

平成 31 年度 環境省請負業務

平成 31 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検討業務

報告書

令和 2 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 3

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. 調査目的と概要 5
- 2. 調査方法
 - 2-1. 対象海域 6
 - 2-2. 観測体制 7
 - 2-3. 観測手順 8
 - 2-4. 観測項目 9
 - 2-5. ライントランセクト法におけるデータ解析方法 11
- 3. 調査結果
 - 3-1. 調査実施の概要 14
 - 3-2. 日本周辺海域の漂流ごみ種類別レグ毎密度分布 15
 - 3-3. 海区別漂流ごみ（プラスチック製品）平均密度 28
 - 3-4. 相模湾調査の結果 34
- 4. まとめと今後の課題について 40

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推計

- 1. 調査目的 42
- 2. 調査方法
 - 2-1. 対象海域と採集回数 42
 - 2-2. マイクロプラスチックの採集方法 43
 - 2-3. 標本の処理 44
 - 2-4. 安全管理 46
- 3. 結果
 - 3-1. サイズ別組成分布 46
 - 3-2. 2019年度の空間分布 47
 - 3-3. 2014-2019年度の空間分布 51
 - 3-4. 相模湾における周年調査の結果 53
- 4. 今後調査への提案 57

IV. 沖合海域における海底ごみの調査及び海底ごみ現存量の推計

- 1. はじめに 58
- 2. 調査概要と方法 58
- 3. 調査結果

3-1. 海域毎の種別の割合	60
3-2. 曳網毎の海底ごみの密度	61
3-3. 考察	63
V. 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	
1. 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研究	64
2. 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の推察	67
VI. 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構築の検討	69
VII. 漂流ごみ調査手法の高度化の検討	70
VIII. 沖合海域における今後の海ごみの調査の提案	73
謝辞	75
付録	
付録1 グリッド毎の密度分布図	77
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	90
付録3 海底ごみ計測結果と写真一覧	98
付録4 目視観測による漂流ごみ調査の文献一覧	123
付録5 海底ごみの分類リスト	126

I. 調査目的と概要

I-1. 目的と概要

平成 21 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」（平成 21 年法律第 82 号）に基づき、海岸漂着物や沿岸域における漂流・海底ごみの実態調査や、海岸漂着物対策が行われてきた。そして、海岸漂着物や沿岸域で漂流ごみの実態が明らかになる中、それらを減らすためには、沿岸での回収作業や調査だけでなく、その発生源を明らかにしてうえで、対策を講じる必要があるという認識に至った。そして 2014 年から、日本を取り巻く周辺の海域における漂流・海底ごみの実態を把握するための調査が始まった。この調査では、船舶を用いた目視による漂流ごみの観測、その結果から海域別の密度及び資源量をごみ種類別に推定、海表面に浮遊しているマイクロプラスチックの採集と分布密度の推定、さらには東シナ海などの沖合域において、底曳網を用いた調査により海底ごみの分布密度の推定を行ってきた。そして、これらの調査結果から、日本周辺海域の漂流ごみの一部は黒潮の上流域から来ている可能性があることや、日本周辺海域が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、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、東アジア・東南アジア諸国との連携も 2016 年度から始まっている。

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、2018 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抑制や、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。こうした中、本事業では、2014 年から続けてきている調査観測の内容を継続的に発展させることで、データの蓄積を行うとともに、2019 年度の実態把握調査では、以下の①～⑥を実施した。

- 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。
- 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。
- ③ 沖合海域における海底ごみの調査及び海底ごみ現存量の推計。
- ④ 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。
- ⑤ 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構築の検討。
- ⑥ 漂流ごみ調査手法の高度化の検討。

海上での調査は、2017 年度、2018 年度に引き続き、東京海洋大学練習船海鷹丸、神鷹丸、青鷹丸、北海道大学練習船おしよろ丸、長崎大学練習船長崎丸、鹿児島大学練習船かごしま丸（図 1-1）によって実施した。



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 おしよる丸



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大学の練習船(大学名と船名)

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いてマイクロプラスチックが海洋環境に与えている影響を整理した。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。昨年度に引き続き、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) 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解析

劣化により微細化したマイクロプラスチックの発生源の特定は難しいとされる。こうした中、中国の沿岸ではマイクロプラスチックに繊維が多いのに対して、日本の周辺海域はそれが少ないと言われている。その要因の一つとして、洗濯機のフィルター構造の違いが考えられたことから、フィルターによる繊維の流出防止の効果について検証実験を行い検討した。

(5) 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構築検討

陸上での調査と異なり、海洋での調査はプラットフォームの数が限られていたり、航行範囲が決まっていたりするため、調査範囲を広げることは容易ではない。そこで、2017年度からは4大学の練習船による調査の拡大を図ってきた。また、練習船による沖合調査の成果が認識される中、漂流ごみの観測は環境教育の効果があるとして、調査に協力してくれる水産海洋系高校が増えてきている。こうした中、今年度についても篤志船による調査が行われた。

(6) 漂流ごみ調査手法の高度化の検討

現在目視観測で実施している漂流ごみ調査手法の高度化を検討するため、世界各国における漂流ごみ調査手法を調査し情報を整理した上で、さらに、漂流ごみ調査手法の方向性について検討した。

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

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 磯辺篤彦（九州大学）
- Ⅳ. 沖合海域における海底ごみの調査 内田圭一（東京海洋大学）
- Ⅴ. 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解析
後藤純子（共立女子大学）
- Ⅵ. 調査ネットワーク構築検討 内田圭一（東京海洋大学）
- Ⅶ. 漂流ごみ調査手法の高度化の検討 黒田真央・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、栗原芳恵、萩田隆一、會川鉄太郎、坂口雅之、黒田真央、安原朋紀（東京海洋大学）が担当した。

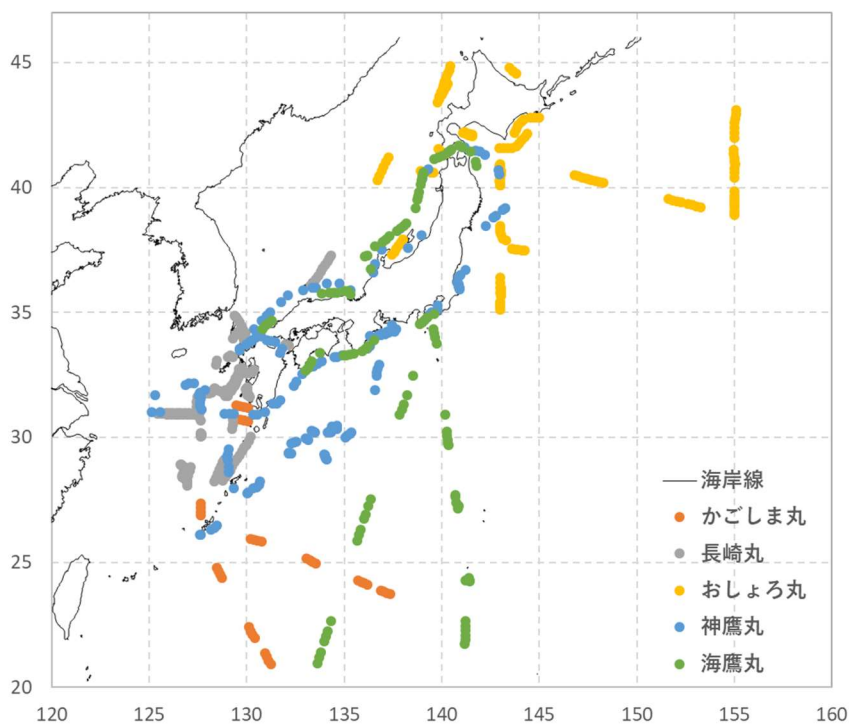
また、これ以降、図や表は「2019年」のように年で示しているが、これは年度を表していることに注意する。

II. 沖合海域における漂流ごみの目視観測調査および現存量の推計

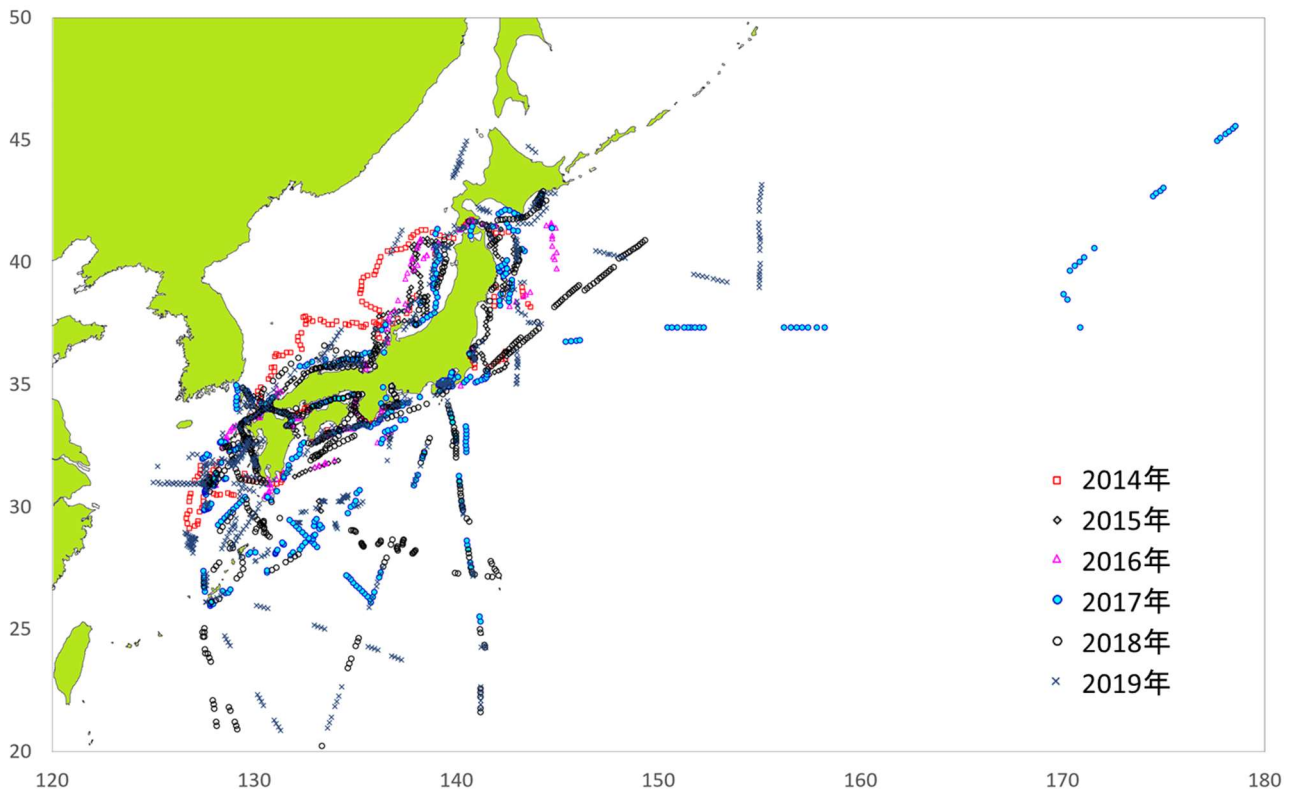
II-1. 調査目的と概要

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するために、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。

漂着ごみの発生過程と発生原因の解明するために、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、昨年度に引き続き、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)。2014年から2019年までに実施した目視観測地点を年別に示したものを図II-2に示す。2017年以降、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 2019年度の沖合漂流ごみ目視調査地点図



図Ⅱ-2 2014年から2019年にかけて実施した沖合漂流ごみ目視調査地点

Ⅱ-2. 調査方法

2-1. 対象海域

先に述べたように2017年度、2018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）と連携して、日本周辺海域から、日本の南方海域・東方海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に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。各船の全長・総トン数・眼高・調査時期と調査範囲は表Ⅱ-1に示す通りである。

表Ⅱ-1 4大学練習船調査実施表（2019年度）

船名	全長	総トン数	眼高	調査日	調査範囲
海鷹丸	93 m	1886 t	14 m	7/12-8/10	日本周回
				11/25-3/2	南方海域
神鷹丸	64.5 m	986 t	9 m	7/12-8/10	日本周回
				8/17-9/15	西日本周辺
				1/29-3/13	南方海域
おしよろ丸	78.3 m	1598 t	10 m	5/15-5/19	北太平洋（西部）
				6/14	北太平洋（東北沖）
				6/18-6/20	北太平洋（東北沖）
				6/25-6/26	日本海（北海道沿岸）

				7/2-7/3	日本海（北海道沿岸）
				7/10	日本海
				7/14	日本海
				7/17	日本海
				9/15	北太平洋（東北沖）
				9/17	北太平洋（東北沖）
				9/23	日高湾・十勝湾
				10/19-10/22	釧路沖
				5/22-6/4	東シナ海
				6/11-6/23	東シナ海
				6/28-7/2	東シナ海
				7/6-7/7	東シナ海
				7/10-7/18	東シナ海
長崎丸	63.9 m	842 t	9 m	7/22-7/30	東シナ海
				8/1-8/6	東シナ海
				8/8-8/21	西日本周辺
				8/26-9/8	西日本周辺
				9/11-9/24	西日本周辺
				9/27-9/29	東シナ海
				8/17-9/17	南方海域・東シナ海
かごしま丸	66.9 m	1284 t	11 m	10/11-10/17	南方海域・東シナ海
				10/22-10/28	南方海域・東シナ海
青鷹丸	35.5 m	170 t	4 m	4/16-1/16	相模湾

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、調査にあたる船ごと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を行った（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例

	役割分担	使用機材等	業務内容	配置場所
1 名目	記録	タブレット PC	観測・記録	船橋ウイング
2 名目	観測	野帳+(双眼鏡・傾角度計)	観測・特記事項記録	船橋ウイング
3 名目	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 名目	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

観測時間は原則として視界の効く 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、観測は原則として 1 時間を 1 レグとして、レグ内での観測員の交代や、連続観測の際の調査班の交代は、観測が途切れることの無いよう留意した。

観測場所は漂流ごみの視認に影響のある海面反射の少ない方舷を選び、船橋のウイングにて実施した。

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おこなう (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、記録ファイル名（航海名・年月日・時間帯）、記録者、観測舷、眼高、針路、船速、天候、風向・風速、風浪階級、海面反射割合（グレア率）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
	食品包装材トレイ、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

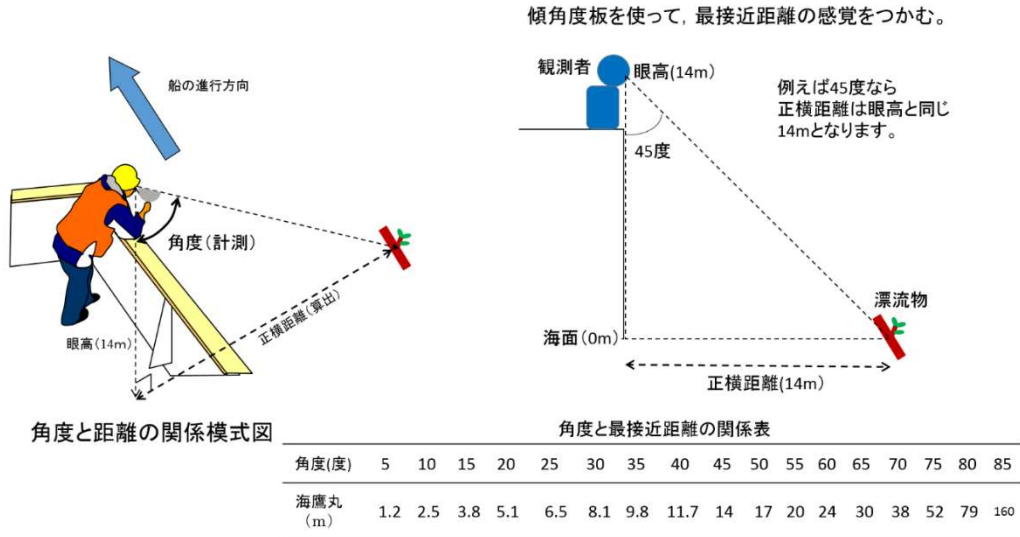
漂流物のサイズは、最大部分の長さを目測して、次のカテゴリー（SS～LL）で記録した（SS<20cm、20cm<S<50cm、50cm<M<100cm、100cm<L<200cm、200cm<LL）。なお、海上に浮いているものは、付近に基準とするものがないためサイズ推定にばらつきが生じる可能性があったことから、資料Ⅱ-1のような目安表を作成し、データの標準化に努めた。

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、複数個が一群となって発見された場合、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 毎のカテゴリー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



図Ⅱ-4 正横距離測定概念図（眼高14mの海鷹丸の例）

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
 カップの容器、ソフトボール、落し葉、空き缶
 ペットボトルは全てSサイズ(500ml 21cm、1.5~2l 31cm)
 サンダル、スニーカーの靴、ポンチン、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

漂流物の例	種類	記号
魚網	魚網	FGN
漁具	ボンチン、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(レシー、弁当袋、お菓子袋など)	FPF
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	その他不明	UK

実例

〈記録用早見表Ⅱ〉

距離の記入例

記入例 正横距離

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

目安として

資料Ⅱ-1 漂流物記録補助早見表

資料Ⅱ-2 計測角度－正横距離変換早見表

2-5. ライトランセクト法におけるデータ解析方法

一般的に、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）。

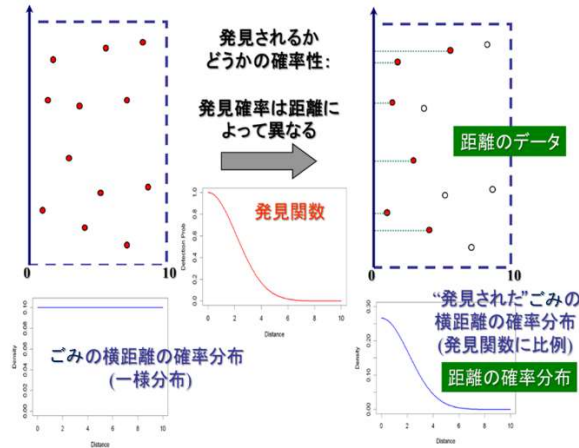


図 II-5 ライトランセクト法による横距離データの性質

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 もデフォルトで 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

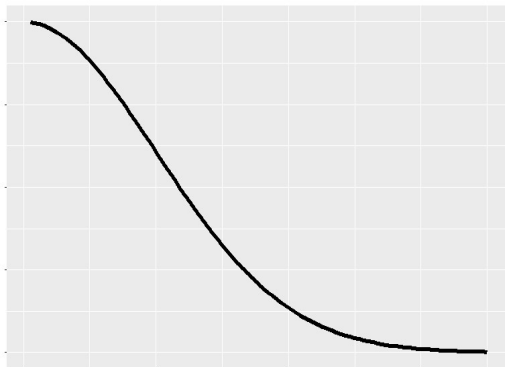


図 II-6. Half-Normal 型の発見関数の概形

Hazard-Rate

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

σ, b はパラメータ

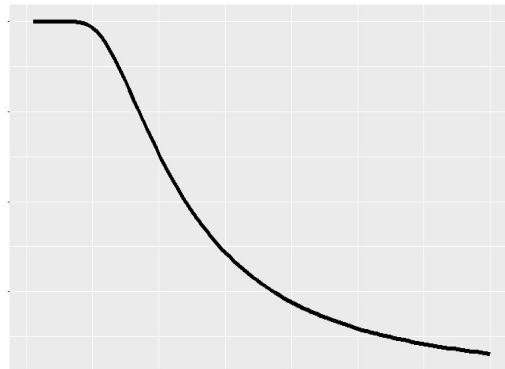


図 II-7. Hazard-Rate 型の発見関数の概形

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

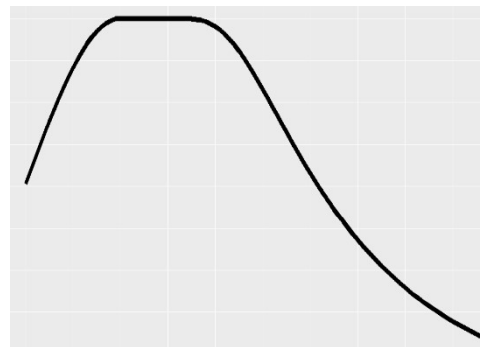
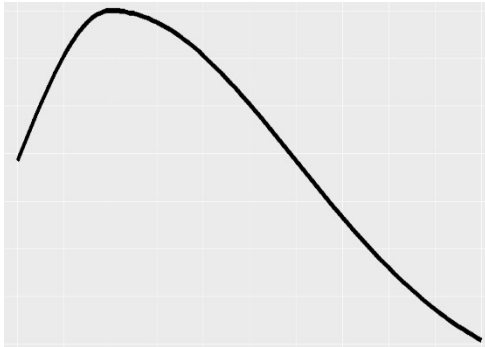


図 II-8. Half-Half-Normal 型の発見関数の概形

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。

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。

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

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

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

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

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。

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

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

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

で算出する。ここで 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。海区ごとの密度推定もグリッドと同様に行う。グリッド毎の密度分布図は、付録 1 に掲載する。

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

2019 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。延べレグ数（観測回数）は 689 回、総距離は 11217km となった。

表 II-4 2019 年度調査実績

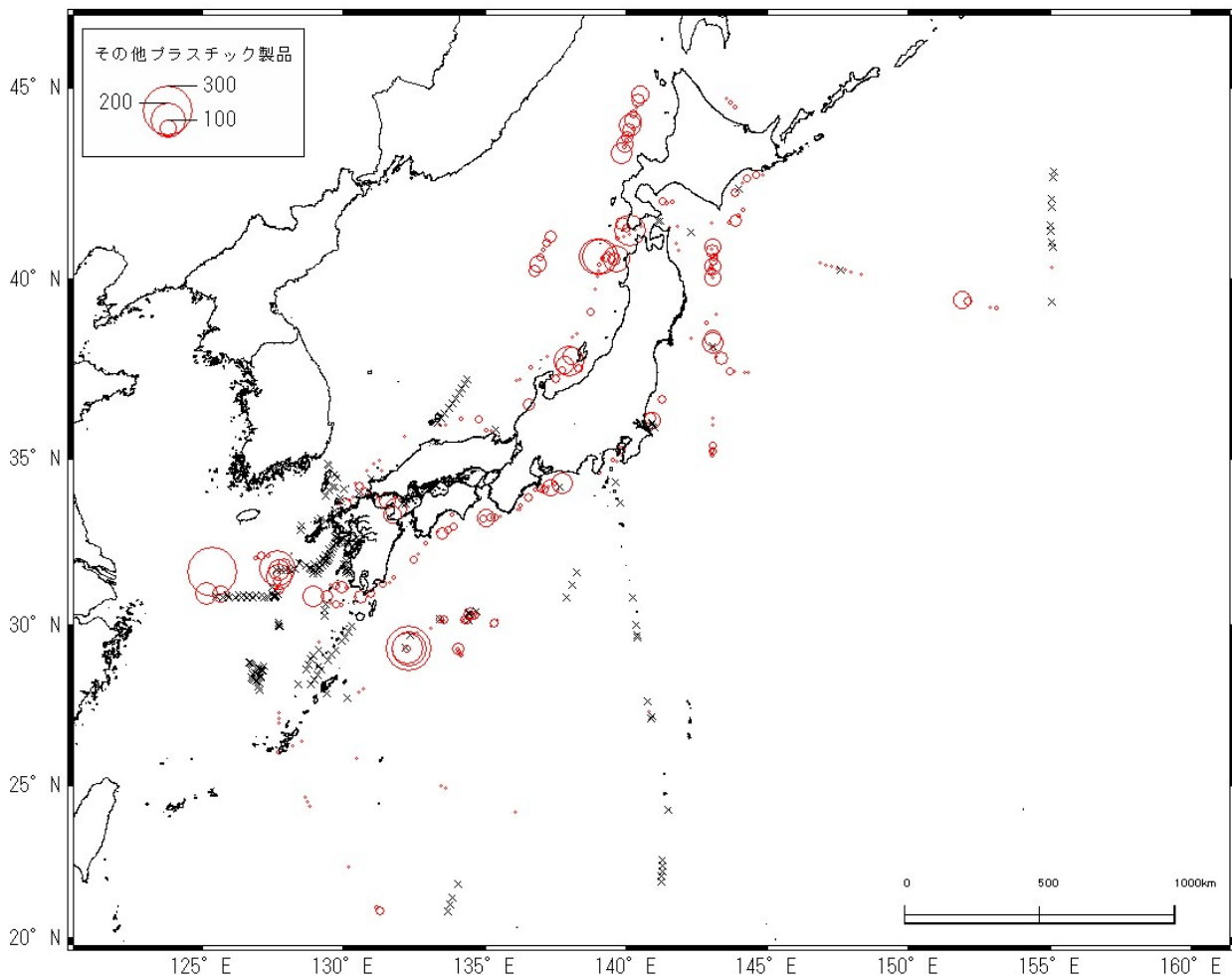
船名	調査日	調査範囲	回数	距離	発見個数
海鷹丸	7/12-8/10	日本周回	59	1038	2263
	11/25-3/2	南方海域	45	867	162
神鷹丸	7/12-8/10	日本周回	62	1091	2230
	8/17-9/15	西日本周辺	36	690	2007
	1/29-3/13	南方海域	66	738	716
おしよろ丸	5/15-5/19	北太平洋（西部）	40	708	745
	2020/6/14、6/18-6/21	北太平洋（東北沖）			
	6/25-6/26、7/2-7/3	日本海	62	1033	4002
	7/10、7/14、7/17	オホーツク海			
	9/15、9/17	北太平洋（東北沖）	10	152	259
	9/23	日高湾・十勝湾	7	766	146
	10/19-10/22	釧路沖	24	416	704
長崎丸	5/22-6/4、6/11-6/23、6/28-7/2、7/6-7/7、7/10-7/18、7/22-7/30	東シナ海	188	2710	1079
	8/1-8/6、8/8-8/21、8/26-9/8、9/11-9/24、9/27-9/29	西日本周辺			
かごしま丸	8/17-9/17	南方海域 東シナ海	44	733	1020
	10/11-10/17				
	10/22-10/28				
青鷹丸	4/16-1/16	相模湾	46	275	2233

3-2. 日本周辺海域の漂流ごみ種類別レグ毎密度分布

はじめに、2-5. に示したデータ解析方法によって求めたレグごとの密度（個/km²）のプロット図を種類別（表Ⅱ-3）に示していく。分布図では、レグの中間地点を代表位置（以下観測点と表記）として表示する。なお、その他人工物、その他自然物、その他不明については除く。

3-2-1. その他プラスチック製品（図Ⅱ-11）

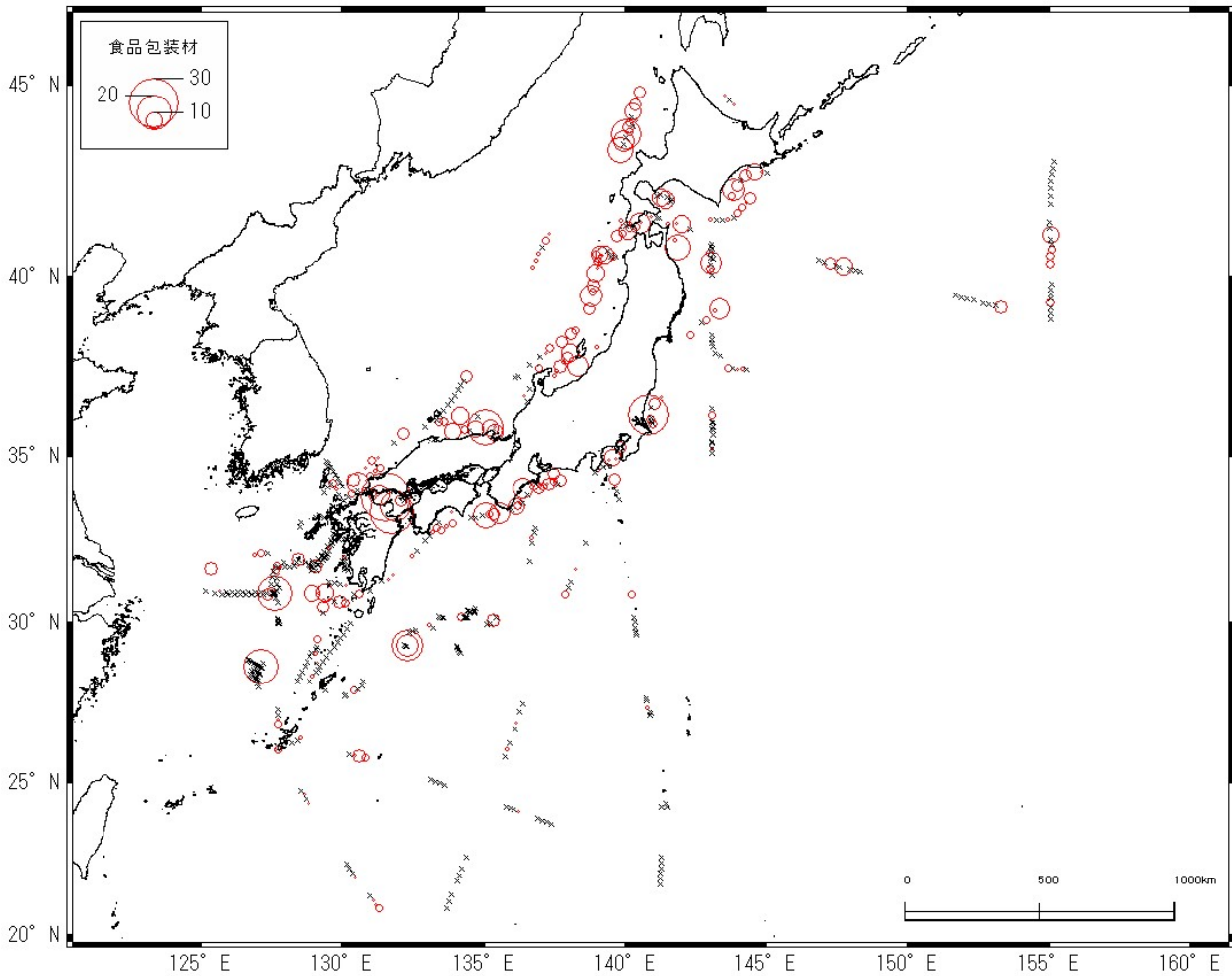
食品包装材やレジ袋、ペットボトル等に分類されないその他プラスチック製品は、荷造り紐やバケツ、シート状のものなどがこれに該当する。こうしたプラスチック製品は、観測点 637 測点中 416 測点（65%）で記録された。平均密度は、21.9 個/km² で、種類別の平均密度を比較すると最も高い値となった。測点別に最も多かったのは東シナ海の 304 個/km² で、この他にも 200 個/km² 前後の高密度な測点は本州沿岸でも広く分布している様子が確認できる。一方で、本州の南方や、北海道東方海域、オホーツク海は密度は低い傾向にあった。また、屋久島から奄美大島の間にある黒潮流軸上も密度が低くなる傾向が見られた。



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)

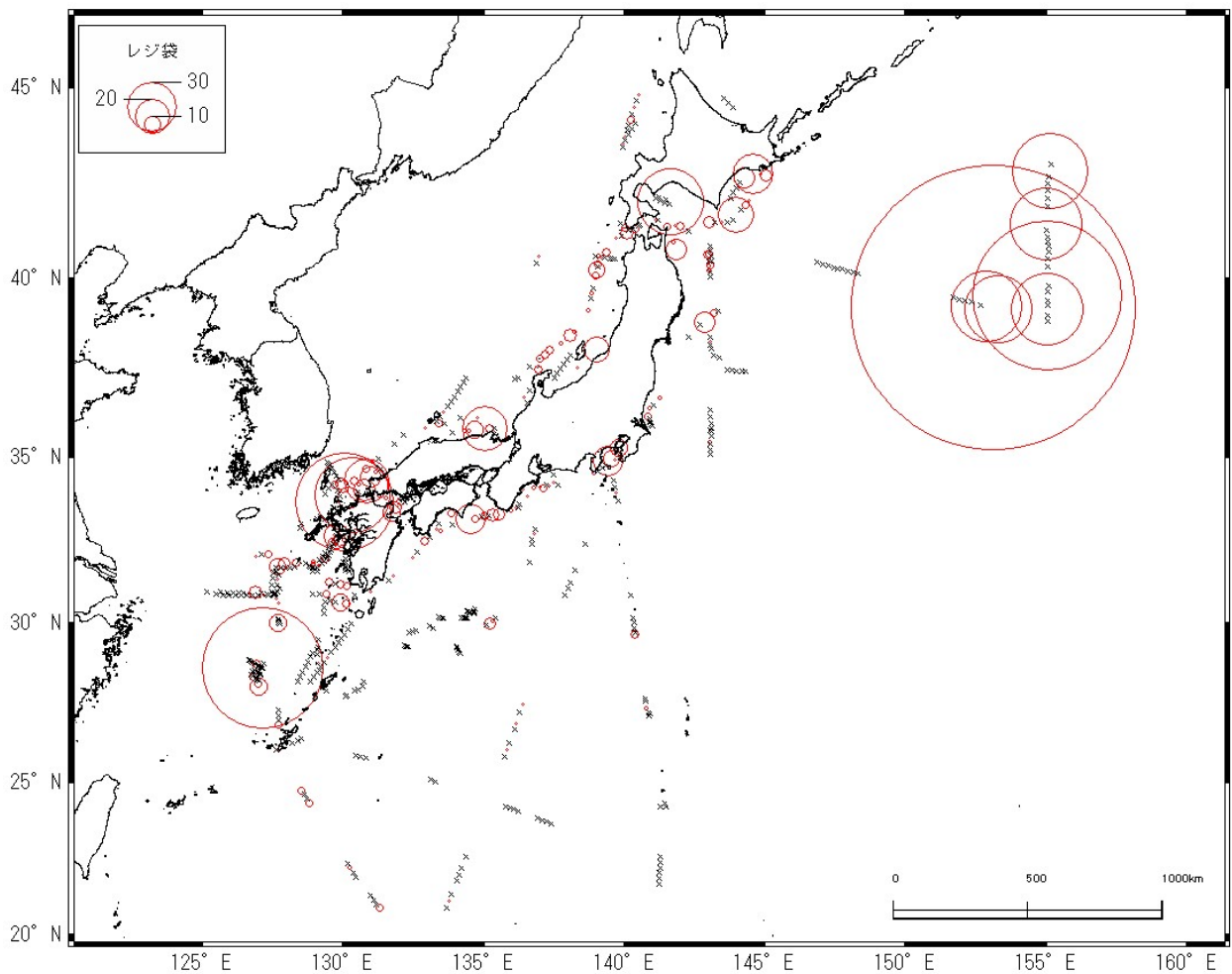
観測点 637 測点中 227 測点 (36%) で記録され、平均密度は 2.2 個/km²であった。最も高密度だったのは、瀬戸内海で記録された 30.0 個/km²で、そのほかにも 20 個/km²前後の高い密度の観測点は、紀伊半島周辺や丹後半島周辺、能登半島から北海道西岸の陸に近い測点、津軽海峡、北海道東岸沖に見られた。その他プラスチックと同様に南方海域には観測 0 の測点が多くみられた。過去 5 年間の平均密度で比較すると、今年度が最も低い結果となった。



図Ⅱ-12 食品包装材の密度分布

3-2-3. レジ袋 (図Ⅱ-13)

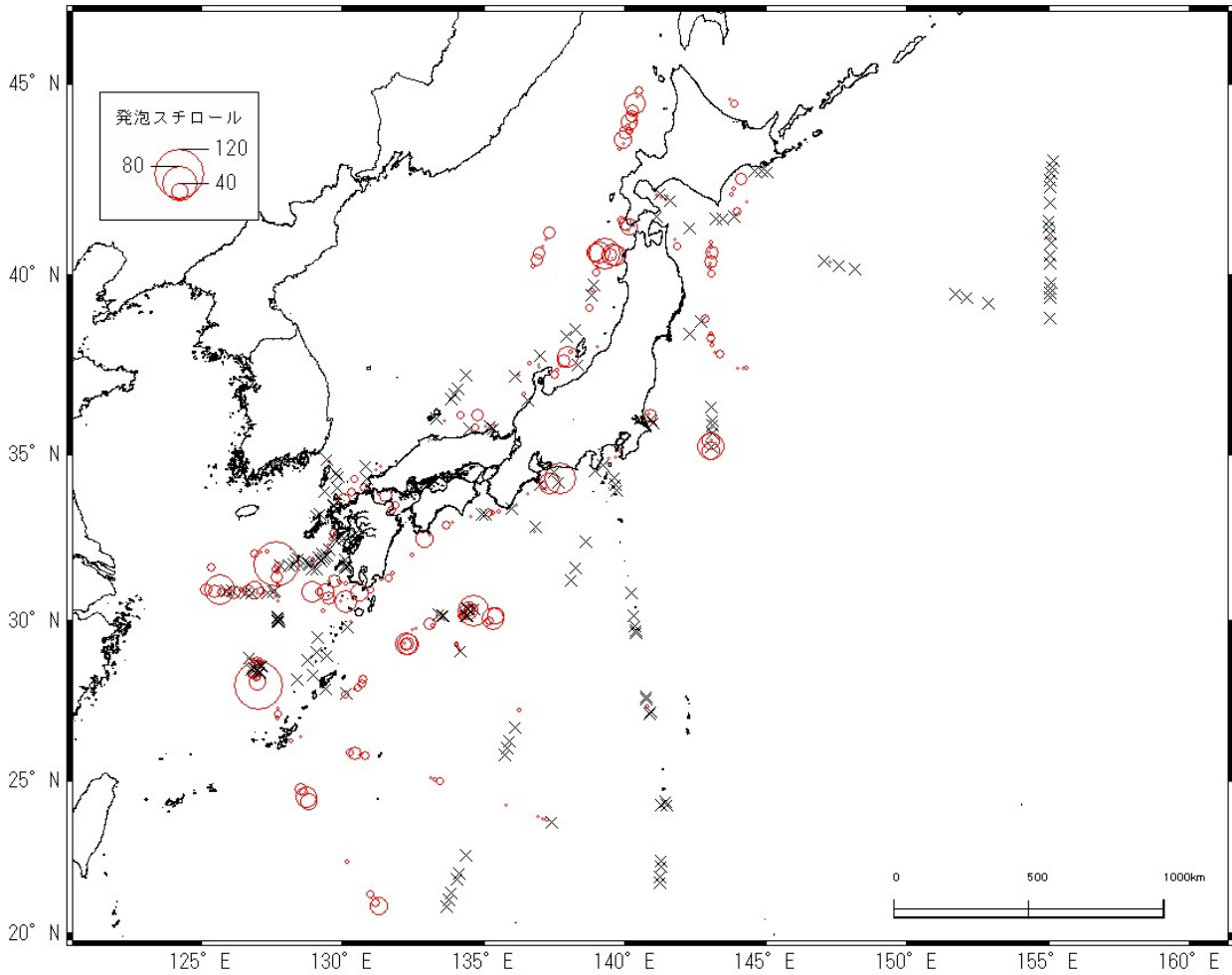
637 観測点中 197 点 (31%) で記録され、平均密度は 2.5 個/km² であった。最も高密度だったのは、北日本の東方約 900km 沖合の観測点 (北緯 39 度 15.25 分、東経 153 度 2.69 分) の 167 個/km² でその周辺には 40 個/km² を超える観測点も多く見られた。この海域にレジ袋の高密度な測点が集中した原因は定かではないが、親潮前線やその付近に発生する暖水渦などが存在する。このような箇所にレジ袋が集まっていた可能性がある。この他に高密度な観測点が見られたのは、東シナ海 (71.6 個/km²) と、北九州周辺海域 (57 個/km² と 45 個/km²)、津軽海峡の出口付近 (39.2 個/km²) であった。



図Ⅱ-13 レジ袋の密度分布

3-2-4. 発泡スチロール (図Ⅱ-14)

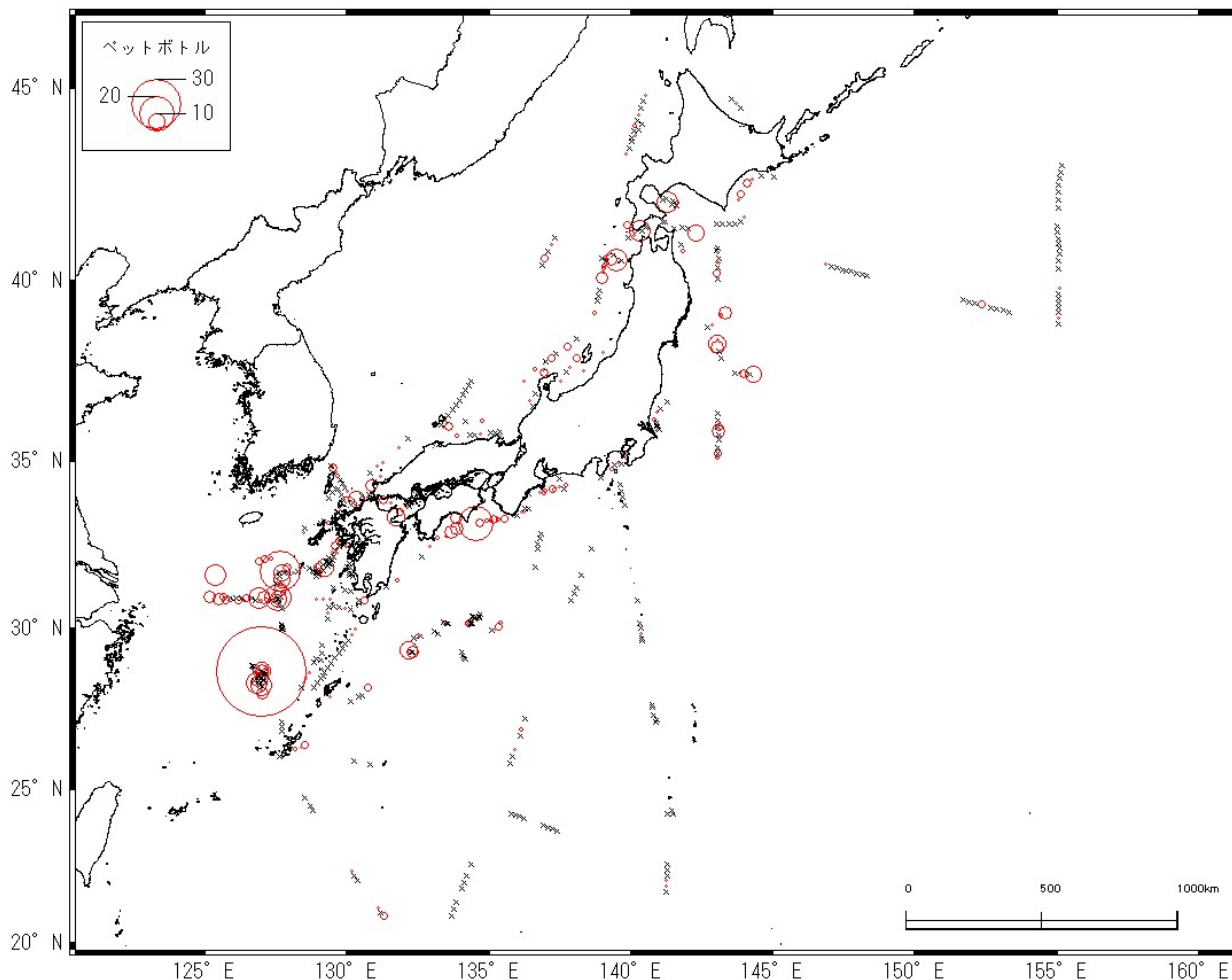
観測点 637 測点中 452 測点 (71%) で記録され、平均密度は 9.3 個/km²であった。発泡スチロールは、最も多くの測点で観測された人工物であった。最も高密度だったのは、東シナ海 (沖縄北西と五島列島南西) の 116 個/km²であった。その他にも 50 個/km²を超えるような測点が東シナ海、秋田から青森県にかけての日本海、北海道の西沖に、四国の南方海域に見られた。九州の周辺及び日本海北部に高密度な点が多いのは、過去 5 年の調査結果を同様の傾向である。



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)

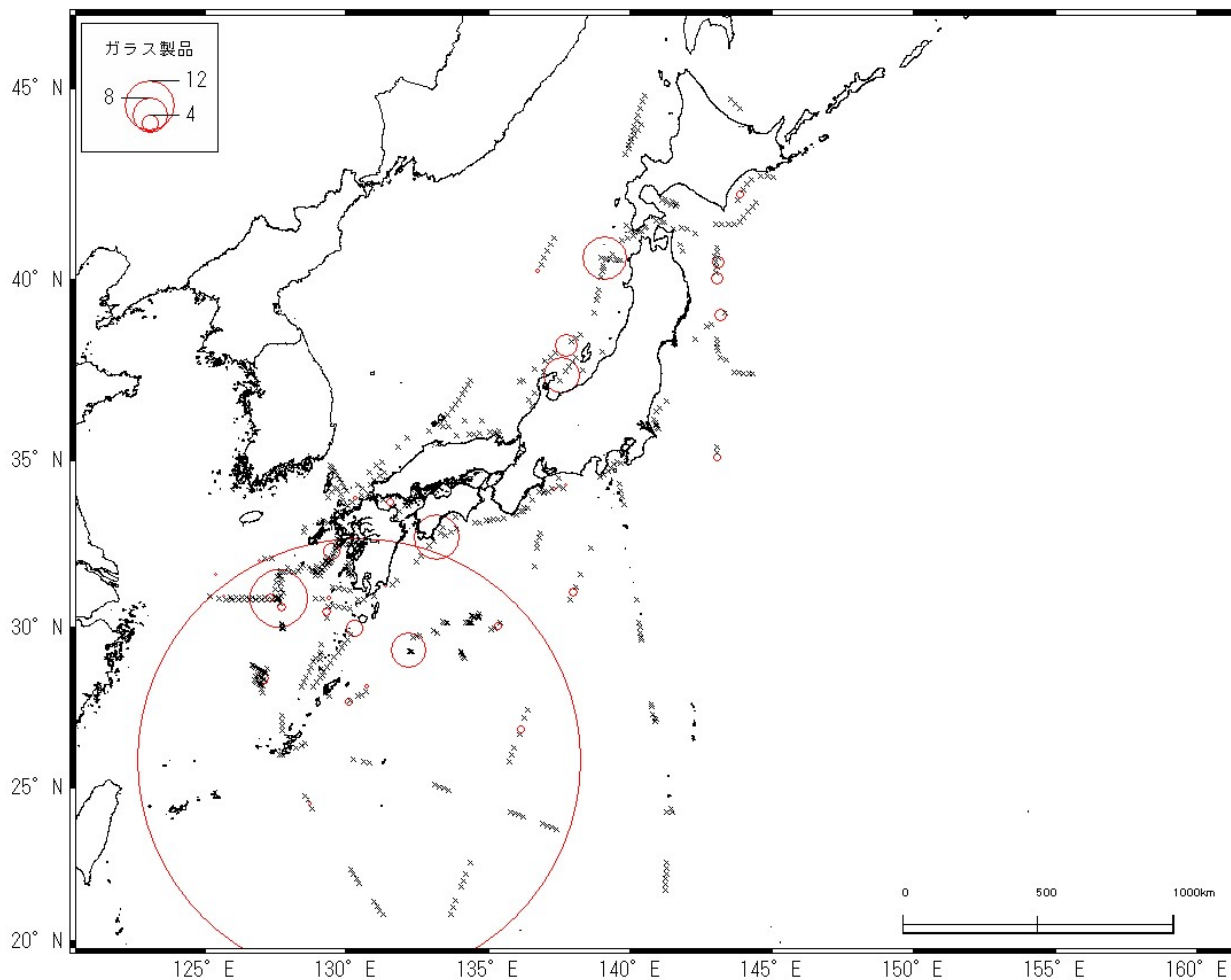
観測点 637 測点中 278 測点 (44%) で記録され、平均密度は 1.7 個/km²であった。最も高密度だったのは、東シナ海の 52.4 個/km²であった。高い密度の東シナ海と津軽海峡周辺に多く見られた。発泡スチロールと似た分布傾向であるが、密度はそれよりも低い。昨年度は南方海域にて局所的に高密度な観測点が見られたが、今年度は、そのような観測点は見られなかった。



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)

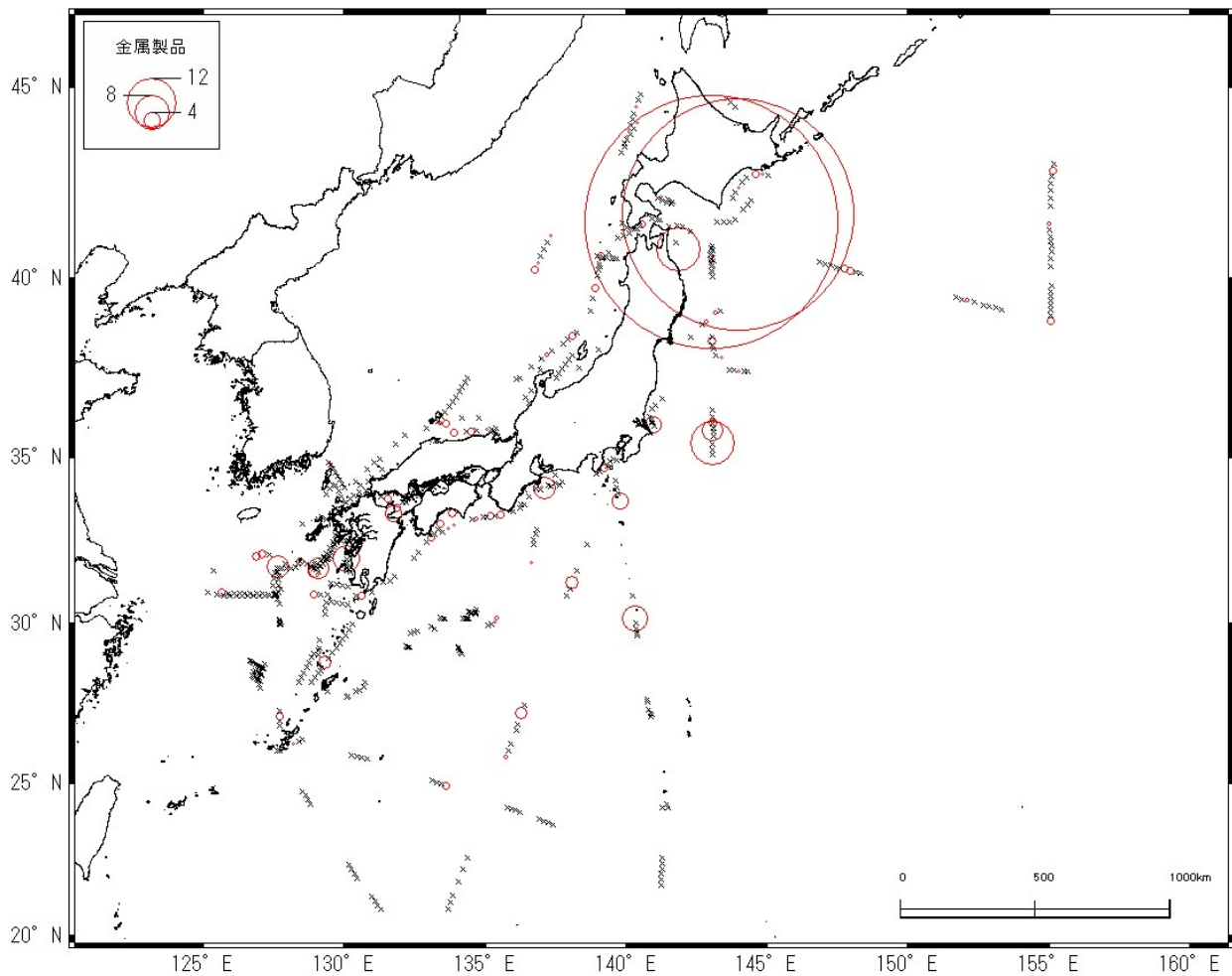
ガラス製品は、キャップが閉まった状態の空き瓶や電球、蛍光灯などである。ガラス製品が観測されたのは、637 測点中 90 測点 (14%) と金属製品に並んで最も少なかった。平均密度は 0.4 個/km² と一桁以下であった。最も高密度だったのは、南西諸島東方沖の太平洋で記録された 104 個/km² であった。それ以外でも所々で 5 個以上の高密度な観測点がみられたが、出現率は低かった。



図Ⅱ-16 ガラス製品の密度分布

3-2-7. 金属製品 (図Ⅱ-17)

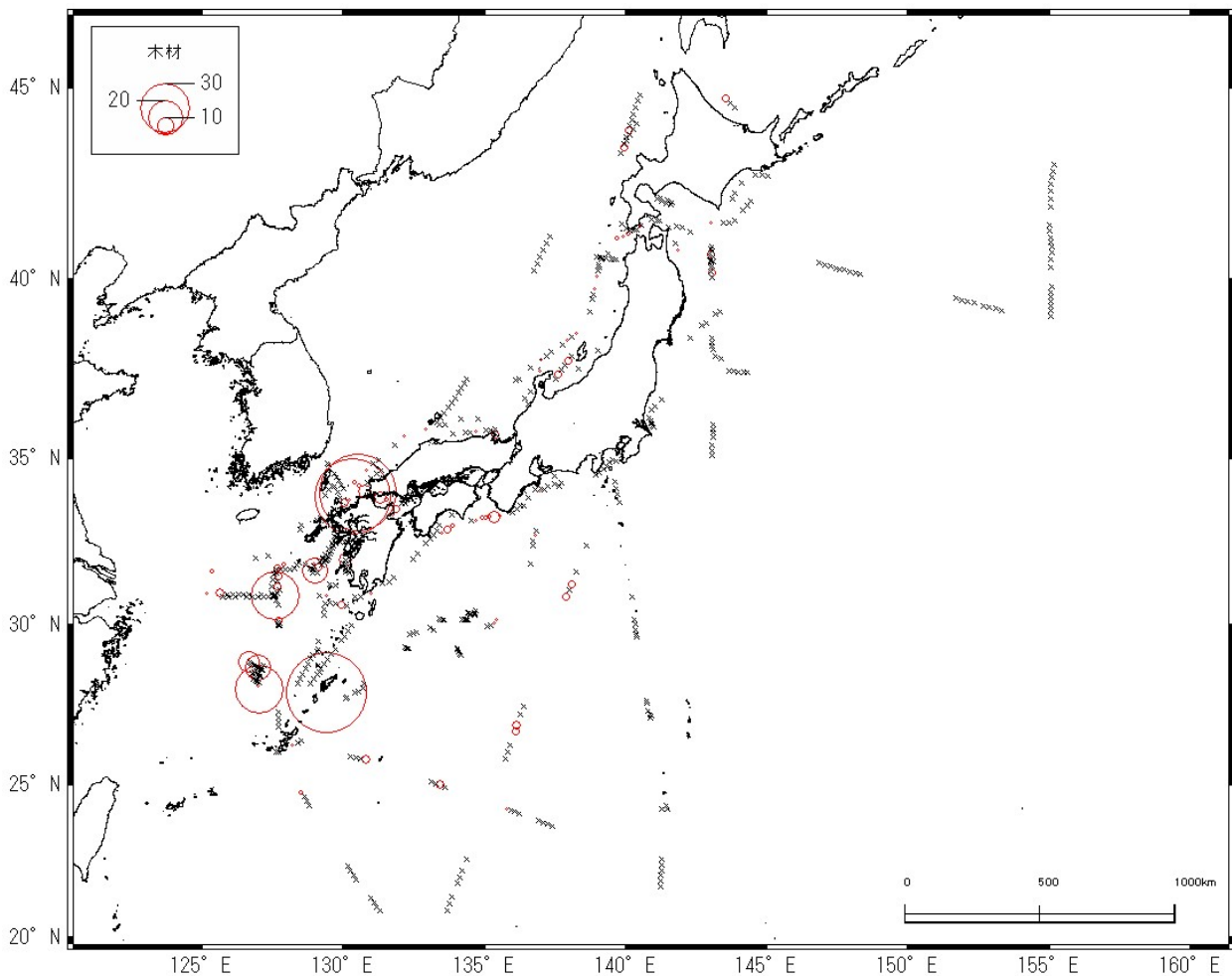
金属製品で観測されるのは、空き缶の天地が逆さまになりながら気室を保ち漂流しているものや、キャップの閉まった状態の金属製のボトル缶や、塗料缶、ドラム缶などである。金属製品が観測されたのは、637 測点中 88 測点 (14%)、平均密度は 0.5 個/km² とガラス製品とほぼ同程度であった。北海道東方海域で 60km² と 55 個/km² という高密度な測点が見られたが、石油由来のものと比較すると観察された個数は非常に少ないが、浮力が維持された状態で陸から 100km 以上離れた所までも漂流していることが確認できる。



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事を示す。木材が観測されたのは、637 測点中 109 測点（17%）で、平均密度は 0.8 個/km²であった。観測された数は金属製品やガラス製品に近く、分布傾向は、九州の周辺に 20～30 個/km²を超える測点が見られた。



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 637 測点中約半数の 294 測点 (46%) で観測され、平均密度は 19.6 個/km² とその他プラスチック片に次いで高密度であった。最も高密度だったのは、能登半島周辺と北海道西部の 353 個/km² であった。今年度観測された流れ藻は、北九州沖、丹後半島周辺、能登半島から佐渡が島にかけての海域、津軽海峡周辺、北海道西と日本海側と、太平洋側は三陸沖に分布が確認された。

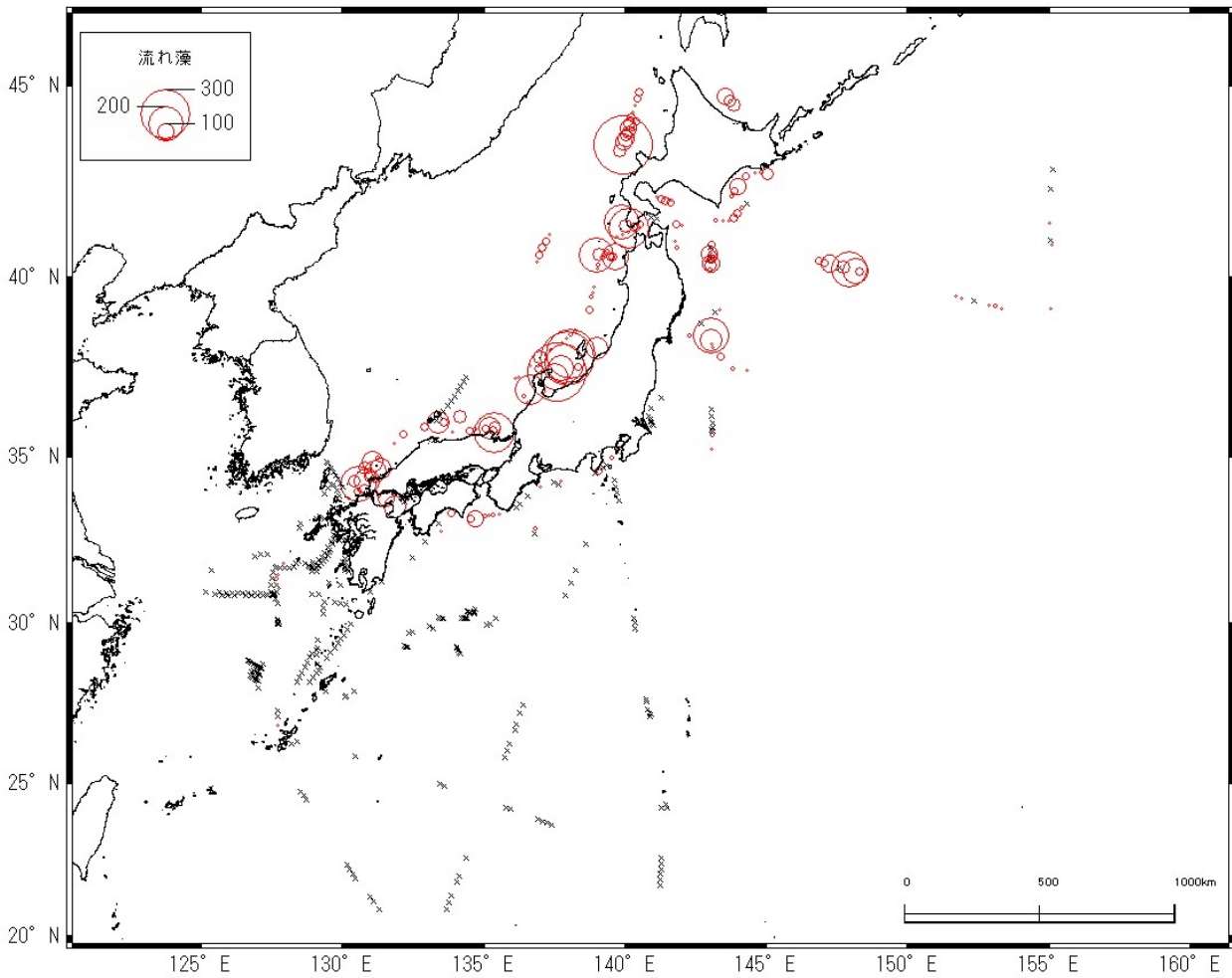
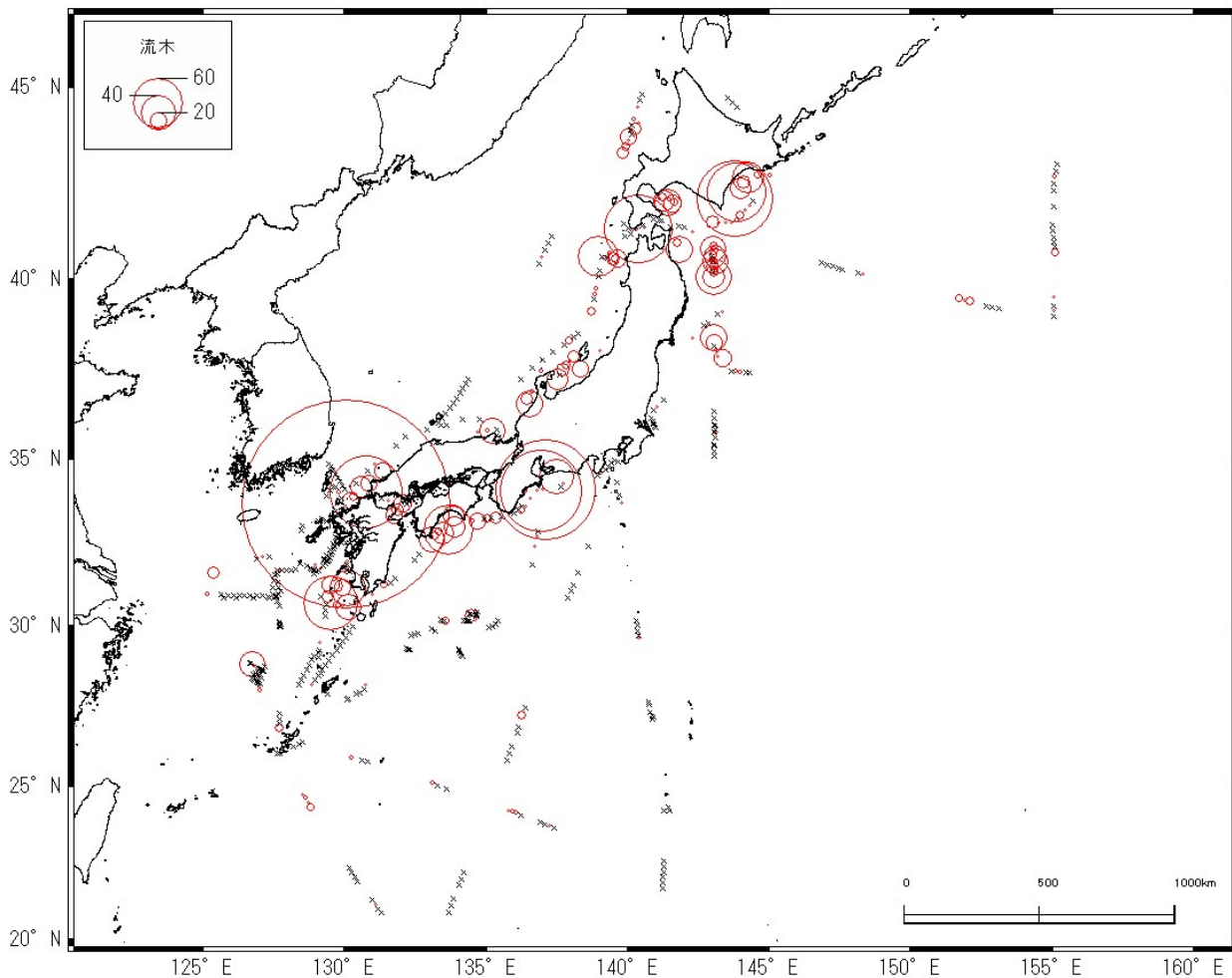


図 II-19 流れ藻の密度分布

3-2-10. 流木 (図II-20)

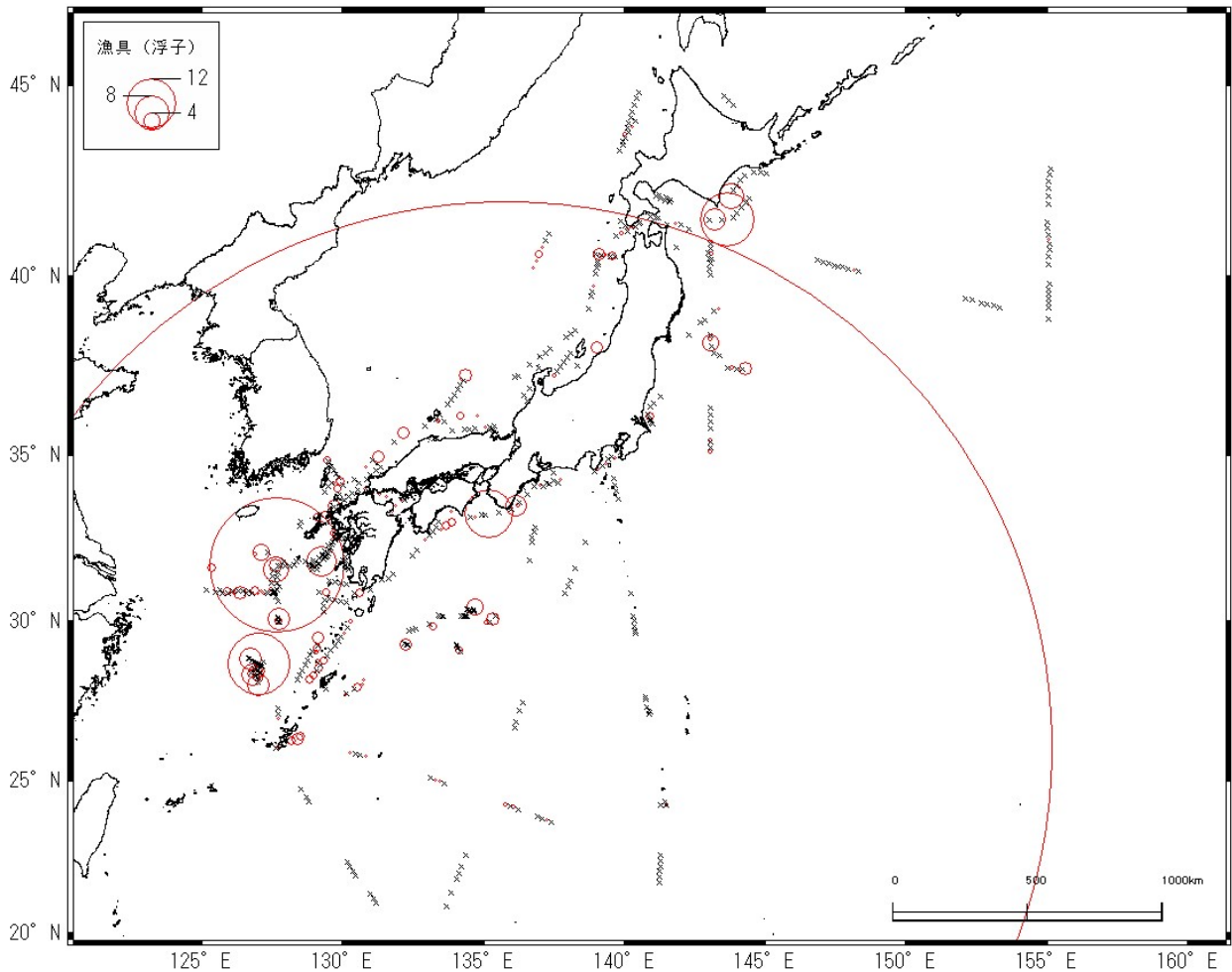
637 測点中 244 測点 (38%) で記録され、平均密度は 4.8 個/km²であった。最も高密度だったのは、対馬周辺海域の 243 個/km²で、その他にも 60 個/km²を超える観測点が、九州から四国、紀伊半島にかけての太平洋側と、津軽海峡、北海道東部に見られた。流れ藻と異なり、太平洋側に多く分布する傾向が見られた。



図II-20 流木の密度分布

3-2-11. 漁具（浮子）（図Ⅱ-21）

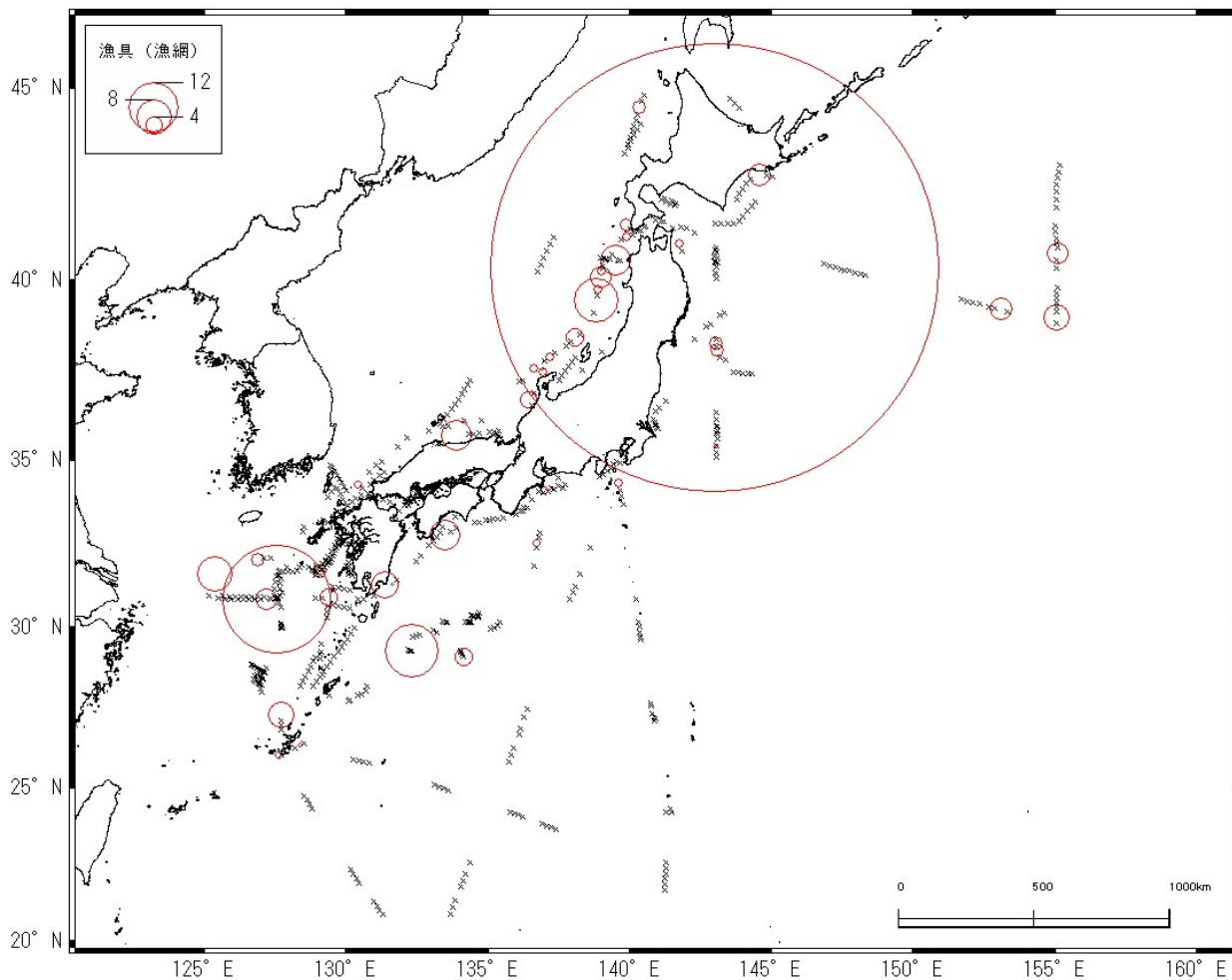
浮子は、637 測点中 161 測点（25%）で記録され、平均密度は 0.9 個/km²と一桁を切る数値であった。最も高密度だったのは、計算上南方海域での 256 個/km²であるが、この突出した値を除くと、東シナ海の 32 個/km²が最も高い値となった。特に漁具（浮子）の高密度な観測点が見られたのは東シナ海であったが、その他にも紀伊半島周辺、北海道東岸に見られた。高密度な観測点が黒潮の上流域側に多く分布することから、これらの漁具（浮子）は日本の漁業現場だけでなく東南アジア諸国も発生源となっている可能性が高い。



図Ⅱ-21 漁具（浮子）の密度分布

3-2-12. 漁具（漁網）（図Ⅱ-22）

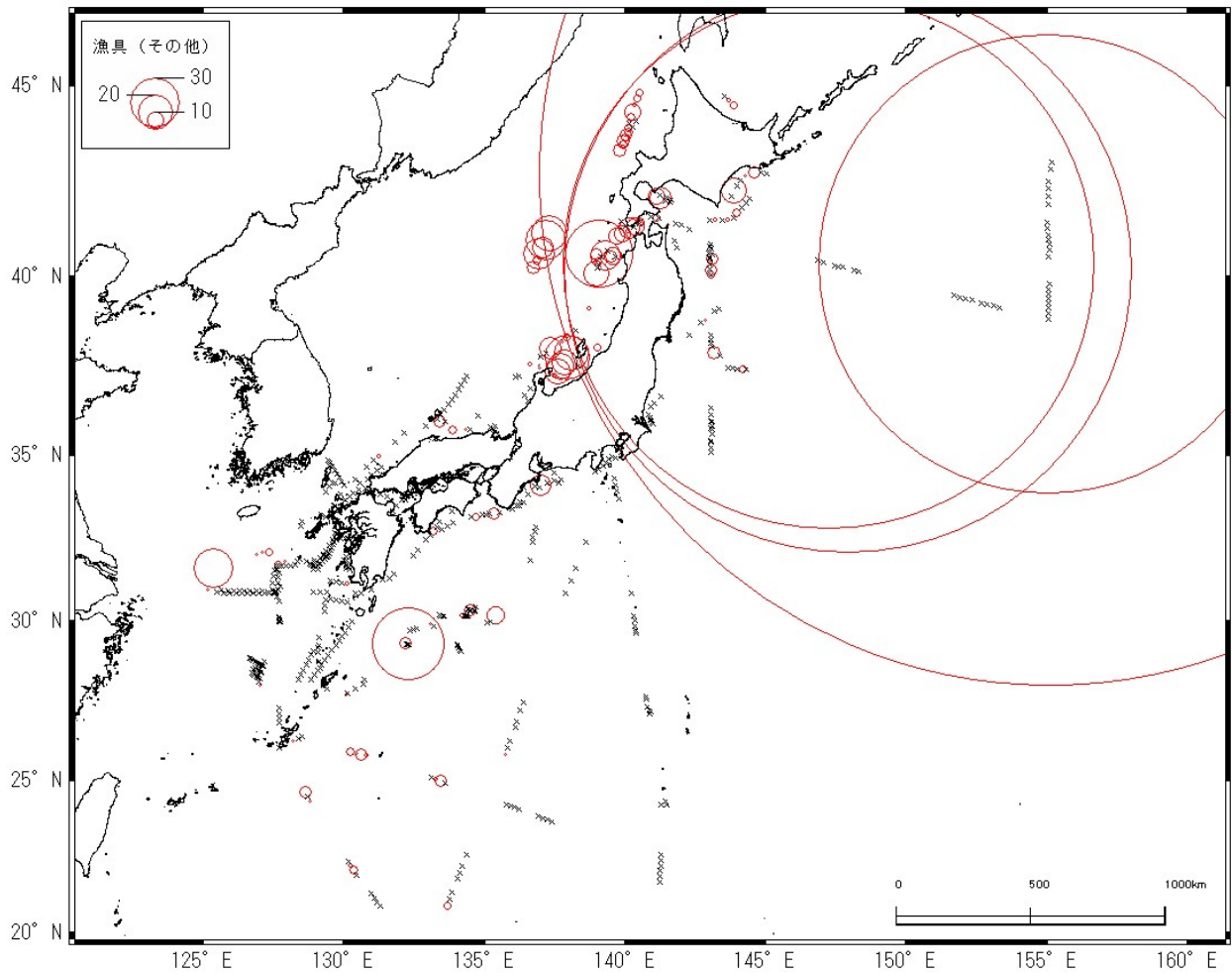
漁網は、637 測点中 41 測点（6%）で記録され、平均密度は 0.5 個/km²とガラス製品と似た値になった。最も高密度だったのは、北海道南の 105 個/km²で、次いで高密度だったのは東シナ海の 25 個/km²であった。漁具（浮子）と共通するのは、東シナ海と北海道東方に密度の高い測点があったことである。



図Ⅱ-22 漁具（漁網）の密度分布

3-2-13. 漁具（その他）（図Ⅱ-23）

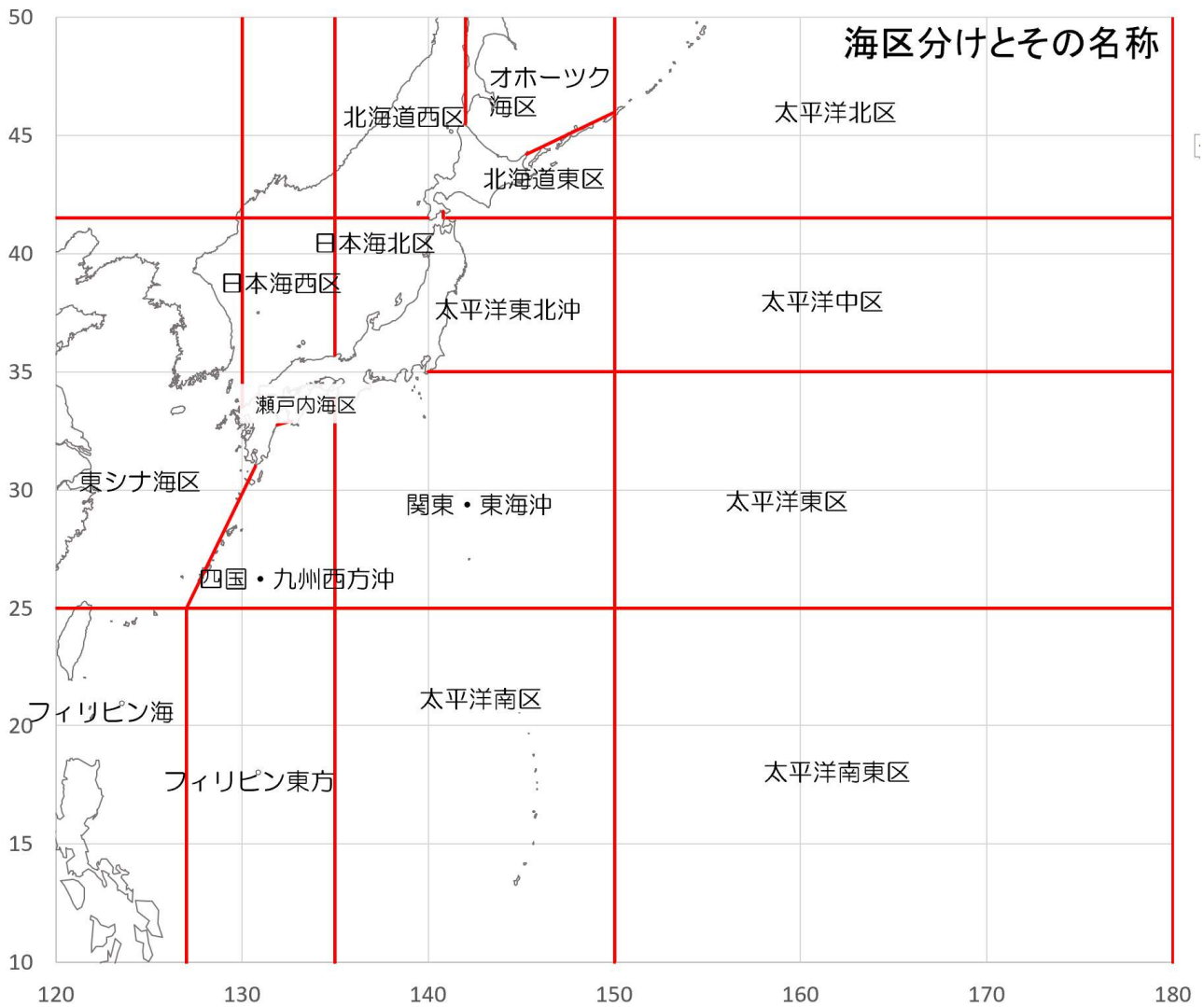
その他漁具は、主に魚を入れるためのかごや、旗竿、ロープなどの漁業資材になる。観測されたのは124 測点（19%）と少ないが、今年度は北海道東方海域に 600 個/km² という高密度な測点をはじめ、同海域に 100 個を超える測点が 4 か所見られた。その他にも能登半島周辺、津軽海峡周辺にも高い密度が見られた。



図Ⅱ-23 漁具（その他）の密度分布

3-3. 海区別漂流ごみ（プラスチック製品）の平均密度

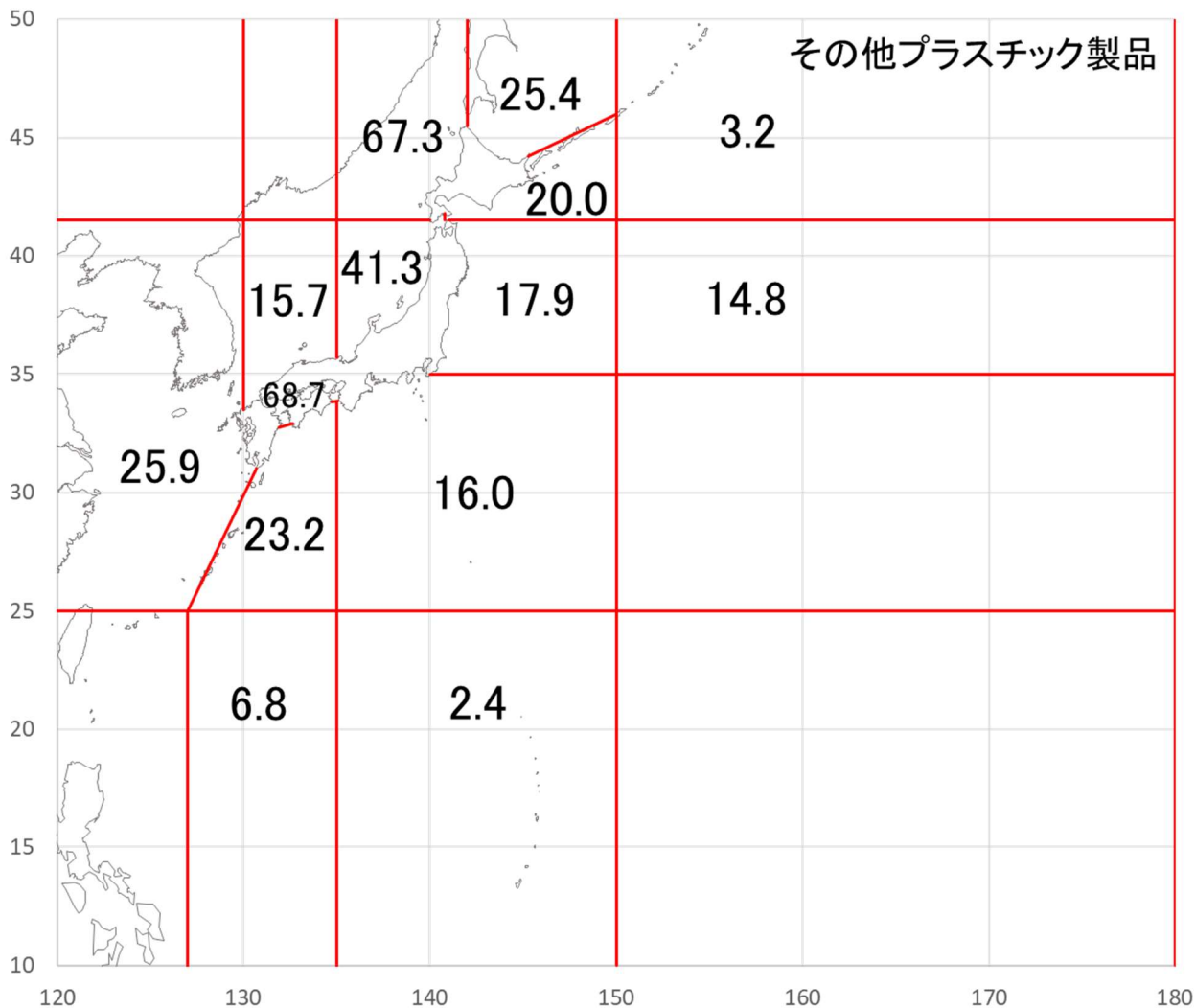
ここでは、日本の周辺のどの海域に漂流ごみが多く分布しているかその傾向を把握するために、便宜的に16海区に分けて（図Ⅱ-24）、海区ごとの平均密度の比較をする。平均密度は、区画内のレグの密度の平均値としている。ここでは、石油由来の海洋ごみ（その他プラスチック・発泡スチロール・食品包装材・レジ袋・ペットボトル）について見ていく。



図Ⅱ-24 海区分けとその名称

3-3-1. その他プラスチック製品の海区別分布密度 (図Ⅱ-25)

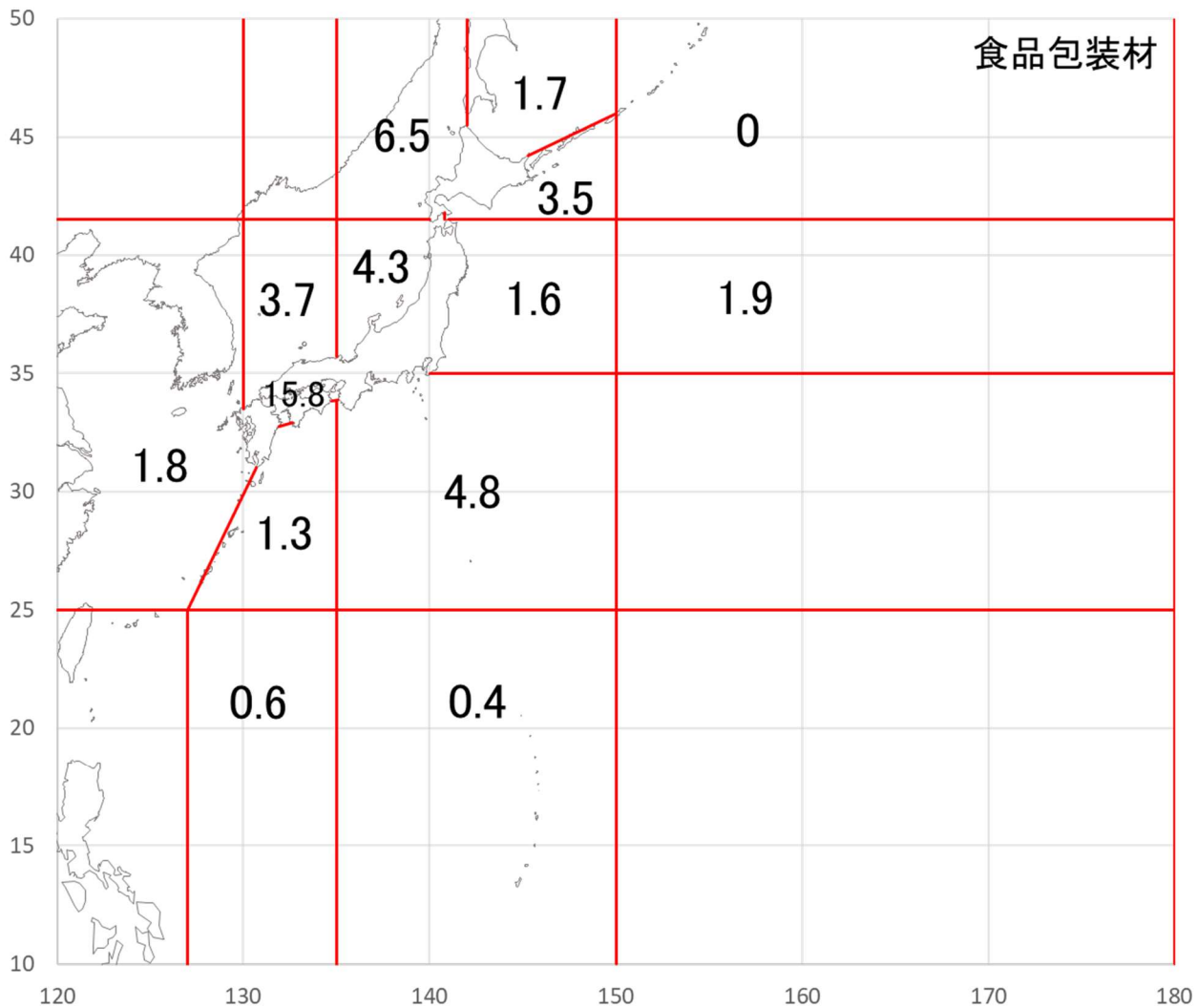
海区別の分布密度が最も高かったのは、瀬戸内海区の 68.7 個/km² で、次いで多かったのが北海道西区の 67.3 個/km²、日本海北区の 41.3 個/km² であった。太平洋側よりも日本海側の密度の方が、高い傾向にあった。



図Ⅱ-25 その他プラスチックの海区別平均密度

3-3-2. 食品包装材の海区別分布密度 (図Ⅱ-26)

最も密度が高かったのは、瀬戸内海の15.8個/km²であった。次いで高かったのは北海道西区の6.5個/km²であった。陸域から離れたところではその数が少ない傾向にある。



図Ⅱ-26 食品包装材の海区別分布密度

3-3-3. 発泡スチロールの海区別分布密度 (図 II-27)

最も密度が高かったのは、北海道西区の 19.9 個/km² で、次いで高かったのは瀬戸内海区の 18.4 個/km² で日本海北区の 13.1 個/km² であった。この傾向は、その他プラスチックと同様であった。

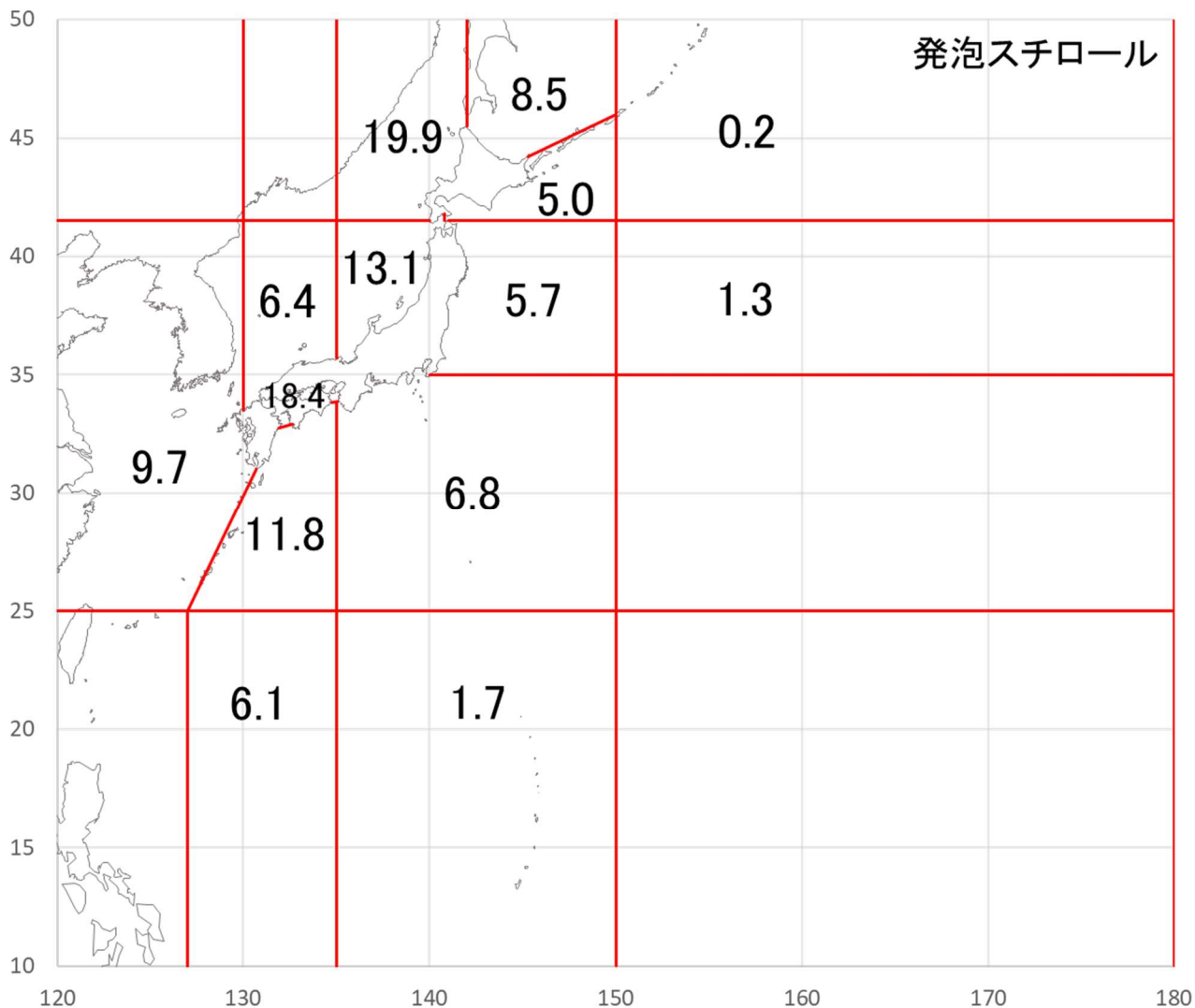


図 II-27 発泡スチロールの海区別平均密度

3-3-4. レジ袋の海区別分布密度 (図 II-28)

最も密度が高かったのは、太平洋中区の 16.7 個/km²であった。これまでレジ袋は都市部近くの海域が特に高密度にある傾向にあったが、今年度は日本列島からはるか 900km 以上離れた北緯 39 度 15.25 分、東経 153 度 2.69 分の測点をはじめとする海域で数多くのレジ袋が発見された。これまでの調査では、レジ袋は、日付変更線近くまで広く分布することが確認されているが、この範囲の密度が最も高くなったのは 2017 年からの調査で初めてのことである。

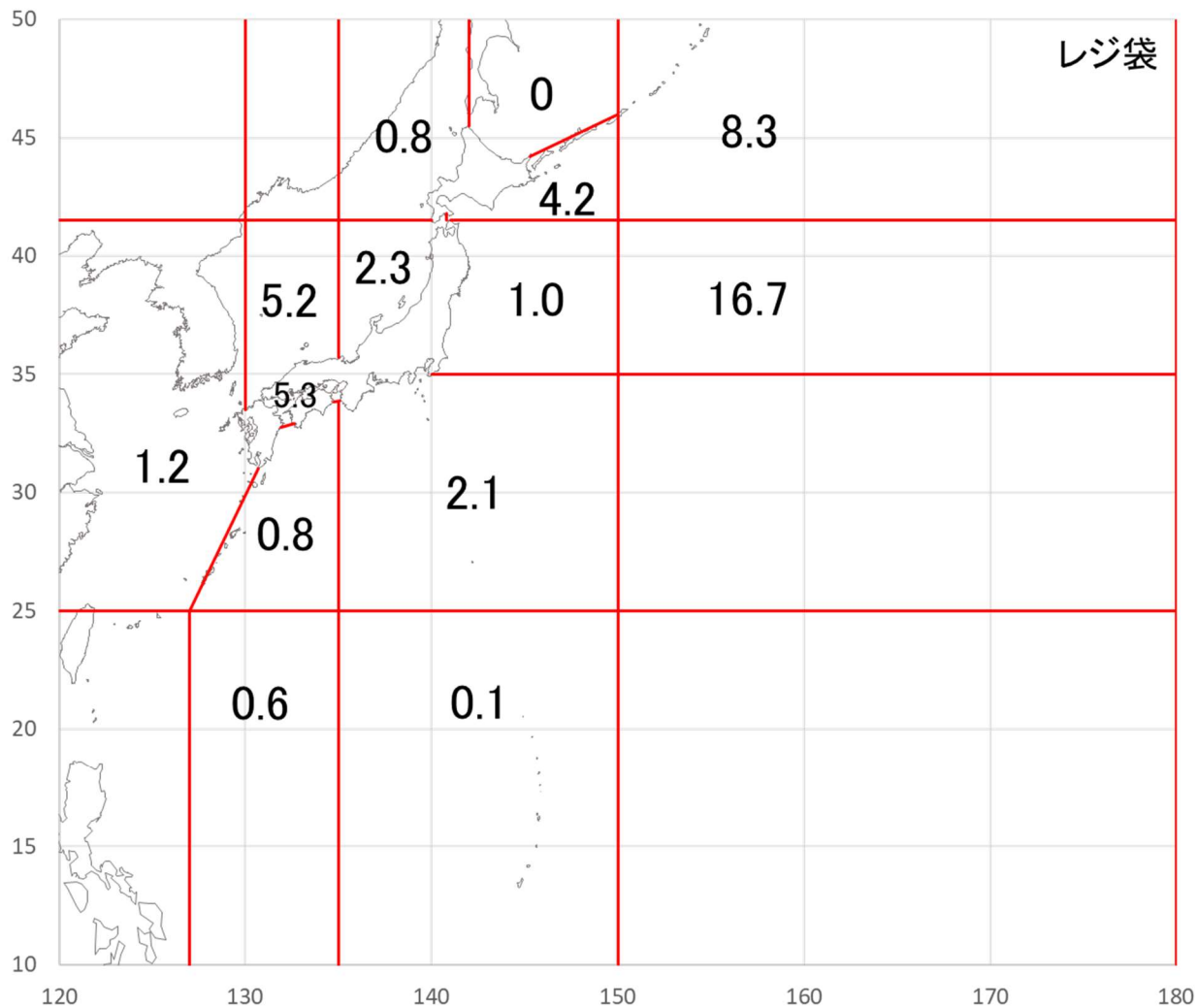
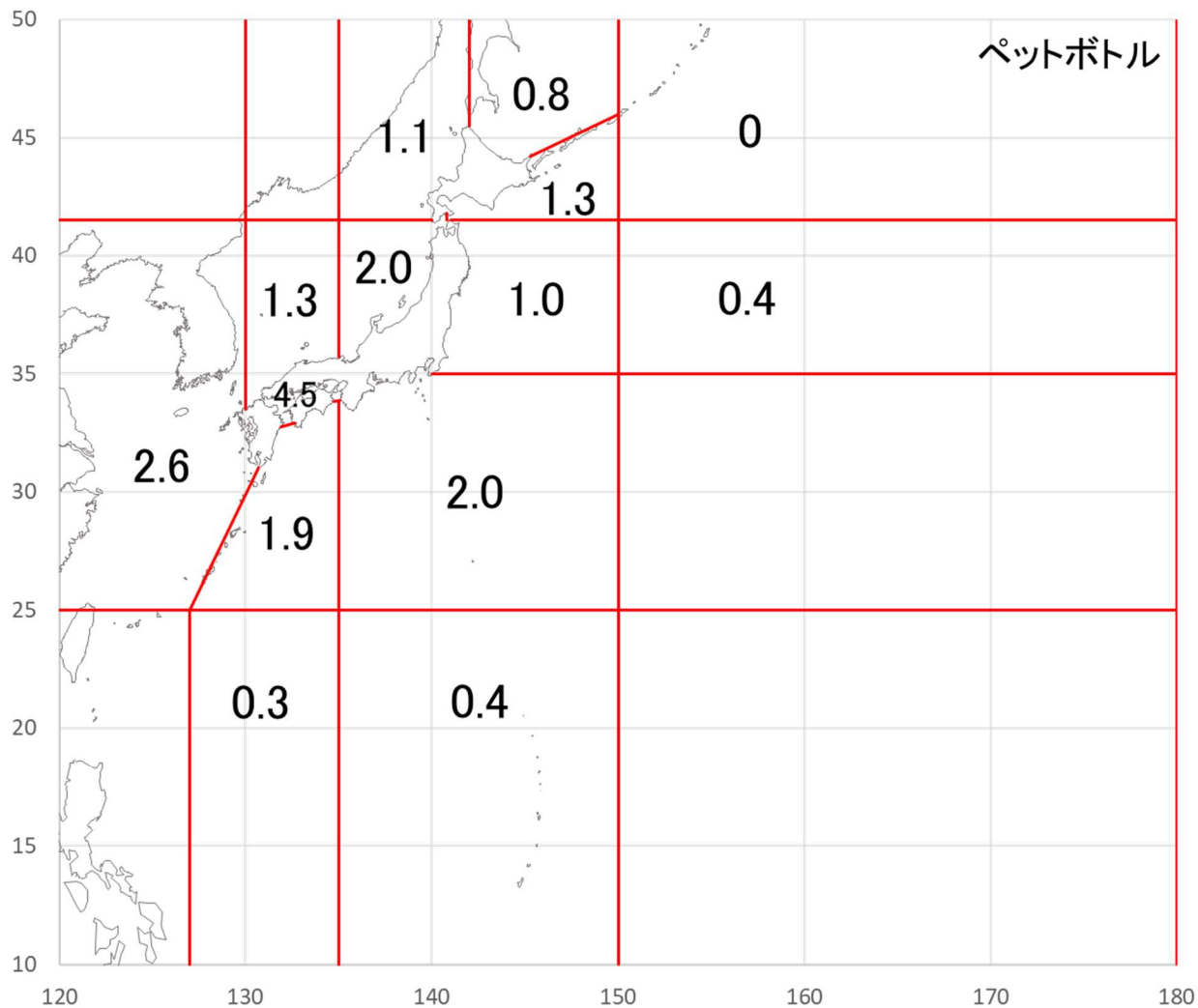


図 II-28 レジ袋の海区別分布密度

3-3-5. ペットボトルの海区別分布密度 (図II-29)

最も密度が高かったのは、瀬戸内海の4.5個/km²で、次いで東シナ海の2.6個/km²、日本海北区の2.0個/km²となった。太平洋北区、太平洋中区、太平洋南区、フィリピン東方といった陸から離れた海区での密度が低いのが確認できる。



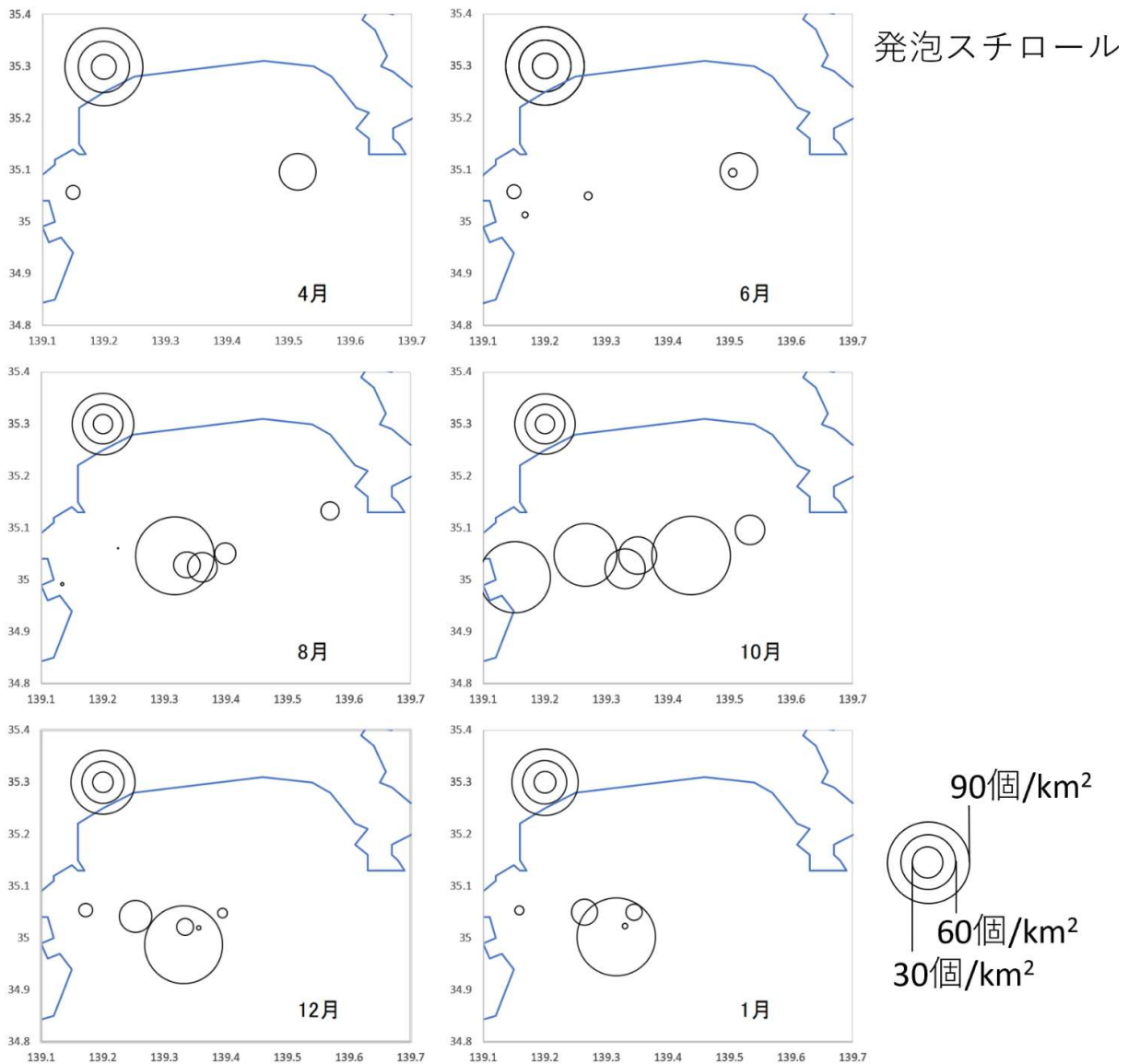
図II-29 ペットボトルの海区別分布密度

3-4. 相模湾調査の結果

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、外洋域に接続する相模湾で実施した調査結果を基に、季節ごとの漂流ごみの出現状況の検討を行った。季節の変化を比較検討するために、種類別に調査月（4月、6月、8月、10月、12月、1月）毎の分布傾向の比較を行った。解析の対象は、海洋プラスチックごみとされる、発泡スチロール、レジ袋、ペットボトル、食品包装材、その他プラスチック製品とした。

3-4-1 発泡スチロールの季節変化（図Ⅱ-30）

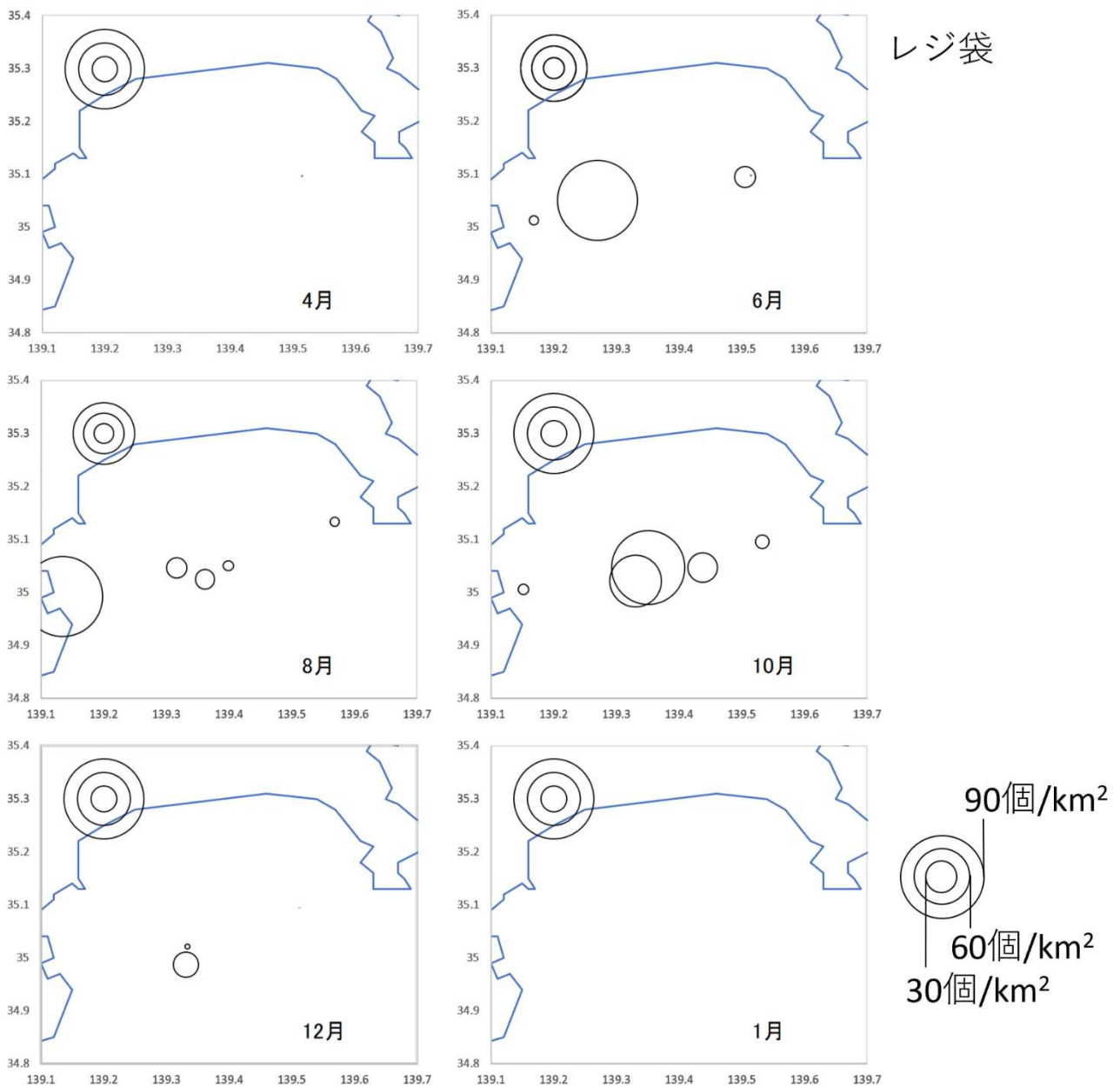
発泡スチロールは、8月以降から1月にかけて50個を超えるような測点がそれぞれの月で観測された。特に湾全体で多く観測されたのは10月であった。また、4月6月は東よりの海域に密度の高い測点があったのに対して、12月、1月は西よりの海域に高密度な測点が多くみられるようになった。なお、発泡スチロールの平均密度は、27.1個/km²であった。



図Ⅱ-30 発泡スチロールの季節変化

3-4-2 レジ袋の季節変化

4月のプレ調査の際には、東寄りの海域で1件観測されただけであった（2.4枚/km²）。そして6月8月の調査では西寄りの海域に高密度な海域がみられ、10月では湾の中央付近で高密度な場所が見られた。そして12月の調査で観測されたレジ袋は3件で、1月の調査ではレジ袋は確認されなかった。レジ袋の平均密度は、13.1個/km²であった。



図Ⅱ-31 レジ袋の季節変化

3-4-3 ペットボトルの季節変化

ペットボトルはプラスチック製品のごみの中で最も観測された数が少なかった（調査期間中合計 19 本）。特に 12 月と 1 月の調査では、ペットボトルは観測されなかった。観測期間中最も高い密度が記録されたのは、10 月の観測で最も陸岸近くの伊東沖であった。ペットボトルの平均密度は、7.0 個/km² であった。前提を通して、密度は西よりの海域で高くなった。

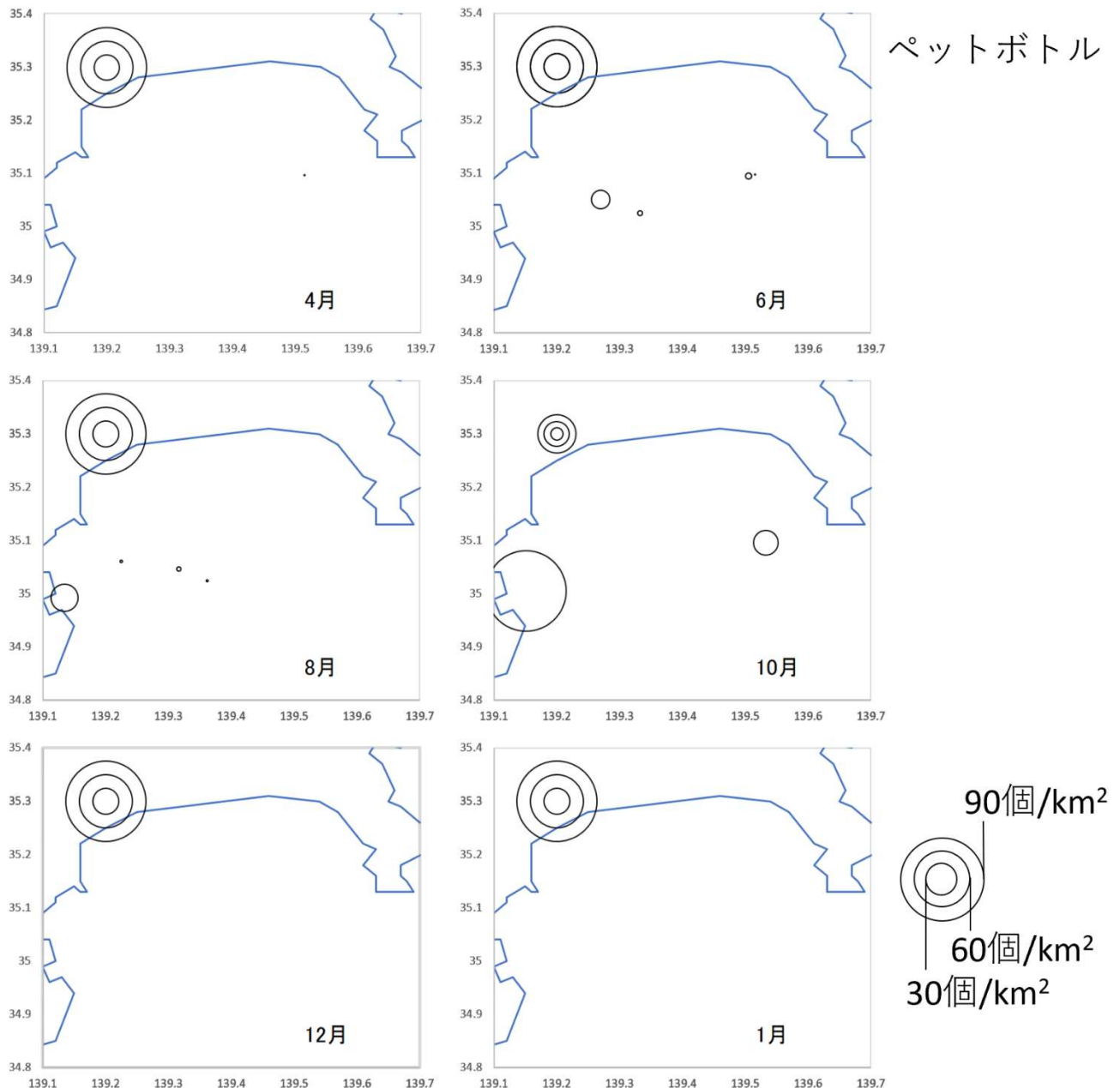


図 II-32 ペットボトルの季節変化

3-4-4 食品包装材の季節変化

食品包装材は年間を通じて 60 個/km²以上の測点が見られ、8 月には 196 個/km²10 月には 185 個/km²という高い密度の測点が見られた。4 月 6 月は、湾の東西で観測され、8 月は西より、10 月は東より、12 月 1 月は西よりの海域で多く観測されている。食品包装材の平均密度は、25.4 個/km²であった。

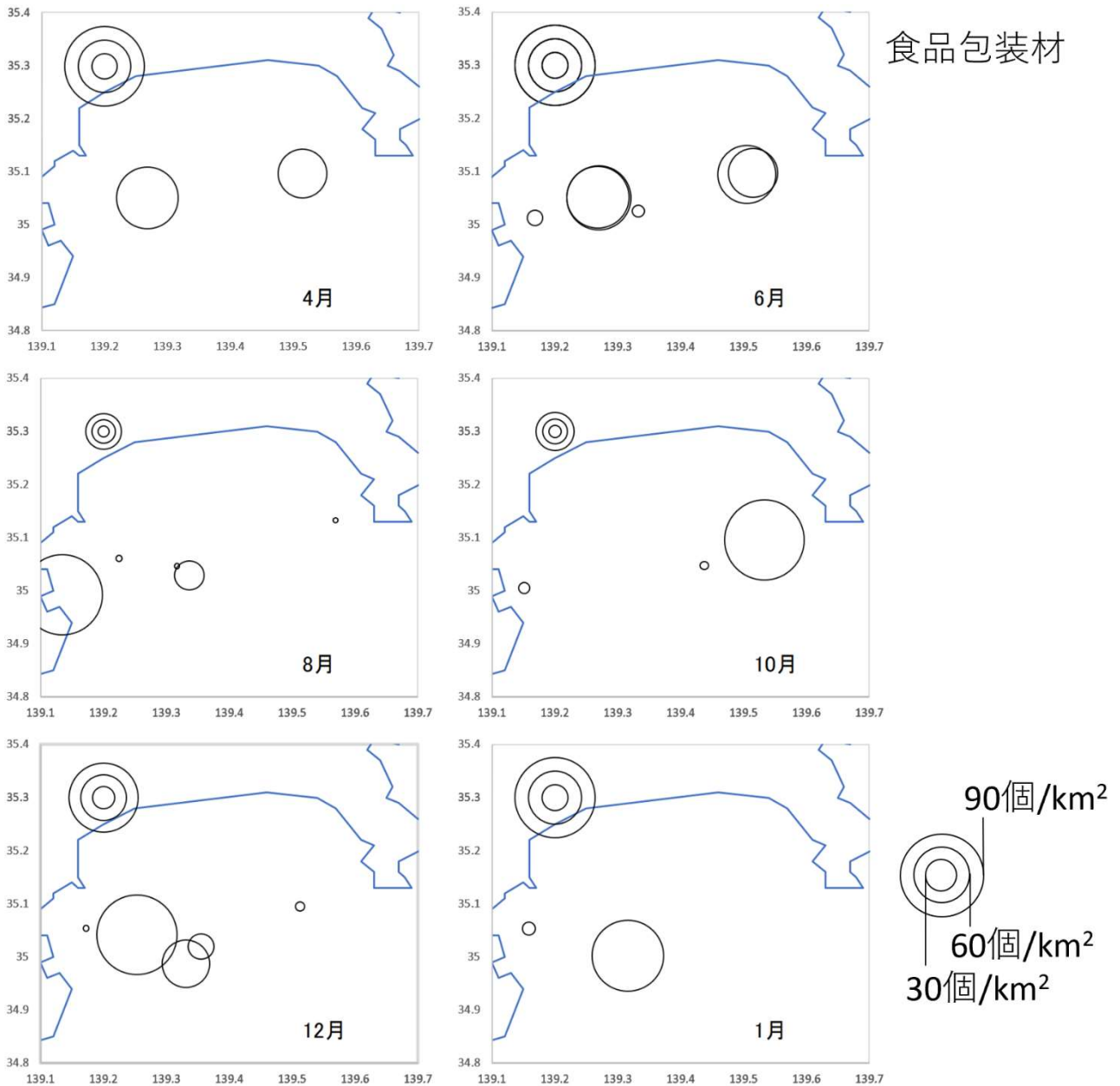


図 II-33 食品包装材の季節変化

3-4-5 その他プラスチックの季節変化

その他プラスチックは、観測された個数が最も多い種別であった。特に、6月（322個/km²）、8月（298個/km²）、10月（366個/km²）、12月（354個/km²）と高密度な測点が見られた。分布のパターンとしては、4月6月が湾の西よりに、8月10月が湾の中央付近に、12月1月が湾の西寄りの密度が高くなる傾向にあった。その他プラスチックの平均密度は、33.2個/km²であった。

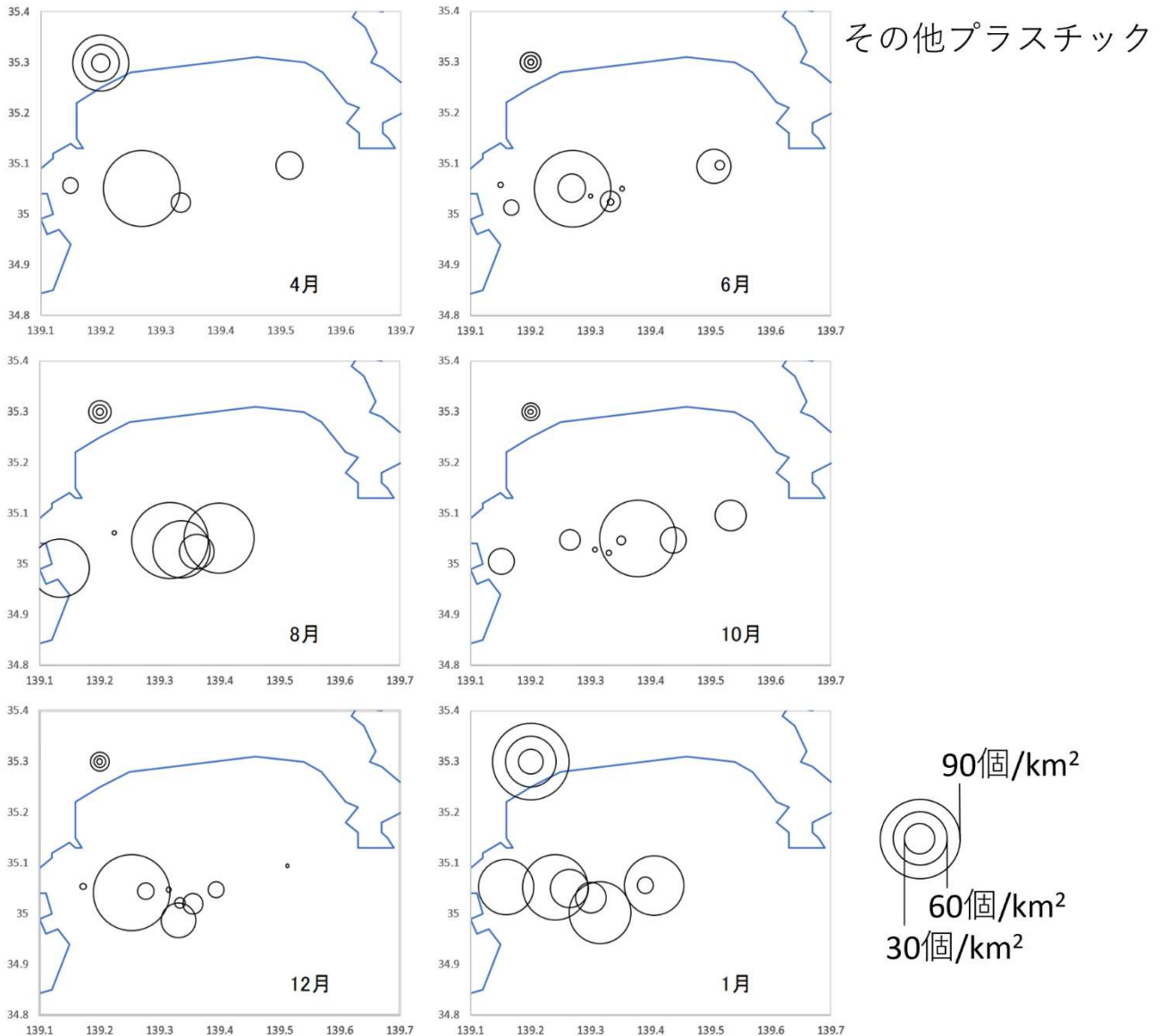
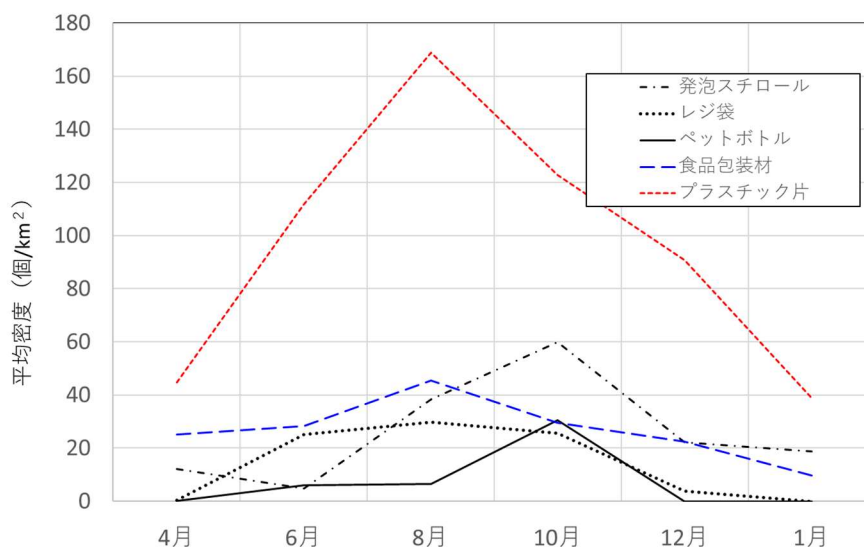


図 II-34 その他プラスチックの季節変化

3-4-6 相模湾調査の結果のまとめ

月別の平均密度を比較すると、プラスチック片と食品包装材、レジ袋は8月ピークで、発泡スチロールとペットボトルは10月がピークとなっている(図II-35)。種別の密度を比較すると、レジ袋やペットボトルは、沖合域同様に相模湾でも低い傾向にあった。一方で、発泡スチロールや食品包装材はこれらよりも高い密度の測点が多く見られた。また、海面上に浮上し風の影響を受けやすい状態で漂流するペットボトルと発泡スチロールのピークが同じ時期であり、ペットボトルが発見された4、6、8月においては湾内における分布の傾向も類似していた(表II-18)。このように、ペットボトルと発泡スチロールは海上での動きは似ていることから、発生源や流入時期も同じである可能性が考えられた。同様に、8月にピークが見られたプラスチック片と食品包装材、レジ袋のように海面に張り付くように、または水面下を漂っているため、潮流の影響を受けやすい。これら3種類の湾内における分布パターンはよく似ていることから、これらの発生源や発生時についても類似している可能性が考えられた。



図II-35 漂流ごみの種類別平均密度の月別変化

表II-18 相模湾における漂流ごみの種類別分布傾向

種類\調査月	4月	6月	8月	10月	12月	1月
発泡スチロール	東	東	西	全体	西	西
レジ袋		西	西	中央	西	
ペットボトル	東	東西	西	西		
食品包装材	東西	東西	西	東	西	西
その他プラスチック	東西	東西	西	中央	西	西