調査結果



2018年10月6日調査結果



2018年11月28日調査結果



図Ⅲ-13 2018年度相模湾調査で採集された単位海水体積中のサイズ別個数分布の季節変化。上から6月22日、10月6日、11月28日、12月16日、2019年1月17日の調査。

表Ⅲ-2 相模湾で採集されたサイズが5 mm以下のマイクロプラスチック、発泡スチロール片、糸くずの浮遊密度

個/m ³	1月	6月	10月	11月	12月	平均
マイクロプラスチック	0.24	3.20	3.40	0.98	11.6	3.88
発泡スチロール片	0.01	0.08	0.67	0.02	0.23	0.20
糸くず	0.01	0.18	0.13	0.04	1.10	0.29

*1月は2018年度報告書未掲載の2018年1月14日調査も含む

Ⅲ-4. 今後調査への提案

最後に、5年間の調査ではカバーしきれなかった点を挙げておきたい。これまでの調査では、北海道や東シナ海、あるいは日本の南方海域が十分にカバーできなかった。従って、日本周回の観測網を完成させるためには、これら周辺海域での調査が望ましく、そのため本年度調査において、日本南岸から遠く南下した調査が行われた(図Ⅲ-1)。ただ、日本周辺の測点密度に比べると、まだ粗い測点配置であって、マイクロプラスチック浮遊密度分布と黒潮流軸との関連など、注目すべき論点が残されている。加えて、北海道周辺の海域にも観測点の空白が多い。また、ほとんどの調査が夏季に集中していた。相模湾の調査結果から示唆されるように、マイクロプラスチックの浮遊密度には、季節変動が存在するのかもしれない(今回の相模湾調査で季節変動が結論づけられるわけではない)。マイクロプラスチックのような海象条件の影響を受けやすい微細片の分布や動態を明らかにするために、今後は季節を変えた調査も考えられる。

参考文献

- Andrady, A. L.: Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, **62**: 1596-1605, 2011.
- Cole M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T. S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, **62**, 2588-2597, 2011
- Isobe, A., Uchida, K., Tokai, T., and Iwasaki, S., 2015. East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics. *Mar. Pollut. Bull.* 101, 618-623.

IV. 沖合海域における海底ごみの調査

IV-1. はじめに

海洋ごみの分布は海岸から沖合の表層、更には水深 6,000m を超える海底にも広く分布している (S Chiba *et al* 2018)。海洋中のごみ問題が注目される中、2016 年の世界経済フォーラム年次総会 (通称ダボス会議) では、2050 年には海のプラスチックの量が魚の量を超える (重量ベース) との試算が発表された。2014 年から始まった、「沖合海域における漂流・海底ごみ実態調査」では、東シナ海などで底引き網による海底ごみの調査を実施してきた。特に、2017 年度調査からは、先のダボス会議の発表のような事象が起こりうるかを検討するためにも、漁獲物の量と海底ごみの量の比較を開始した。

IV-2. 調査概要と方法

調査は、海鷹丸・神鷹丸 (東京海洋大学)、おしよろ丸 (北海道大学)、長崎丸 (長崎大学)、かごしま丸 (鹿児島大学) の協力のもと、底引き網を用いた調査の中から海底ごみのサンプリングを行った。今年度の底引き網による海底ごみ調査は、5 隻合わせて東シナ海で 9 回、大洗沖で 2 回、日高沖で 3 回の計 14 回を行った (表IV-1、図IV-1)。調査日時、緯度経度、水深、曳網距離は表IV-1 のとおりである。調査は、水深 108m から 830m の範囲内で行われ、合計曳網距離は 49km となった。

調査では、トロール網を投入し曳網を開始 (着底) してから、網を巻き上げるまでの間 (離底まで) を曳網距離とし、GPS で測位したそれぞれの緯度経度から同距離を算出した。採取した海底ごみは分別 (付録 4 の「海底ごみの分類リスト」に準じる) したのち、デジタルカメラで撮影するとともに、種類と大きさ (長さ) と重さを記録し、底引き網の網口幅の概算値と曳網距離から、調査地点の海底ごみ分布密度を推計した。各船で使用した底引き網の網口幅は、神鷹丸が 25m、おしよろ丸が 25m、長崎丸が 17m、かごしま丸が 23m として、この値を基に掃過面積を算出し海底ごみの密度を算出した。

表IV-1 2018 年度海底ごみ調査実施表

No.	船名	月日	開始	終了	開始緯度	開始経度	終了緯度	終了経度	水深*1	曳網距離*2
1	神鷹丸	8/5	14:00	14:41	36-02.014 N	140-52.212E	36-03.835 N	140-51.445E	108 m	1.93
2	神鷹丸	8/5	16:45	17:29	36-05.370 N	140-55.109 E	36-02.541 N	140-56.383 E	168 m	3.02
3	長崎丸	8/9	8:26	9:01	31-02.940 N	127-48.380 E	31-01.445 N	127-48.809 E	147 m	1.54
4	長崎丸	8/9	10:32	11:07	31-01.900 N	127-47.122 E	31-00.309 N	127-46.708 E	145 m	1.94
5	長崎丸	8/31	7:26	8:05	31-03.600 N	127-48.017 E	31-01.948 N	127-46.937 E	147 m	1.90
6	長崎丸	8/31	9:38	10:15	30-59.984 N	127-47.317 E	31-03.498 N	127-48.528 E	148 m	1.50
7	おしよろ丸	9/26	8:43	9:50	41-57.1N	141-39.7E	42-00.1N	141-38.2E	830 m	3.10
8	おしよろ丸	9/26	13:35	14:49	42-00.5N	141-38.2E	41-58.6N	141-38.9E	792 m	1.49
9	おしよろ丸	9/29	7:14	8:55	41-57.4N	141-39.2E	42-01.0N	141-38.0E	821 m	3.72
10	かごしま丸	10/13	9:07	9:45	31-03.8 N	127-47.2 E	31-02.6 N	127-45.9 E	145 m	1.40
11	かごしま丸	10/13	13:15	13:55	31-02.89 N	127-47.17 E	31-02.29 N	127-48.21 E	145 m	0.90
12	かごしま丸	12/1	11:15	11:50	31-06.14 N	127-41.70 E	31-05.29 N	127-40.26 E	135 m	1.50
13	かごしま丸	12/1	14:16	14:50	31-09.14N	127-58.00E	31-08.45N	127-56.05E	151 m	3.00
14	神鷹丸	2/9	10:37	12:03	31-07.642N	127-39.397E	31-04.310 N	127-37.600E	131 m	3.62

*1 水深は魚探・海図両方ある場合は魚探を使用

*2 曳網距離は mile