



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	二種類のニューストーンネットによるプラスチック粒子採集と海洋のプラスチック汚染
Author(s)	小城, 春雄; OGI, Haruo; 馬場, 徳寿 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 50(2), 77-91
Issue Date	1999-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24186
Type	departmental bulletin paper
File Information	50(2)_P77-91.pdf



二種類のニューストーンネットによるプラスチック粒子採集と
海洋のプラスチック汚染

小城 春雄¹⁾・馬場 徳寿²⁾・石原 昭治³⁾・柴田 康行⁴⁾

Sampling of Plastic Pellets by Two Types of Neuston Net and
Plastic Pollution in the Sea

Haruo OGI¹⁾, Norihisa BABA²⁾, Shoji ISHIHARA³⁾
and Yasuyuki SHIBATA⁴⁾

Abstract

A new type of neuston net (OBI neuston net) was used to determine the density distribution of floating plastic pellets on the sea surface. The net measurements were as follows: rectangular net mouth, 20×50 cm; mouth area, 1,000 cm²; net length, 2.5 m; mesh size in forward 1.5 m from mouth, 1.8 mm; and mesh size in rear 1 m of net, 0.3 mm. Tests in a circulating water channel showed that a towing speed of 2 knots had the highest filtration efficiency (120%). When the net was towed in the field, it was modified to maintain the middle of the net mouth at the sea surface by attaching buoys and ski-like boards. Another neuston net (JM neuston net; net mouth, 50×50 cm; net length, 3 m; mesh size, 0.3 mm) was tested simultaneously with the OBI net in the circulating water channel and in the field. To assess the distribution and abundance of plastic debris in the ocean, a net towing time of 10 minutes was sufficient for both neuston nets.

Recently the distribution and abundance of plastic debris in the ocean have drastically increased year by year as plastic production has increased worldwide. A worldwide monitoring system in the ocean is needed immediately to reduce plastic pollution in the future.

Key words: Plastic pellets, Resin pellets, Fragments of plastic products, Neuston net, Plastic pollution, Marine pollution

はじめに

Carpenter and Smith (1972) は、北大西洋のサルガッソ海で行った海洋表層に浮遊するプラスチック粒子の分布調査で、1 km² 当たり平均 3,537 個 (範囲: 47~12,080, 観測点数 n : 11) のレジ

¹⁾ 北海道大学水産学部生物海洋学講座
(Laboratory of Biological Oceanography, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 3-1-1 Minatocho, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan)

²⁾ 水産庁遠洋水産研究所
(National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1 Orito, Shimizu, Shizuoka 424-0902, Japan)

³⁾ 日本エヌ・ユー・エス NUS 株式会社
(Japan N.U.S. Co., Ltd., Loop-X Bldg., 8F, 3-9-15 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 108-0022, Japan)

⁴⁾ 国立環境研究所動態化学環境部
(Environmental Chemodynamic Section, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba 305-0053, Japan)

ンペレットやプラスチック製品類の小破片を見出した。この事実は、プラスチック類による海洋汚染問題を世界の人々に考えさせる端緒となった。使用されたネットは、網口が円形、直径 1 m、網目幅 0.33 mm で、曳網速度は 2 ノットである。

レジンペレット (Resin Pellet) とは、プラスチック製品を作る製造工場で圧縮成形、射出成形などのように、密閉金型中でプラスチック製品へと成形するのに適したプラスチック原材料をいう。形態は粉末状、粒状、ペレット状、ペースト状、チップ状等種々あり、可塑剤、安定剤、充填材、着色材などが既に配合されている。この内、長径約 2~5 mm 程度の、粒状やペレット状のものを総称してレジンペレットという。プラスチック工業界では、レジンペレットではなく成形材料 (Moulding Material, Moulding Compound, Compound) (牧ら, 1987), あるいは樹脂ペレット (Resin Pellet) (Anon., 1991) とよんでいる。しかし、現在では内外を問わず、レジンペレットといえばプラスチックの成形材料のことを指すので、本報ではこの語を用いる。

レジンペレットが海岸線から遠く離れた外洋表層域で見出されたということは、石油コンビナートで作られたレジンペレットが、プラスチック製品を作る工場まで輸送される過程、あるいは製品を作る工場での取扱い過程等において、何らかの理由で環境中に漏出し、下水や河川を通じて河口域へと流れ下り、潮流、海流、吹送流に運搬され外洋域にまで達したことを意味している。

Carpenter et al. (1972) は、北米東岸のニューイングランド沿岸域でも、プランクトンネットの傾斜曳き (網口が円形、直径 0.5 m、網目幅 0.33 mm) 採集標本中より、レジンペレットであるポリスチレン粒子 (Polystyrene Spherules) をはじめとするプラスチック粒子類を、かなりの数量見出した。1 m³ 中に 14.1 個の粒子が見出される観測地点もあった。彼らは、これらプラスチック粒子が、その表面に海水中の有機塩素化合物類 (PCB's) を、化学的親和性により吸着すること、そして微小なプラスチック粒子が同時に採集された魚類幼稚仔の消化管中に取り込まれていることも見出した。

海鳥類によるパイカ現象に起因したレジンペレットやプラスチック製品破片の取り込みも注目された (Rothstein, 1973)。

Colton et al. (1974) は、北米東岸のボストン東方のゴッド岬よりカリブ海一円の沿岸沿いにおいて行われた稚魚採集用のニューストーンネット (網口 2 m × 1 m の長方形、網目幅 0.947 mm、曳網速度 5 ノット) の曳網結果から、レジンペレットは北緯 40 度周辺の工業地帯沿岸の大陸棚海域に多いことを見出した。透明なレジンペレットだけでも 166,991 個/km² の密度に達する採集地点があった。

Wong et al. (1974) が、1972 年に北太平洋の北緯 35 度線を日本から米国西岸までの間の 37 地点で行ったニューストーンネット (網口 80 cm × 30.5 cm の長方形、網目幅 150 μm、曳網速度 4~5 ノット、曳網時間 10~15 分) 採集では、21 地点からプラスチック粒子を見出し、その内の最高密度は 1 km² 当たり 34,000 個であった。この報告が、北太平洋でのプラスチック粒子の分布を、初めて明らかにしたものである。

Morris and Hamilton (1974) は、英国のプリストル海峡において海底直上より海表面までの傾斜曳きのプランクトンネット (Lowestoff Plankton Sampler, 網目幅 0.27 mm) 採集により、ポリスチレン粒子の分布を調査した。1 m³ 当たりの密度はカーディフ (Cardiff) 沿岸の Holm Islands 周辺では 198.0 個であったが、海峡の西側の Carmarthen Bay と Bridgewater Bay を南北に結ぶ線上では 0~0.5 個にまで減少していた。これらは全てレジンペレットであり、彼らはそれらの大部分が製造工場から漏出したと推察した。海底堆積物調査ではポリスチレン粒子の分布は極めて偏在し、Holm Islands 近くの調査地点では海底 1 m² 当たり 20,000 個も見出された。このポリスチレン粒子の比重は 1.08 であり、海底に着定していたばかりでなく、海底から海表面までの中層に浮

遊していたことになる。これら比重の重いレジンペレットが中層に浮遊している原因は、表面に付着珪藻が付きそれらが光合成を行うため空気の微小な気泡が生じ、それによって浮力を増すためであると考えられる。また、海底に生息する多毛類の一種 *Melinna cristata* がすむ住管には、砂粒や海藻の破片とともにレジンペレットも組み込まれていた。Bridgewater Bay でも同様に、*Sabellaria alveolata* が住管にレジンペレットを利用しているばかりでなく、カレイ類の一種 *Platichthys flesus* の 0+ と 1+ 歳魚は、胃中にレジンペレットを取り込んでいた (Kartar et al., 1973)。

Carpenter and Smith (1972), そして Carpenter et al. (1972) 等の研究を嚆矢として、外洋域のプラスチック粒子汚染の実態が明らかになるとともに、以後、海岸に漂着するプラスチック粒子についても注目された。Cundell (1973) は、米国のロードアイランド州、ナラガンセット湾の砂浜海岸におけるレクリエーション活動により、投棄されて散乱したプラスチック容器汚染の深刻さを報告した。

Gregory (1977) は、ニュージーランドの海岸に大量のレジンペレットが漂着していて、その数量はウエリントン (Wellington) やオックランド (Auckland) 等の工業都市周辺の海浜に多く、殆どがポリエチレンやポリプロピレンであると報告した。その分布数は、ウエリントン周辺の海岸では 1 m 当たり 40,000 個以上の地点があり、またオックランド周辺の海岸でも 1 m 当たり 1,000 個を越す地点が普通であった。

何らかの理由で沿岸海域に達したプラスチック粒子類は、風系や海流系に強く影響を受けて、やがては海洋の大循環に取り込まれ、外洋域に孤立する離島の海岸まで達している (Wong et al. 1974; Shaw and Mapes, 1979)。事実、南太平洋の、フィジー諸島 (Fiji Islands), サモア諸島 (Samoa Islands), クック諸島 (Cook Islands) 等の、外洋域に孤立した離島の海岸域にまで、ポリエチレンやポリスチレンと言ったレジンペレットが大量に漂着し注目されている (Gregory, 1990)。我が国では、小笠原諸島父島の大村湾に面した砂浜海岸で、一調査地点の 40×40×5 cm の方形枠中より、314 個のレジンペレットを含む、合計 10,866 個ものプラスチック粒子が見出された (小城, 1995)。また、琉球列島の宮古島でも、黒潮分派流が沖合を流れる北側の海岸では、大量のプラスチック製品類や、それらの破片、そしてレジンペレットが見出されている (小城, 未発表データ)。

以上まとめると、海洋のプラスチック汚染の現状は、① 海岸散乱(海岸域や内陸区域での投棄や漏出による)、② 海岸漂着、③ 海表面漂流、④ 海中漂流、そして⑤ 海底堆積と五つに分類できる。

これまでの海洋表層におけるプラスチック粒子の分布調査においては、採集器具が様々であり、多くの場合本来目的とする生物採集時の付加的採集物としてプラスチックの粒子が扱われていた。

以上の背景から本研究では、プラスチック粒子採集に適した採集器具を試作し、既に我が国で使用された既存のプラスチック粒子採集用のネットと、実際の現場で同時に曳網することにより採集結果を比較するとともに、海洋表層に浮遊するプラスチック微小粒子の採集における問題点を指摘し、そして論議した。さらに、近年の海洋におけるプラスチック粒子汚染の分布傾向について言及した。

材料と方法

海表面に浮遊する直径 2~3 mm 以上の代表的なプラスチック粒子であるレジンペレットを適切に採集するための、ニューストーンネットを試作した。このニューストーンネットの設計段階における、濾水効率、適切な曳網速度、曳網時の安定性、曳網方法等の実験は、北海道大学水産学部

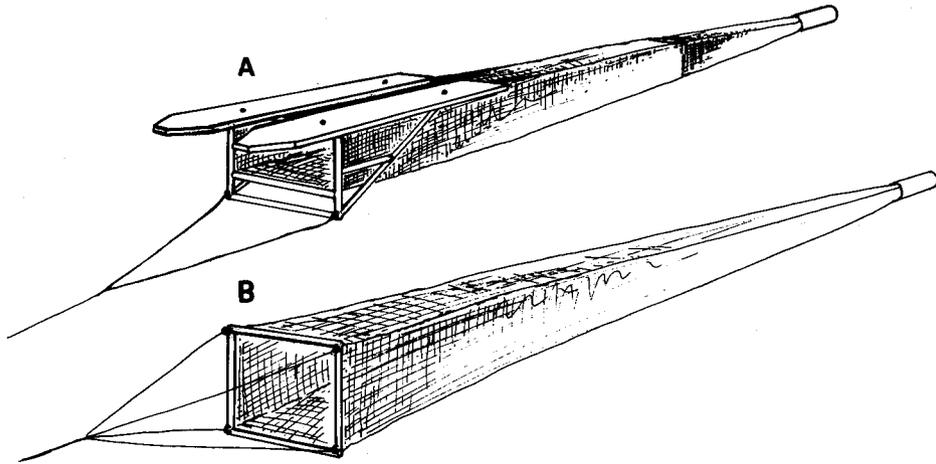


Fig. 1. A sketch of neuston nets.
1A: OBI net, 1B: JM net.

内の回流水槽で行った。2回の改良後に完成したネットを Fig. 1A に示した。本報では、以下このネットを「OBI ネット」と呼ぶ。

この OBI ネットと、水産庁が 1991~1994 年の間、主として外洋域におけるプラスチック粒子の分布を明らかにするために使用したニューストンネット (Fig. 1B: 本報では以下 JM ネットと呼ぶ) との性能を比較するための曳網比較実験は、水産庁の水産工学研究所の回流水槽において行った。

この結果を基に、曳網方法や曳網速度を決めて、実際の海洋においてさらに比較のための同時曳網実験を行い、プラスチック粒子の採集効率や分布密度の評価方法、両ネットの有効性を検討した。

さらに、海洋におけるプラスチック粒子汚染についての現状と問題点について論議した。

本文中での統計学的検定は、パソコンソフト Excel で行い、有意水準を全て $P=0.05$ とした。

結果と考察

プラスチック採集用ニューストンネット (OBI ネット) の試作と性能試験

海洋表層に浮遊するプラスチック粒子の分布実態を知る目的から、曳網時にネットの開口面が常に海面を捉えていること、風力 4 程度の海況でも曳網が可能なこと、得られた標本処理に時間を要しないこと、船上での取り扱いが簡単であること、2ノット程度の曳網速度で最大濾過効率が上げられること、そして代表的なプラスチック粒子であるレジンペレット (直径約 2 mm 以上粒子) を確実に採集できること等を念頭に置き設計した。試作した OBI ネットの仕様は、Fig. 1A に示したように、開口面である網口は中空のステンレス管 (外径 13 mm) 製で内寸はヨコ 50 cm × タテ 20 cm、上面に木製の水面キャッチ板を二枚取り付けられるようにステンレス管を工夫した。網口からコードエンドの末端までは 2.5 m、網口から 1.5 m までは網目幅 1.8 mm の網地、それ以降のコードエンドまでの長さは 1 m でこの部分は網目幅 0.33 mm (GG54) の網地を使用した。ソーティング時にレジンペレットと識別できる最小粒子が、直径 1.5 mm であること、そして肉眼や実体顕微鏡下でプラスチック粒子と判断できる最小のサイズが約 0.3 mm であることを配慮し

た。水面キャッチ板の長さや、曳網時のワイヤーの取り付け位置などの調整は、北海道大学水産学部内の回流水槽を使用して行った。なお、OBI ネットの設計に当っては、詳細な流体力学的検討はおこなわなかった。

濾過水量と流速に対する OBI ネットの反応試験では、JM ネットと同条件下で使用した。この JM ネットは日本の水産庁が 1991~1994 年の間、「漁船活用型地球環境モニタリング事業」の名の下に、1992 年から 1995 年の間、世界の海洋のプラスチック粒子汚染状況を調査した際に、使用したものである。その仕様は、網口の開口面だけが中空のステンレス管（外径 13 mm）で作られていて、内寸はタテ 50×ヨコ 50 cm であり、ネットの開口部よりコッドエンドの間の長さは 3 m であり、網部分は全て網目幅 0.33 mm (GG54) の網地である (Fig. 1B)。これら二つのネットの性能試験は、水産庁水産工学研究所の回流水槽で行った。なお、この試験時には、両ネットにフロート（浮子）を装着しなかった。

OBI ネットと JM ネットの回流水槽における流速別、およびネット枠から網地を取り除いた場合（無網時）とそうでない場合（有網時）の濾水計回転数の結果を Table 1 に示した。両ネット共に 1 ノット時では、開口部が水面下に没し、流速不足であった。一方、3 ノットでは開口部が上がりすぎたり、開口部の流入が乱流様になったり、ネットの袋部分に空気がたまるなど、流速が大き過ぎて曳網が不安定となった。特に、3 ノット時には OBI ネットでは濾水計回転数が著しく低下した。2 ノットの流速時において、両ネット共に濾過効率 F ($F=w/AD$: w , 実際の濾過水量; A , 網口面積; D , 曳網距離) (UNESCO, 1968), および流速に対するネットの安定性が最も優れていた。特に OBI ネットでは濾過効率は 1.20 であり、JM ネットの 1.03 を上廻っていた。注目すべきことは、両ネット共に 1 ノットでも 2 ノットでも有網時の方が、無網時より濾水計の回転数が高く濾過効率が良くなったことである。この効果はおそらく、ネットの網目を海水が通過することによる流線の安定化のため、濾水計のプロペラに作用する力が一定化して回転効率が良くなるという、一種の吸引効果が生じたためであろう。濾過効率から見ると OBI ネットは 2 ノット時に JM ネットより優れていたものの、JM ネットは有網時の濾水計回転数が流速の変化に応じて極めて良く対応していたことが注目された。

Table 1. The number of revolution of flowmeter (n/min) by OBI net and JM net at different water speeds in a circulating water channel.

Net Type Water Speed	OBI net		JM net	
	without net	with net	without net	with net
1 knot	258.5	352.0	265.0	308.0
2 knot	606.5	729.0	641.0	662.0
3 knot	883.0	784.0	945.0	912.0

Table 2. The results in ANOVA on the number of revolution of flowmeter for OBI net with and without a net at different water speeds.

Source of Variation	Sum of Squares	df	Variances	F	P
Water Speed	291,951.6	2	145,975.8	20.1440	0.047
With or Without a net	2,281.5	1	2,281.5	0.3148	0.631
Interactions	14,493.3	2	7,246.6		
Total	308,726.3	5			

Table 3. The results in ANOVA on the number of revolution of flowmeter for JM net with and without a net at different water speeds.

Source of Variation	Sum of Squares	df	Variances	F	P
Water Speed	414,745.3	2	207,372.7	271.1935	0.004
With or Without a net	160.2	1	160.2	0.2095	0.692
Interactions	1,529.3	2	764.7		
Total	416,434.8	5			

Table 4. The results in ANOVA on the number of revolution of flowmeter between OBI and JM net at different water speeds.

Source of Variation	Sum of Squares	df	Variances	F	P
Water Speed	698,256.3	2	349,128.1	113.4500	1.71×10^{-5}
Net	1,200.0	1	1,200.0	0.3899	0.555
Water Speed × Net	8,440.6	2	4,220.3	1.3714	0.323
Within Samples	18,464.3	6	3,077.4		
Total	726,361.2	11			

OBI ネットの有網時と無網時の流速別回転数のデータを、繰り返しのない二元分散分析を行ったところ、流速が増すにつれ回転数は増加するが、有網と無網間では回転数に有意差が見出せなかった (Table 2)。また、JM ネットについても同様に分散分析を行ったが、結果は OBI ネットの場合と同じであった (Table 3)。そこで、各曳網時間別に有網時と無網時の回転数を一群として、繰り返しのある二元分散分析を行った (Table 4)。結果は、流速が増すにつれて回転数は増加したが、OBI ネットと JM ネット間での回転数の違いは見出せなかった。ネットと流速の交互作用は有意でないで、流速は 2 つのネットに同じように影響していると考えられた。実験からは OBI, JM ネット共に同等の濾過効率を持つ結果が得られた。

以上の結果から洋上での曳網速度は両ネット共に 2 ノットと決定した。また、実際にフィールドでのネットの使用に際しては、両ネット共に濾過効率は 1 と仮定した。

OBI ネットと JM ネットによる洋上におけるプラスチック粒子同時採集比較

実際にフィールドで曳網する場合には両ネット共に開口面の中間に海面が常に定位するように漁業用のフロートを装着した。すなわち、OBI ネットには、網口の中間、すなわちタテ 10 cm のところに、そして JM ネットは網口の中間、すなわちタテ 25cm に海面が定位するように、漁業用のフロートを取り付けた。なお、OBI ネットには、水面キャッチ板の前方下面にもフロートを取り付け、ネット全体が曳網時に水面下に引き込まれないように調整した。したがって、網口の実際の濾水断面積は OBI ネットで 0.050 m²、JM ネットで 0.125 m² であり、OBI:JM=1:2.5 である。

洋上での調査は水産庁用船第 38 歓喜丸による調査航海中の 1995 年 4 月 9 日～4 月 21 日、37°～41°N, 137°～142°E で囲まれる海域内における 6 調査地点で行った。ネットの曳網は海況が風力 3 以下の日を選び、OBI ネットと JM ネットを一調査地点において並列に設置し、同時に 10 分間、

30 分間, 60 分間 と曳網した。調査地点では両ネットを時間を変えて同時に曳網したので, 一調査地点の海域でのプラスチック分布密度は等しいものと仮定した。調査によって得られたプラスチック粒子の個数を Table 5 に, そして重量を Table 6 に示した。

Table 5 の曳網時間別, およびネット別に採集されたプラスチックの合計数に注目すると, JM/OBI 比は 10 分間曳網で 2.35, 30 分間曳網で 2.54, 60 分間曳網で 2.59 となっていた。これらの比は上述した濾水断面積の両ネット間の比にほぼ等しかった。このことはプラスチック採集数は濾水量に比例して増加することを強く示唆している。海洋表層に浮遊するプラスチック粒子類は, 海表面だけに浮遊しているのではなく, 表層の水柱のどの深度にも浮遊していることも意味する。従って, 海洋表面におけるプラスチック粒子の採集器具は可能な限り濾水量を正確に推測できる性能にすることが望ましい。できれば採集ネットの網口は, 円形や楕円形ではなく, 角型にするのが良いであろう。もし, 分布密度を曳網面積当たりの値として表示する場合には, 必ず平均的な曳網深度を明記するべきである。また, 網口が円形のネットは, 水面を網口に含める場合には望ま

Table 5. The number of plastic pellets sampled by three simultaneous towings of OBI net and JM net at the same station.

Towing time Station	10 min.		30 min.		60 min.	
	OBI	JM	OBI	JM	OBI	JM
Stn. 1	1	20	4	8	1	67
Stn. 2	1	19	13	52	21	61
Stn. 3	3	7	5	7	19	67
Stn. 4	28	101	48	162	52	172
Stn. 5	6	5	6	10	30	52
Stn. 6	66	95	73	140	235	510
Total	105	247	149	379	358	929
Average	17.5	41.2	24.8	63.2	59.7	154.8
SD	10.6	18.2	11.8	28.8	35.7	73.3

Table 6. The weight (g) of plastic pellets sampled by three simultaneous towings of OBI net and JM net at the same station.

Towing time Station	10 min.		30 min.		60 min.	
	OBI	JM	OBI	JM	OBI	JM
Stn. 1	+	0.0046	0.0050	0.9008	+	0.0323
Stn. 2	+	0.0125	0.0175	0.0419	0.3882	6.3257
Stn. 3	0.0027	0.0067	0.0022	0.0176	0.0198	0.1125
Stn. 4	0.1290	0.5260	0.0718	0.2059	3.0709	0.7085
Stn. 5	0.0089	0.0035	0.0088	0.0059	0.1497	0.7310
Stn. 6	0.0307	0.0541	0.0407	0.0440	0.3799	1.1483
Total	0.1713	0.6074	0.1460	1.2161	4.0085	9.0583
Average	0.0286	0.1012	0.0243	0.2027	0.6681	1.5097
SD	0.0206	0.0853	0.0111	0.1428	0.4855	0.9782

+ : <0.0001 g

Table 7. The results in ANOVA on the number of plastic pellets sampled by OBI net and JM net at different towing time.

Source of Variation	Sum of Squares	df	Variances	F	P
Towing Time	41,146.7	2	20,573.4	2.5529	0.095
Net	24,701.4	1	24,701.4	3.0652	0.090
Towing Time×Net	8,557.4	2	4,278.7	0.5309	0.593
Within Samples	241,760.2	30	8,058.7		
Total	316,165.6	35			

しくないと考えられた。特に調査のために異なる性能のニューストーンネットを使用する場合には、留意すべき点である。

Table 5 から三つの曳網時間における 2 種のニューストーンネット、OBI ネットと JM ネットの各 6 回のプラスチック粒子採集数について繰り返しのある二元分散分析を行い Table 7 に示した。結果は、曳網時間とプラスチック粒子の採集数の間には有意差はなく、そして 2 種のネット間でもプラスチック粒子の採集数には有意差がなかった。さらには、曳網時間とネット間の交互作用においても有意差がなかった。このことは、どちらのネットでも、曳網時間を長くしても、短くしても、プラスチック粒子の採集効率と同じであることを意味している。すなわち、10 分間の曳網時間でも十分であることが裏付けられた。

一方、Table 6 のネット別に採集されたプラスチックの合計重量に注目すると、JM/OBI 比は 10 分間曳網で 3.55、30 分間曳網で 8.33、60 分間曳網で 2.26 となっていて、個数において見られたような濾水断面積との関係は見られなかった。この原因は、採集されたプラスチック粒子の個々の重量が変異に富んでいるからである。OBI ネットと JM ネットで採集された個々のプラスチック粒子重量は殆どが 0.01 g 以下であり、そこに 1g 以上の粒子が 1 個採集されただけで、重量は大きく跳ね上がる結果となっていた。個々の重量が 0.010 g 以下だけの粒子の割合を見ると、OBI ネットでは合計 589 個で 96.2%、そして JM ネットでは合計 1,506 個で 96.8% を占めていた。これら 0.010 g 以下の粒子をまとめて、ネット別および曳網時間別に JM/OBI 比を見てみると、10 分間曳網で 3.46、30 分間曳網で 1.75、60 分間曳網で 1.97、そして全体では 2.11 となった。結果は、全体を除いては網口面積比とはかけはなれた結果となった。これは、プラスチック粒子の比重の変異幅が大きいためであると考えられた。例えば発泡スチレンの微小粒子は数百個出現しても、重量は 0.0001 g にも達しない場合があるためである。従って、重量に関しては、濾過水量との関連は無視して良いと考えられた。

舷側での OBI ネット、および JM ネットの同時曳網時の観察から、曳網時間が 10 分を経過すると OBI ネットは目合 0.33 mm の部分、そして JM ネットはネット全体が植物プランクトンの付着により褐色となった。とくに、JM ネットでは目視によると、明らかにネットの濾水効率が悪くなるらしく、開口部に接近した流れが網口を回避していた。0.33 mm 目合のネット地はプランクトン研究分野では動物目合として知られている。北太平洋標準プランクトンネット (North Pacific Standard Net: Norpac Net, 通称ノルパックネット) では水深 150 m より海表面まで 1 m/sec の速度での鉛直引きにより動物プランクトン採集に多用されている (日本海洋学会 1970)。この場合の 150 m を鉛直的に曳網することは、網目の微生物による目詰まりの影響を防ぐ限界に近い距離なのであろう。

実験的には曳網時間とプラスチック粒子採集数は、濾水量からみて正比例関係にあると推測さ

れたが、実際のプラスチック粒子の採集数は、濾水量から期待される採集数より両ネット共に少なかった。その少なさの範囲を見ると、JM ネットは多い方に偏り、そして OBI ネットは少ない方に偏っていた。これは曳網時に小さな波やうねりに遭遇した場合、JM ネットは完全に水面下に没する傾向にあるのに対して OBI ネットは水面キャッチ板があるため水面上に飛び上がる傾向があったためと考えられた。すなわち風力 3 以下の海況下で曳網した場合でも、JM ネットは推定濾水量より実際の濾水量が増加したのに対して、OBI ネットは推定濾水量より実際の濾水量が低下していたものと考えられた。

洋上での 60 分間曳網して得られたプラスチック粒子の個体数も重量も、10 分間曳網して得られたそれらを、単純に 6 倍した値とはなっていない。もし、長時間ネットを曳網した場合、濾水効率下がれば、相対的に見れば単位濾過水量当たりのプラスチック採集数は少なくなるはずである。そこで、曳網時間の変化によるプラスチック採集数の変化傾向を検討するために、OBI ネットで 10 分間曳網したときの濾水量当たりのプラスチック採集数に Table 5 の値を全て変換し、プラスチック粒子数の平均値を算出し、以下のように平均値間の比較を行った。

曳網時間別の OBI ネットと JM ネット間では、いずれの場合でも有意差は見出せなかった (10 分曳網: df 5, 5, $F=2.1161$, $P=0.2150$; df 10, $t=0.0806$, $P=0.9374$, 30 分曳網: df 5, 5, $F=0.1672$, $P=0.0359$; df 10, $t=1.2331$, $P=0.2457$; 60 分曳網: df 5, 5, $F=4.1965$, $P=0.0708$; df 10, $t=1.1688$, $P=0.2696$)。そこで更に、曳網時間別の OBI ネットと JM ネットの採集を混みにして、プラスチック採集数の平均値を算出し、曳網時間別に平均値間の比較を行ったが、いずれの場合にも有意差は見出せなかった (10 分曳網と 30 分曳網間: df 11, 11, $F=8.2944$, $P=0.0007$; df 14, $t=1.7187$, $P=0.1077$; 10 分曳網と 60 分曳網間: df 11, 11, $F=0.2039$, $P=0.0069$; df 22, $t=1.4619$, $P=0.1579$; 30 分曳網と 60 分曳網間: df 11, 11, $F=1.6914$, $P=0.1984$; df 22, $t=0.3780$, $P=0.7090$)。この結果は、OBI ネットと JM ネット間では、プラスチック採集効率に差がないばかりでなく、曳網時間を変化させても採集効率に差がないことを示していた。実際、洋上で OBI ネットと JM ネットを同時に曳網した時の、目視観察による明らかな濾水効率の差がまるで見られない結果となっていた。つまり、プラスチック粒子採集には、両ネットともに曳網時間を、30 分間や 60 分間と長くする必要は全くなく、10 分間曳網でも十分であることを示唆していた。また、この結果は曳網時の目視観察が正しければ、濾水効率は初めの 10 分間だけ正確に機能するものの、後の曳網時にはネットは全く機能していないとも解釈できる。何故このような結果となったかについては不明であり、今後の検討が望まれる。

以上の結果から、先に述べた Carpenter and Smith (1972) が使用したニューストンネットの曳網時間は、0.50 時間から 6.50 時間までというように極めて長時間であり、ネットの網目幅は 0.33 mm、そして網口は円形のネットであった。彼らのサルガッソ海におけるプラスチック粒子の分布密度に関しては、再検討の必要があると考えられた。

採集物のソーティング時間

OBI ネットおよび JM ネットを曳網して得られた採集物は、船上で標本瓶に移し、海水ホルマリン溶液 (5~10%) で固定し、実験室に持ち帰った。実験室で、採集物は吸引濾過器に取り付けた、外径 145 mm のビフネルロート (Buchner Type) の濾紙上にあげ、水道水を加えながら吸引し、海水とホルマリンを除去した。この間に油塊やオイルボールがある場合には、ピンセットやへらで取り除いた。さらに、プラスチック粒子のぬめりを除去するために、エタノール溶液 (99.5%) をふりかけ、水道水を加えて吸引した。濾紙上の水分が抜けたら、吸引を止めて濾紙を破らないように採集物とともに取り出し、あらかじめ風袋を秤量したパラフィン紙に乗せ秤量した。そして、ガラス製の大型シャーレ (外径 21 cm 以上) へと、パラフィン紙上の採集物を清水とともに

Table 8. Sorting time (min.) of plastic pellets from each sample.

Towing time	10 min.		30 min.		60 min.		
	Station/Net	OBI	JM	OBI	JM	OBI	JM
Stn. 1		30	30	50	80	30	60
Stn. 2		30	60	40	60	40	80
Stn. 3		20	50	120	40	50	90
Stn. 4		90	85	80	120	160	140
Stn. 5		20	20	25	30	40	70
Stn. 6		120	110	100	50	300	260
Total		310	355	415	380	620	700

洗い流した。

ソーティング作業は、大型シャーレに清水とともに採集物を移した時から開始した。動物・植物プランクトン類、稚魚類、クラゲ類等が浮遊している中から、プラスチックの微小な粒子をピンセットで個別に取り出し、種類別、色別に小型のバランスディッシュ（プラスチック製の容器）に分別した。この作業の開始から終了までをソーティング時間とした。

前節で解析した OBI ネットと JM ネットによる、同時採集標本の採集地点別ソーティング時間を Table 8 に示した。概ね OBI ネットと JM ネットの同時曳網標本のソーティング時間は、少数の例外はあるものの、類似していた。このことは同時曳網した場合にはその曳網場所でのプラスチック粒子密度は類似していたことを示しているものの、濾水量の差が反映されていない点で奇異に感じられた。10 分間曳網での OBI ネットと JM ネット間での平均ソーティング時間の間には有意差が見出せなかった ($F=1.5877$, df 5,5, $P=0.3121$; $t=0.3376$, df 10, $P=0.7426$)。同様に、30 分曳網でも ($F=1.2789$, df 5,5, $P=0.3969$, $t=0.2898$, df 10, $P=0.7779$)、そして 60 分曳網でも ($F=2.0374$, df 5,5, $P=0.2267$, $t=0.2481$, df 10, $P=0.8091$)、有意差は見出せなかった。

以上の結果からも、OBI ネット、および JM ネットともに、海洋のプラスチック粒子の分布調査には、曳網時間が 10 分でも十分であることを示していると考えられた。

プラスチック粒子採集における問題点

これまでに海洋汚染物質であるプラスチック粒子の海洋における分布を調査した報告に記載されている採集器具を見ると、それらの殆どが動物プランクトン類や魚類幼稚仔を対象とした仕様になっているばかりでなく、採集物から見出されプラスチック粒子を二次的な採集物として扱っているものが殆どであった。そのため曳網方法、曳網速度、曳網時間、ネットの開口部の面積、実際の濾水断面積、ネットの目合等が殆ど全てで異なり、必ずしも海洋に浮遊するプラスチック粒子を統一ある採集法で的確に採集しているとは考えられない。今後のプラスチックの微小な粒子の採集に当たっては、濾過水量を的確に計測できるネットを使用して調査を行うべきである。特に、海表面に浮遊するプラスチックの微小粒子を採集する際には、濾水体积を容易に推定できるようにするため、網口は角型とすべきである。ネットの網目幅は、コッドエンドの部分は 0.3 mm で良いものの、ネットの前方部分は、動植物プランクトン類、クラゲ、ウミタル、その他のゼリー状生物によるネットの目詰まりが意外に大きな効果をもたらす可能性が高いため、1.5 mm 以上にするのが望ましい。曳網時間は、10 分で良いであろう。しかしながら、大きな網目幅の網地をネットの一部に使用することは、ゴミの詰まりの防止には役立つものの、同時にゴミの逸出も生じる

ため、濾水効率にも影響を与えると考えられる。

プラスチック粒子の分布密度を算出する場合、多くの場合曳網時間は10分～30分程度である。もしOBIネットを使用して、速度2ノット、時間10分間曳網したとすると、曳網距離は617 m、曳網面積は308.5 m²、濾水体積は30.85 m³となる。多くの報告で見られるように1 km²当たりの値に換算するためには、得られた実際のプラスチック粒子数を3,241.491倍 (=100万 m²/308.5 m²) しなければならない。プラスチックの採集器具の仕様、採集時の濾過水量、および採集された標本の計測等には細心の注意を払わないと分布密度は大きく増減することになる。

Table 9に、前述した採集地点で得られたプラスチック粒子の分布密度を、曳網時間別、そしてネット別に示した。ネットの網口の面積から推定される濾水量を考慮しないで、OBIネットとJMネットによる分布密度を比較すると、ほとんどの場合JMネットでの分布密度がOBIネットによるそれより大きな値となっていた。ところが、OBIネットの濾水体積当りの分布密度に、JMネットの分布密度を変換してみると、多少の違いはあれ同時に曳網したネット間の差は小さくなり、近似する傾向が窺えた。このことから、ネットの網口の形状と面積は、濾水量を決定するので、プラスチック粒子の分布密度を推定する際には十分考慮を払う必要がある。なお、同時に曳網したネット間で大きな差がいくつか見出されているのは、ネットの性能よりも、プラスチック粒子の分布が一様ではないことを示している可能性が高いと考えられた。これまでに紹介したプラスチック粒子の分布密度を扱った多くの報告例では、使用したネットのサイズを付記してきたが、ただ記すだけでなくネットによる曳網距離と実際に網口を通過する濾水量を考慮しての分布密度を算出すべきである。すなわち、単位面積当りのプラスチックの分布密度を表示する場合には、網口を実際に通過する水量を明記すべきである。OBIネットでのプラスチック分布密度は、1 km²×1 km×0.1 m当りのプラスチック個数 (Table 9) ということになる。

さらに付け加えれば、外洋域でのプラスチック粒子採集のためには大型船舶を使用しなければならない。しかし、2ノットという低速度で連日曳網することは、調査船においては調査海域の範囲を狭める原因ともなる。また低速航行は、船が大型になるほど操船が難しくなる傾向があり、曳網の軌跡を直線にとることが難しくなる。したがって、他の調査目的から見てどうしてもプラスチック採集作業は、優先順位が低くなり、割り当てられる時間は短くならざるを得ないという問題もある。また、採集物のソーティングには意外な人手と経費がかかるという障害もある。

Table 9. Density of plastic pellets (n/km^2) based on the filtered water volume per OBI net. Density values in parenthesis were calculated by the filtered water volume of JM net.

Towing time (min.)	10 min.		30 min.		60 min.	
	OBI	JM	OBI	JM	OBI	JM
Stn. 1	3,240	25,918 (64,796)	4,320	3,456 (8,640)	540	14,472 (36,180)
Stn. 2	3,240	24,622 (61,556)	14,040	22,464 (56,160)	11,340	13,176 (32,940)
Stn. 3	9,719	9,071 (22,678)	5,400	3,024 (7,560)	10,260	14,472 (36,180)
Stn. 4	90,714	130,888 (327,219)	51,840	69,984 (174,960)	28,080	37,152 (92,880)
Stn. 5	19,439	6,480 (16,199)	6,480	4,320 (10,800)	16,200	11,232 (28,080)
Stn. 6	213,827	123,112 (307,781)	78,840	60,480 (409,320)	126,900	110,160 (275,400)

プラスチックによる海洋汚染の現状と問題点

海洋における汚染物質であるプラスチック粒子の増加は、世界のプラスチック生産量の経年別生産量の指数関数的増加(根本ら, 1995)を見れば誰でも理解できるように、今後も続くことは確実である。これまでの世界の累積プラスチック生産量は正確には把握できないものの、1940年以降の各国の年間生産高を加算してみれば恐らく30~40億トンにも達していると考えられる。我々の生活環境にはプラスチック製品が溢れている。大量生産、大量消費は、必然的に大量廃棄の道を進む。廃棄されたものが適切に処理されていけば問題はないが、現実には微小化したプラスチックの破片はかなりの量が環境中へと漏出し、最終的には沿岸海域に達し、やがては海洋の大循環に取り込まれ外洋域にまで達している。

海洋におけるプラスチック微小粒子の驚くべき増加傾向は、研究者がいくら客観的なデータを羅列したところで、その深刻さは一般の理解するところとはなかなかならない。むしろ、カメラやビデオカメラで撮影された映像の方が影響は大きく、かつ訴える力は大きい。例えば、小林(1995)が写真集『海中記』の中で撮影した、沿岸域の潮目に吹き寄せられ浮遊するプラスチックゴミの中にあるアミモンガラ幼魚の写真などは、プラスチックゴミの現状を身近に感じ、多くの人達に理解を得る格好の資料である。また、比重が海水より大きく海底に達したプラスチック廃棄物としては、潜水調査船「しんかい6500」が日本海溝の水深6,270mの地点で発見した「マネキン」の映像は衝撃的である(藤岡ら, 1993)。1991年7月15日に初めて発見されたが、翌年7月19日にも同一地点で再度観察された。一年間に堆積物の被覆が増え、後頭部にはウミシダが付着していた。プラスチック汚染は表層だけではなく、中層、および深海の海底にまで及んでいる深刻な現状を認識するべきである。プラスチックによる海洋汚染に関しての、一般の人々の理解を深めるための教育啓蒙が必要である。

北太平洋域のプラスチック汚染については、Day and Shaw(1987)が微小粒子の平均分布密度を海域間で比較したところ、亜熱帯域が最も高く、亜寒帯域の28倍、そしてベーリング海の960倍となっていた。さらに、1985年に西経155度ラインを南北に調査した結果(使用したニューストンネットは、網口は直径1.3mの円形、ネット長4.4m、網目幅は網口より3mまでは3.0mm、以下コードエンドまでは0.33mm)、微小プラスチック粒子分布はアラスカ海流域では若干高く、アラスカ環流域では極めて低いが、亜寒帯海流域、移行領域、と南下するに従い次第に高くなり、亜寒帯境界の南側では高い値となった。

さらに、Day et al.(1990)は、1985~1988年の間に種々の採集器具を用いて水塊別にプラスチック粒子の分布密度を明らかにするため調査した。それによると分布密度(n/km^2)は、日本周辺海域では $74,700 \pm 73,800$ (SD)個、亜熱帯海域では $61,000 \pm 74,000$ 個、移行領域では $57,900 \pm 72,800$ 個、亜寒帯海域では $12,800 \pm 22,300$ 個、ベーリング海では 100 ± 600 個であった。これらの結果は、北西部北太平洋では、黒潮に起源を持つ東流する海流域で粒子密度が高く、この流れより遠ざかるにつれて粒子密度が低くなっていることを示しているとともに、プラスチック汚染物質の供給源が、主として東南アジアにあることを示唆している。

最近のプラスチックの微小な粒子の汚染が著しく進行している例としては、1994~1995年の間に、北海道南東部沿岸域における87地点でOBIネットを使用して調査を行った結果がある。平均粒子数は $1 km^2$ 当たり $493,972 \pm 1,564,582$ (SD)個で、範囲は0~9,894,044個であり、プラスチック粒子が見出されなかった調査地点は僅か2点であった(小城, 未発表記録)。すなわち、 $1 km^2$ 当たり平均49万個、最大数は989万個にまで達していた。

1990年代頃より海洋のプラスチック汚染分布に関しての報告が、先進国から発表されなくなった。1970年代初めの頃の活気は現在では全くない。汚染が進行している現在の方が、研究の必要

性は高まっている、にも拘わらずである。この原因は、研究者にとってプラスチック汚染物質の海洋における分布の調査は、研究として発展性がないのと、いくら研究してもモニタリング調査としては価値があるものの、そこから得られる結論は学問的価値と言うよりはむしろ社会科学的価値の方が大きく、研究者としては戸惑いを感じてしまう。

先に述べたように琉球列島の宮古島海岸、小笠原諸島父島の海岸、そして山口県の日本海側海岸等の、黒潮に起源を持つ分派流や対馬暖流に面した海岸でプラスチック粒子の漂着が多い。これらのプラスチック汚染物質の大部分は、東南アジアの新興工業国、中国、台湾、韓国等の沿岸域に漏出したものが、黒潮に運搬されて、我が国周辺の海岸に到達したと考えられる。これらの国々は、工業化を急ぐあまり、環境対策が等閑にされている傾向があると指摘されている（伊澤、私信）。

何よりも大きな問題は、海洋に浮遊するプラスチック粒子については、製造元は不明、何時海に流れ込んだかも不明、元の製品も不明、どのくらいの期間海に漂っていたのかも不明、含まれている化学物質の組成も不明、海洋での移動拡散機構も不明等というように、得体の知れない物質の分布や移動の研究に若い人達が魅力を感じないことである。今後の海洋環境保全という観点から見れば、プラスチック汚染の問題は、現状を知って緊急に対策を立てなければならない一大課題である。

我が国での海洋漂流プラスチックの初記載は、折美（1955）による北海道の日本海側におけるロシア製の発泡性プラスチックの取得に関するものであった。実際の調査は、水産庁が1987～1995年の間大規模に行った（Mio et al., 1990, Matsumura et al., 1990, Yukinawa and Mio, 1990）。現在は環境庁が沿岸域で調査を行っているが、調査船組織を持たない官庁のため、海洋域の成果は貧弱であり、政策に反映できる基礎資料とはなっていないようである。

新たな問題としては、最近になってプラスチック製品の氾濫は、内分泌性攪乱化学物質（Endocrine Disrupter：日本では環境ホルモンと呼称されている）が含まれていることによる海洋環境に生息する生物への影響が懸念されている。西川（1998）、および森田（1999）を参考に環境ホルモンを以下の6つに分類した。① PCB, DDT, ダイオキシンのように環境残留性があり、濃縮性の高いもの、② トリブチルスズ化合物（TBT）のように極低濃度でも水生生物に悪影響を与えるもの、およびHg, Cd, Pbなどの重金属類、③ ジエチルスチルベストロール（DES）のように合成女性ホルモンとして強い作用を持つ物質、④ 芳香族工業化学品ビスフェノール A（BPA）、ノニルフェノール（NP）、フタル酸エステル（PAE）など身近に存在する物質、⑤ 食品添加剤やポストハーベストのような有機臭化化合物、そして⑥ イソフラボンのような植物エストロゲン等である。

プラスチック汚染物質から溶け出す可能性の高いのは④のBPA, NP, やPAEである。このうち、PAEは1970年初め頃の日本海や東京湾の調査結果からその濃度は0.1～100 ppbのレベルにあり、PCBやBHCに比べ10～1,000倍であること、そしてPAEは生物分解性が高いため、高等動物よりも動物プランクトンなどの低次動物に対する影響が懸念されていた（立川, 1975）。これら④の化学物質は分解が速やかに行われるとはいえず、現在海洋環境中に存在するプラスチック汚染物質は天文学的な数量と考えられることから、そこから溶け出す内分泌性攪乱化学物質の潜在的供給源として今後注意深く監視して行く必要があると思われる。そのためには公的な研究所なり調査機関が、定常の海洋観測業務の中にプラスチック粒子採集作業を組み込み、他国の同様な機関と連絡を密にとりながら情報を常に公開し、地道に地球規模でのモニタリングを継続することが望ましい。

謝 辞

本研究は、平成4年より平成7年の間、水産庁による漁船活用型地球環境モニタリング事業、および平成10年の環境庁による内分泌攪乱物質による生殖への影響とその作用機構に関する研究等の委託研究費より一部援助を受けた。

水産庁、水産工学研究所におけるネットの性能試験では、当研究所の山田敏夫氏、松下吉樹氏、鈴木秀弥氏等の協力を得たのでお礼申し上げる。

実験室内でのプラスチック粒子のソーティングやデータの整理、および図の作成では、福本由利氏に協力を得たので感謝する。

英文校閲では J. Bower 博士にお世話になったのでお礼申し上げる。

文 献

- Anon. (1991). *An manual on preventing pellet loss*. The Society of the Plastic Industry, Inc., 36 p.
- Carpener, E.J. and Smith, K.L., Jr. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, **175**, 1240-1241.
- Carpenter, E.J., Anderson, S.J., Harvey, G.R., Miklas, H.P. and Peck, B.B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science*, **178**, 749-750.
- Colton, J.B., Knapp, F.D., Jr., and Burns, B.R.. (1974). Plastic particles in surface waters of the northwestern Atlantic. *Science*, **185**, 491-497.
- Cundell, A.M. (1973). Plastic materials accumulating in Narragansett Bay. *Mar. Pollut. Bull.*, **34**, 187-188.
- Day, R.H. and Shaw, D.G. (1987). Patterns in the abundance of pelagic plastic and tar in the North Pacific Ocean, 1976-1985. *Mar. Pollut. Bull.*, **18**, 311-316.
- Day, R.H., Shaw, D.G., and Ignell, S.E. (1990). The quantitative distribution and characteristics of neuston plastic in the North Pacific Ocean, 1985-88. pp. 247-266. In Shomura, R.S. and Godfrey, M.L. (eds.), *Proceeding of the Second International Conference of Marine Debris*, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo., NMFS-TM-SWFSC-154.
- 藤岡換太郎, 竹内 章, 堀内一穂, 岡野 肇, 村山雅史, 堀井善弘 (1993). 日本海溝の陸側海側斜面の地形とテクトニクス. 第9回しんかいシンポジウム報告書, 1-26.
- Gregory, M.R. (1977). Plastic pellets on New Zealand beaches. *Mar. Pollut. Bull.*, **8**, 82-84.
- Gregory, M.R. (1990). Plastics: Accumulation, distribution, and environmental effects of meso-, macro-, and megalitter in surface waters and on shores of the Southwest Pacific. pp. 55-84., In Shomura, R.S. and Godfrey, M.L. (eds.), *Proceeding of the Second International Conference of Marine Debris*, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo., NMFS-TM-SWFSC-154.
- Kartar, S., Milne, R.A. and Sainsbury, M. (1973). Polystyrene waste in the Severn Estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, **4**, 144.
- 小林安雅 (1995). 海中記. 福音館書店, 東京, 190 p.
- 牧 廣, 島村昭治, 松崎清一郎 (1987). 図解プラスチック用語辞典. 日刊工業新聞社, 640+95 p.
- Matsumura, S., Wakata, Y. and Sugimori, Y. (1990). Movements of floating debris in the North Pacific. p. 267-278. In Shomura, R.S. and Godfrey, M.L. (eds.), *Proceeding of the Second International Conference of Marine Debris*, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo., NMFS-TM-SWFSC-154.
- Mio, S., Takehama, S. and Matsumura, S. (1990). Distribution and density of floating objects in the North Pacific based on 1987 sighting survey. p. 212-246. In Shomura, R.S. and Godfrey, M.L. (eds.), *Proceeding of the Second International Conference of Marine Debris*, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo., NMFS-TM-SWFSC-154.
- 森田昌敏 (1999). 精子・精巣に影響を及ぼす化学物質. 日本内分泌攪乱化学物質学会 (環境ホルモン学会) 第二回講演会テキスト, 平成11年2月15日.

- Morris, B.S. and Hamilton, R.C. (1974). Polystyrene spherules in the Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.*, **5**, 26-27.
- 根本 稔, 丹後玲子, 佐尾和子 (1995). (プラスチックを考える. p. 157-188, 佐尾和子, 丹後玲子, 根本 稔 (編)), プラスチックの海: おびやかされる海の生きものたち, 海洋工学研究所出版部, 東京.
- 西川洋三 (1998). 環境ホルモン問題は, 何が問題か. アロマティックス, **50**, 110-126.
- 日本海洋学会 (1970). 海洋観測指針(気象庁編). 427 p.
- 小城春雄 (1995). (微小プラスチックの広がり: 小笠原諸島父島海岸より. p. 75-88, 佐尾和子, 丹後玲子, 根本 稔 (編)), プラスチックの海: おびやかされる海の生きものたち, 海洋工学研究所出版部, 東京.
- 折美 儔 (1955). ソ連のプラスチック. プラスチックス, **6**, 29-33.
- Rothstein, S.I. (1973). Plastic particle pollution of the surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a seabird. *Condor*, **75**, 344-345.
- Shaw, D.G. and Mapes, G.A. (1979). Surface circulation and the distribution of pelagic tar and plastic. *Mar. Pollut. Bull.*, **10**, 160-162.
- 立川 涼 (1975). 合成有機化合物. p. 23-27, 日本海洋学会編, 海洋環境汚染に関連する調査研究の現状と問題点, 日本海洋学会誌特別号.
- UNESCO (1968). *Zooplankton Sampling*. In Tranter, D.J. (ed.), Monographs on Oceanographic Methodology 2, Part I; Reviews on Zooplankton Sampling Methods at Sea, Appendices, 174 p.
- Wong, C.S., Green, D.R. and Cretney, W.J. (1974). Quantitative tar and plastic waste distributions in the Pacific Ocean. *Nature*, **247**, 30-32.
- Yukinawa, M. and Mio, S. (1990). Preliminary report on the distribution of small-sized marine debris in Suruga Bay. p. 325-330. In Shomura, R.S. and Godfrey, M.L. (eds.), Proceeding of the Second International Conference of Marine Debris, 2-7 April 1989, Honolulu, Hawaii U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo., NMFS-TM-SWFSC-154.