

漂着レジンペレットの研究

神沼二真[#]・大竹千代子[#]・蕪山典子[#]

Distribution and Origin of Plastic Resin Pellets as Environmental Pollutants at the East China Sea Area

Tsuguchika Kaminuma[#], Chiyoko Ohtake[#], Noriko Kabuyama[#]

Plastic debris are important marine pollutants. Plastic debris consist of resin pellets and waste plastics. We are particularly interested in resin pellets. We made field survey of resin pellets at nearly 400 sites in 200 beaches in Japan and neighboring countries. The pellets were found at all most all Japan coasts we surveyed and at some beaches of Macao, Hong Kong, Xiamen, the north of Taipei, and Cheju Island in Korea. The number of pellets was more than 1000 pieces per m² on the most abundant beach in Japan. Through further analysis using GC/ECD, endocrine disrupting chemicals, PCBs, DDTs, HCHs and Nonylphenol were detected in selected samples. Biota such as Bryozoa were observed on the surface of pellets washed up on the beaches in subtropical areas. Pellets has been suspected to affect wildlife and human health, but we have no report on affection to human.

Keywords: resin pellets, marine pollution, PCB, DDT

1. はじめに

海岸の砂浜や海洋、河川や岸辺にプラスチックの中間材料であるレジンペレットが漂着したり、浮遊したりしていることは、1970年代から世界的に観察されるようになった^{1), 2), 3)}。われわれはこうしたPlastic Debrisと呼ばれるレジンペレットやプラスチック片には内分泌攪乱物質が含まれていたり、あるいは汚染物が表面に吸着している可能性があると考え、特に海岸漂着レジンペレットの分布状況と汚染物質の有無、野生生物への影響について調査することにした。

2. 方 法

この研究には、分析化学、野生生物、海洋学、海洋漁業資材や廃棄物などの分野を異にする専門家や、ビーチクリーンアップやビーチコーミングのボランティア団体、その他多数の多様な人々が参加し、情報の収集や調査の参加依頼にはインターネットが利用された^{4), 5)}。

漂着レジンペレット調査は1997年から2000年にかけて行った。

漂着レジンペレット調査の組織としては、われわれ自身が直接現地を調査するだけでなく、研究班の共同研究者や、海岸クリーンアップを目的とする民間組織（クリーンアップ全国事務局）に組織的な調査を依頼し、また我々が開設したインターネットホームページ⁴⁾を利用して試料や情報の提供を呼びかけることも試みた。また、インターネットは、調査の呼びかけや地図の掲載だけでなく、環境中のレジンペレットやプラスチック片の問題の解説、調査や研究成果の公開、研究組織など、この問題全体に関わる総合的なホームページとなるようにデザインした。

情報の集約は、レジンペレットの漂着の地理的分布を明らかにするために、収集した試料や観察データをもとにコンピュータによる地図作成システムを独自に開発した^{6), 7)}。このシステムは国土地理院などから出されているデジタル地図データと、市販の地図情報システム、ArcView III, を組み合わせたものである。さらに作成されたデジタル地図をインターネットで配信するシステムを開発した。

2.1 分布状況の把握の方法

採集に際しては、ペレットの分布状況の把握のために、調査する砂浜では、砂浜全体を観察し、最も多いと思われる場所を探し、1m²当たりの数を計測した。また、片手の手のひらを広げた範囲（およそ10cm×10cm）の範囲のペレットを計測し、1m²当たりに換算する方法も採用した。1m²当たり150個を超える場合、あるいは手のひらサイズ

[#] To whom correspondence should be addressed:

Tsuguchika Kaminuma, Kamiyoga 1-18-1, Setagaya, Tokyo, 158-8501, Japan; Tel: 03-3700-1141 ext452; Fax: 03-3700-7592; E-mail: kaminuma@nihs.go.jp

で、2, 3個以上の場合は集積地点と判断した。さらに1m²当たり500個以上の場合や手のひらサイズ4, 5個以上の場合は高集積地点と判定した。また、これ以上の場合を異常高集積地点とよぶことにした。

2.2 試料の採集方法

漂着ペレットの採集方法は、手またはピンセットで採集し、ポリプロピレンの袋に収納し、常温で保存した。特に分析する試料については、慎重に取り扱った。

2.3 分類方法

肉眼によって（あるいは虫眼鏡を利用して）、形状、色、透明感、硬さ、素材などの製造時の属性、および新しさ、劣化の度合い、汚れ、生物の付着などの製造時以降の属性に分類した。素材の分類は目視による判別を行い、部分的に機器で確認したり、顕微鏡による観察も行った。

2.4 素材の判別方法

・赤外吸光分析 (IR)

ペレットの一部を削ってダイヤモンドセルを用いる顕微フーリエ変換IR (FT-IR)、ペレットをフィルム状にしセルに固定して行う顕微FT-IR、さらに、ペレット表面を熱で溶融するプローブ熱分解FT-IR、およびKBrセルを使用するIRを用いて分析した^{8) 9)}。吸収スペクトルからプラスチックの素材を判定する。

・近赤外分光分析法 (プラスキャン、オプト技研社)

プラスキャンがIRと異なる点は、照射に近赤外線を利用することであり、携帯できるアタッチメントを一粒のペレットに近づけ、光を当てるのみで簡単に判別可能であり、非破壊分析でもある^{10) 11)}。この測定器は近赤外線を照射した時の吸収スペクトル強度と波長のデータから多次元空間を作り出し、蓄積している辞書に照らし、測定対象となるプラスチックの組成名を表示する。

採集ペレットと鳥の胃袋の中のペレットをこの方法で分析した。鳥の胃袋の中のペレットは、日本獣医畜産大学の羽山伸一氏に提供していただいた。1995年に羽田沖で採集された鳥類の胃袋から抽出されたプラスチック類と共に、ペレットが試験管の中に、水中で保存されていたものである¹²⁾。

2.5 抽出成分の分析方法

分析試料は、1997～2000年の間に採集した中から、中国、台湾、韓国を含む20箇所で採集したペレットを分析用とした。

採集ペレットからポリプロピレン製ペレットを選択し、抽出成分の分析を行った。1採集地点で十分な数に達しない場合は、近くの複数採集地点から選んだサンプルをあわせて試料とした。

これらの試料から、*n*-ヘキサンによるソックスレー抽出後、抽出液をGC/ECD（電子捕獲検出器／ガスクロマトグラフ）によって分析した。分析法は高田が開発した方法によった¹³⁾。分析項目は、HCHs (α -, β -, γ -, δ -), DDTs (DDT, DDD, DDE) およびPCBs（同族体を含む）である。分析は日本冷凍食品検査協会（財）に依頼した。

2.6 表面分析方法

二次イオン質量分析法 (Secondary Ion Mass Spectrometry, SIMS) は、一次イオンとしてGaイオンビーム（照射量 $1 \times 10^{12}/\text{m}^2$ で照射）を試料表面に照射して、そこから放出される二次イオンの量を質量分析器で分析する方法である¹³⁾。分析はアルバックファイ（株）に依頼した。

3. 結果および考察

3.1 分布状況の把握

3.1.1 海岸における漂着状況

海岸は湘南海岸のように平地の数キロにおよぶ長い砂浜から、1キロメートル未満の岩礁と岩礁の間に点在するポケットビーチ、入り江、岩礁など様々であり、漂着レジンペレットの分布も様々である。

まず、発見が容易な海岸は、細かい砂でできた砂浜であり、かつ、波打ち際ではなく、満潮線（最高潮線）より陸側に位置するところが多い。さらに、海水によって砂浜に運ばれて残った後、風でさらに上方に運ばれ、草等に引っかかるなどのため、草地にもよく見られる。このように、漂着するレジンペレットは、比重が海水（1.03）より軽いことを裏付けている。

次のポイントは、他の漂着ゴミ、海藻や木屑、枯れ草や陸上由来の軽い人工ゴミ（プラスチック片やペットボトル、ストロー、たばこの吸い殻など）と一緒に見つかることが多いことである。海藻の中に成長の過程で取り込まれていることもある。大量の海面の浮遊ゴミに交じっている場合は、岩場や人工的な護岸（消波ブロック）の間に見つかることもある。岩礁や砂利、石ころ、粗い砂で出来た浜辺では残留しにくい。

3.1.2 広域的な漂着状況

今回の研究では、直接、間接に、調査地点は国内国外を含め、211海岸、のべ433地点（繰り返し調査も含む）に及んだ（Table1）（Fig.1）⁴⁾。ここから得られる第一の結論は、日本列島すべての海岸で漂着ペレットが見つかるということである。注意すべきことは「レジンペレットが見つかった」という報告は正しいが、「レジンペレットが無かった」という報告は正確さに欠ける。

正しくは「見つからなかった」、あるいは「見つけれなかった」というべきで、存在している可能性は否定できないのである。繰り返し調査を行った、三宅島の三池浜で

Table1 Number of Beaches and Sites Surveyed

Number	Pacific Side	Japan Sea Side	Islands in Tokyo	Nansei Islands	Other Countries	Total
Beaches	49	58	4	52	48	211
Sites(include repetition)	70	132	109	74	48	433

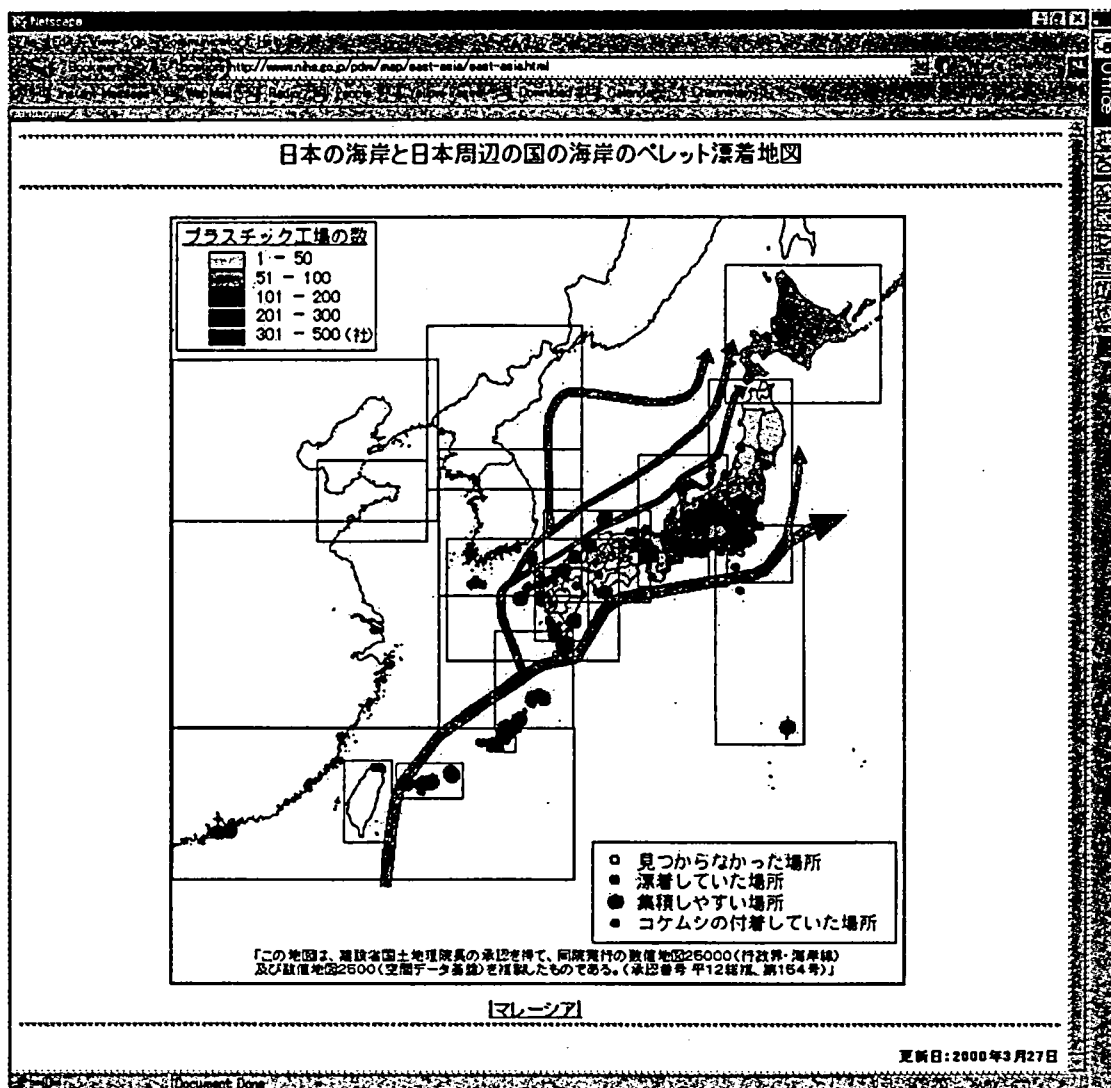


Fig. 1 Distribution map of pellets washed up on the beaches of Japan and neighboring countries

Pellets were found on most beaches in Japan and neighboring countries.

The number of pellets was more than 1000 per m^2 on the highest beach with the concentration of pellets in Japan. Only a few beaches have no pellets.

● : Abundant, ・ : Found, ○ : Not found

は2回とも「見つからなかった」と報告があるので、存在するとしても、きわめて数が少ないと考えられる。同様に、太平洋側に5箇所見つかっていない場所があり、福岡市和白干潟では1997, 1999年とも1個/ m^2 程度しか見つかっていない（プラスチック片は多数見つかったと報告がある）。日本海側の小樽市銭函海岸で1997年秋には20個/ m^2 ほどあったが1998, 1999年には見つかっていない。

漂着状況は時間とともに変化するため、継続した調査が必要となるが、これまでの結果から、日本列島のほとんどの海岸で漂着レジンペレットが観察される可能性があるといえるであろう。

その中には、レジンペレットを扱う工場や輸送拠点の港や、運搬経路の道路から遠く隔たっている場所も含まれている。このことは漂着前の漂流が長距離におよぶこともあ

ることを示唆している。

韓国、中国大陸、台湾については多少事情が異なる。まず、我々が調査した限りでは、韓国の砂浜は少なく、この地域でレジンペレットはあまり漂着していなかった。中国に関して、上海周辺で通常の海水浴は行われておらず、3箇所海水浴場と呼ばれるところも砂浜ではなく、泥質であった。また、著名な海水浴場として知られる青島には、長い砂浜があるが、レジンペレットはほとんど見つからなかった。砂浜のないところではペレットが確認しにくい、他のゴミが漂着しているため、ペレットが漂流していれば泥質上にも存在していてもよい。つまり、中国の上海以北では、ペレットの漂着はあまりないと考えられる。福建省のアモイの周辺には石の産地があり、コロンス島やアモイ本島にも粗目の砂浜ではあるが、ここではペレットも見つからない。香港、マカオ海域および台湾の台北の北西および北海岸では、日本と同様に奥行き深い砂浜があり、ペレットも多く見つかった。

香港、マカオの背景にある珠江デルタや深淵は中国の一大電子工業地域である。台北もプラスチックを扱う工場が多く、それが淡水海岸を経て海に出るか、あるいはさらに工業の盛んな台中辺りで放出されたペレットが、海流に乗って台北海岸に到達する可能性も大きい。

3.1.3 異常集積および高集積地点

慣れた研究者が多いと判断した場合、あるいは2.方法で述べたように、集積、高集積（異常集積含む）に分類した結果はFig.1に示した。れわれが直接観察した限りでは、沖縄本島本部半島崎山、奄美大島大浜海岸、種子島熊野海岸、神奈川県藤沢湘南鶴沼海岸、横浜市野島公園前浜、東京都荒川河口の葛西臨海公園、品川区お台場海浜公園などは異常集積地点である。前出の沖縄本島本部半島の古宇利島付近では、現地の人の報告によれば、幅数十メートルで、100メートル以上の長さで帯状にペレットが流れていたという。屋久島の湾では大量に浮遊していた、あるいは、島根県の塩田海岸でも多量に見られた、という報告がある。長崎県ではペレットの25kgの袋が流れ着き、ポリプロピレンという英文字とともに、ハングル語による標記があったという。これらを総合すると、海上輸送の途中で、何らかの原因で荷ごと流出したことが考えられる。

3.1.4 その他の集積地点

その他の集積地点として観察されたのは、太平洋側では東京都江戸川区葛西臨海公園、品川区お台場海浜公園、神奈川県湘南鶴沼海岸、同県横浜市野島公園前浜、同県江ノ島東浜、同県材木座海岸、名古屋市城下海岸、同市藤前千潟、兵庫県須磨海岸であった。日本海側では、島根県江津市塩田海岸（1997は200個/m²以上、1998は20個に減少、取り尽くしたため減少と報告）、山口県阿武町清が浜海水浴場、同県が浜、下関市汐入浜、同市武久浜であった。南西諸島は、奄美大島大浜海浜公園、同土盛海岸、鹿児島県

種子島西之表市浜脇浜、同美浜海岸、同能野浜、同蒲田海水浴場、同熊野浦、沖縄県沖之永良部島湾、および沖泊海岸、喜界島、与論島、伊平屋島であり、沖縄本島では、本部町瀬底および備瀬、新里、今泊、また宮古島、石垣島、西表島、与那国島にも集積していた。

また、東京都小笠原父島扇浦も非常に多数集積していることが報告がある。

海外の調査で、集積していたのは、マカオ・ハクサビーチ、香港ラマ島、同ランタオ島である。マレーシアにも集積していることが報告されている。

3.1.5 レジンペレットの流出経路について

モノマーからポリマーへと大手メーカーで合成されたペレットは、100kgコンテナ、あるいは25kgの紙容器に梱包され、輸送される。顧客の要望に応じ、次の工場では、様々な添加剤が投入される。酸化防止剤、紫外線吸収剤、安定剤、帯電防止剤、滑剤、抗菌剤、可塑剤などである。その際、ペレットは溶かされ、添加剤が投入され、また、ペレットの形状に成形される。さらにそれが次のメーカーに販売され、そこで、着色のために染料や顔料、さらに添加剤が追加される。その際も、ペレットは溶かされ、種々の物質が添加され、また、ペレット状にされる。最後に製品になる過程で、ペレットは溶かされ、成形され、ペレットの形状が失われる。

この一連の過程で、工場の中では、入荷、機械への投入、製造工程、さらに、梱包、輸送の過程で、ペレットは床、機械の隅、あるいは、敷地内、一般道路にこぼれる。大手メーカーでは概して、それらのペレットは清掃後、廃棄される。中小メーカーでは、床掃除の際に、水で流し、下水に投入されることがある。

海岸に漂着しているレジンペレットは、このようにして流出してきた、原材料であって、廃棄されたプラスチック類が摩耗してペレット状になったのではない。

流出経路をまとめた結果、次のようなことが明らかになった。

- ① 工場、貯蔵所等から、非意図的に漏出し、河川、運河等を経由し海岸に至る；この場合は、工場地帯の点在する、関東、関西地域に漂着する割合が高いが、全国的にも観察される。
- ② 港から直接海に流出、あるいは道路などに散乱し河川等を経由し、海岸に至る；この場合は名古屋港に代表され、神戸港などの近くの海岸で観察される。
- ③ 日本近海を航行する船舶から、意図的あるいは非意図的に投棄あるいは流出し海岸に至る；この場合は、工場が近辺に少ないかあるいは存在しない海岸、日本海沿岸、離島、南西諸島、ハワイなどで観察される。
- ④ 海外の工場等、国内と同様の過程で外洋に漂流し、日本の海岸に至る；該当地域は、この場合は確認できていない。南西諸島、離島でありうる。

今回の流出、消失に関する調査結果は米国環境保護庁の1990～1992年における調査³⁾と基本的に一致している。

また、漂着に関しては、海流についても考慮が必要である。高集積点の鶴沼海岸は、相模湾の中にあり、海流が循環していることが分かっている¹⁵⁾。

3.2 素材の判別と分類

3.2.1 素材の分析・判別

a) 漂着ベレット

種々の分析機器によって素材を分析した結果、海岸漂着ベレットの大部分は、プラスチックのポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、エチレン酢酸ビニルアセテート (EVA) であった。これらは比重が海水より小さなものが大部分で、漂流後漂着する。数は少ないが、ポリスチレン、エラストマーも採集されている。

b) 野生生物体内のベレット

鳥の胃袋から採集したベレットも大部分はPEおよびPPであるが、比重が海水より重いものもあり、水鳥が水底に沈んでいるベレットを食べたり、陸鳥が工場周辺にこぼれたベレットをついばむこともありうる事がわかる。ナイロン、ポリウレタン、アクリル、アクリロニトリルブタジエン・スチレンコポリマー (ABS)、アクリロニトリル・スチレンコポリマー (AS)、ポリスチレンが見つかった。数は、19個のポリエチレンベレットを摂取していたカワラバトや、ナイロンばかり10個貯えていたカルガモなどがあつた。これまでも多数のプラスチックを飲み込んでいる鳥類の報告があつた^{2) 12)}。

魚類についての摂取の報告があつたため³⁾、東京湾のカレイ7匹、多摩川のコイ10匹について調査した結果、ベレットは見出せなかった。また、鳥類が海水より重い比重のベレット摂取している事実から、東京湾の底質土10箇所を採集し、調査したが、ベレットは見出されなかった。

3.2.2 分類による特徴

目視により色、形、大きさ (直径)、に分類し、その数と割合を算出した。その後、一部をIRで素材の確認した。全国の調査結果から以下のことが明らかになった。

- ① 採集ベレットは9割以上がPEとPPであつた。その割合が地域によって特徴的なところがある。1997年の9-10月の調査では、日本海側の島根県江津市塩田海岸での採集試料は、全体の90%が同一形態のPPであり、鳥取砂丘で約60%、小松市安宅の関で約70%であつた。太平洋側は全体としては概ねPEが多く、それは生産割合に合致している。
- ② 地域によって、(採集時期によって)、同一汚染源と思われるような、見た目と形態の同じベレットが高い割合で漂着する場合がある。これは、情報収集の結果、一つの理由として、航行する船舶から放出した可能性が高い。

・奄美大島大浜海岸：1999年3月、PEの同一形態のベレットが9割以上を占めていた。

・日本海、島根、鳥取、兵庫 (①で述べた)：1997年9-10月にかけての調査で、非常によく似た形態の漂着ベレットは、PPが全体の90-50%を占めていた。

- ③ カラーベレットは全く無いところと、全数の15-30%に達するところがある。カラーベレットが集積するのは、最終製品に加工する工場と関連している地域であり、大消費地が近くにある海岸に多い傾向があつた。東京湾内葛西臨海公園、鶴沼海岸、藤前干潟、神戸須磨海岸およびマカオ・香港であつた。

- ④ 劣化のベレット：劣化 (ひび割れ、表面のざらつき、白化する現象、摩耗) の数の割合、および劣化の程度が高いのは、島嶼、南西諸島、ハワイであつた。特にハワイのベレットは摩耗が激しく平均的に直径が小さい。劣化の数量化は難しいが、IRスペクトルによって、1700cm⁻¹ 辺りでC=O吸収が現われ、劣化の度合いに沿って吸収が大きくなる傾向にあつた⁸⁾。

- ⑤ コケムシのベレット：数量、割合の確認は難しいが、南西諸島のベレットは、数の割合、1ベレット上の被覆面積の割合が大きいことが肉眼でも観察された。八丈島底土海岸、小笠原父島扇浦のベレットにも多く見られた。千葉九十九里海岸、佐渡素浜で採集されたベレットの中にも希に見られた。

3.2.3 抽出成分の分析

ベレットのn-ヘキサン抽出成分の分析結果では、PCBに関して20同族異性体の合計を求めたところ、どの地域のベレットからもPCBsが検出された。最高濃度は鶴沼海岸のベレットが20.04ng/gで、ついで香港ラマ島、大浦海浜公園、対馬阿連、アモイ市、台北市淡水、斉州島、与那国の順に高かつた (Table2, Fig.2)。鶴沼海岸の高濃度の理由は不明である。

DDTsの合計は、アモイ市のベレットが124.48ng/gと高く、次は香港ラマ島、マカオ市、香港ランタオ島、喜界島、福江島であつた (Table2, Fig.3)。小笠原父島のベレットは検出限界値以下であり、地域による差が大きいことがわかつた。

HCHsの合計では、斉州島のベレットが0.52ng/gで最も高く、鶴沼海岸、アモイ市、対馬阿連の順に高い (Table2)。DDTsに比べ、斉州島以外は全体として濃度が低い。

3.2.3.2 分析結果の考察

PCB製品の中には、様々な塩素化率の同族体が含まれており、たとえばIUPACナンバー#28,31、#118あるいは#180の含有量は製品の特徴を示している。ベレットの採集地点によるパターンの違いの一つはこれらの製品によると思われる。放出源はトランス、コンデンサー、PCB廃棄物、排水汚泥、漏れなどが考えられる。もう一つは放出後の環境条件で影響を受けて変質することがあげられる。海水中

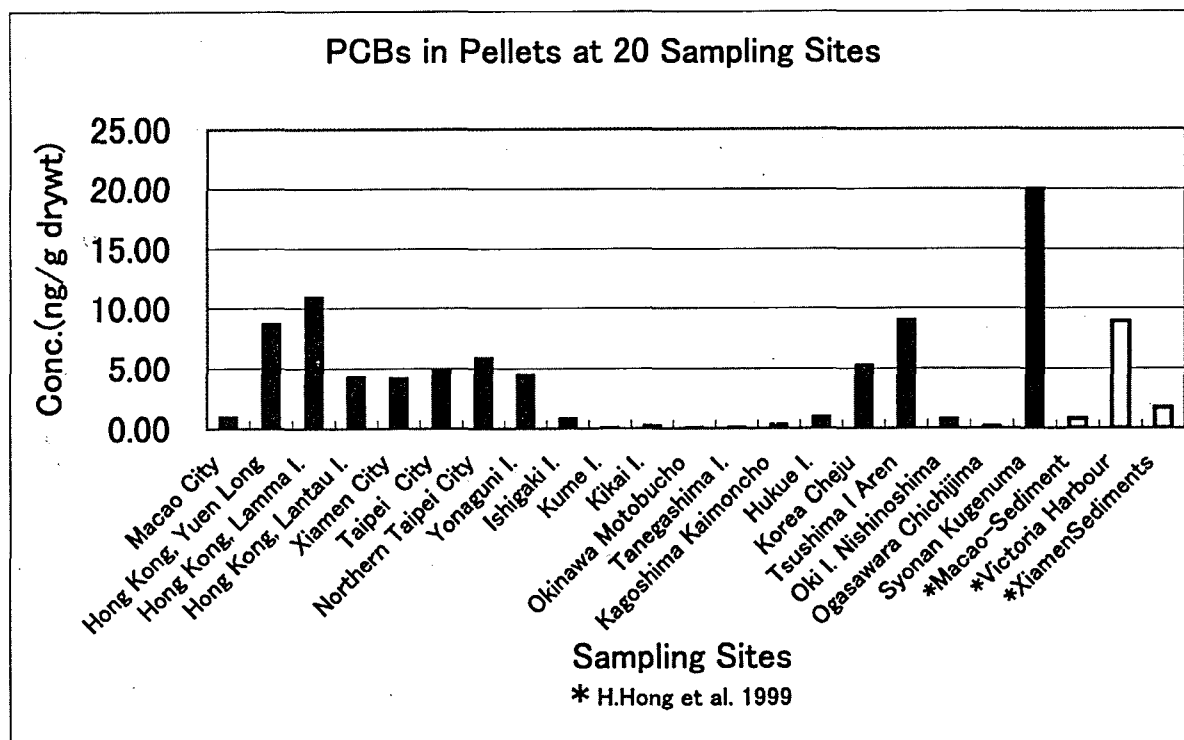


Fig. 2. PCBs Concentration in pellets washed up on the selected beaches

The highest PCBs concentration were found in the Kugenuma pellets. We don't know why it is highest.

* data from reference 16).

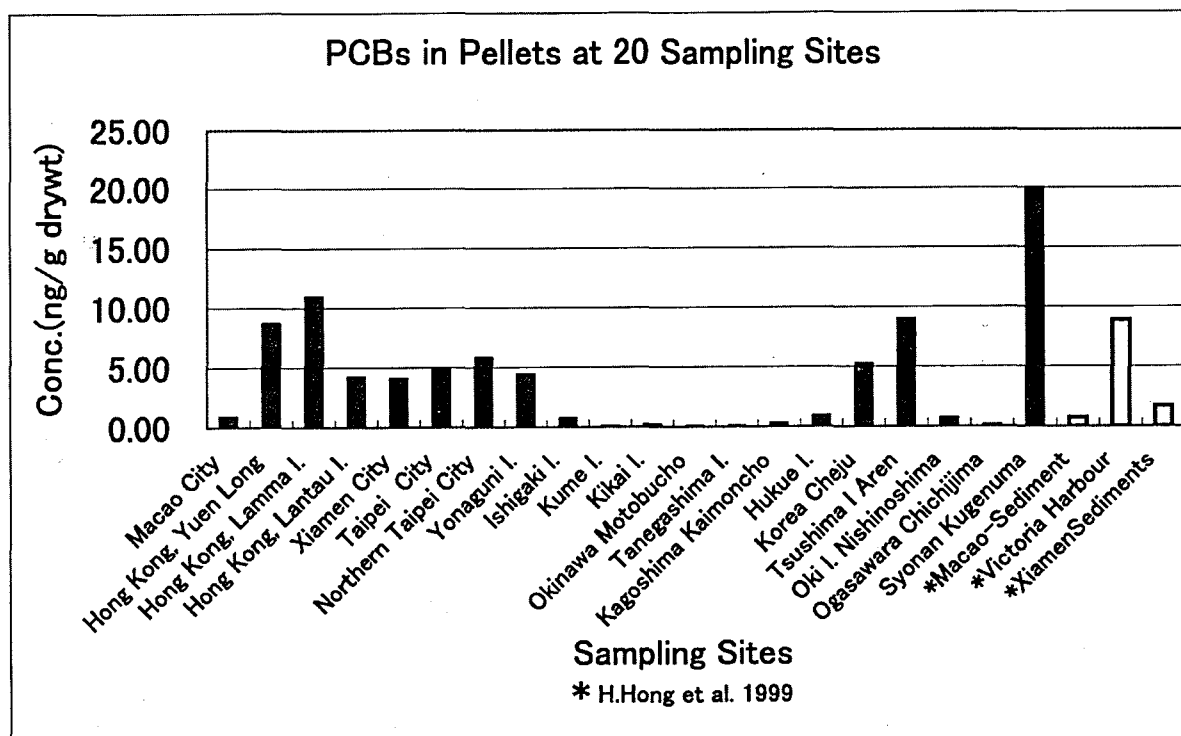


Fig. 3. DDTs Concentration in pellets washed up on the selected beaches

The highest concentration is the pellets on Xiamen beaches and after that the Hongkong beach. Some DDT might be released in this sea area from the near by land, which can be confirmed by Hong's data.

* data from reference 16).

濃度の比較データがないため、厳密な起源を推定することは困難であるが、著しく異なったパターンから、異なる起源および経過を辿っていることが考えられる。

DDTs濃度から考えるとアモイ市周辺ではDDTの放出が推測される。中国からの輸入農作物から検出されることもあり、また、アモイ西湾およびマカオ沖の底質からも高濃度のDDTsが検出されており¹⁶⁾、水中でペレットへの高濃度の吸着が考えられる。DDTの代謝物、DDEおよびDDDについては、やはり地域により特徴がある。アモイ市のペレットはDDTsに占めるDDEの割合が20%と高く、水中微生物によって代謝生成し、水中でペレットに吸着したと考えられる。喜界島、福江島、マカオ、種子島ではDDDの割合がDDEより高く、土壌微生物による分解、つまり、DDTは土壌中で代謝生成され、ペレットに吸着されたと考えられる。報告によると種子島での採集ペレットは、砂の中から掘り出したペレットを多く含んでいたようである。

HCHの4種類の異性体の特徴として、斉州島のペレットは γ -HCHが75%を占め、鶴沼海岸の場合は α -HCHが44%を占めていた。斉州島のペレットには殺虫剤成分 γ -HCHが漂流中にペレットに高濃度に吸着したと考えられる。 γ のみ検出限界以上となった鹿児島や70%弱の石垣島もこの傾向にと考えられる。鶴沼海岸、アモイでは、 α -HCHが漂着後に大気から供給されたと考えられる¹⁷⁾。

Hongら¹⁶⁾によれば、河川堆積中のHCH異性体の割合は、場所によってかなり幅があるが、 $\alpha : \beta : \gamma : \delta$ は10-30 : 10-30 : 10-30 : 20-50で、水溶解性の高い δ がや

や大きい割合である。これが海水中の懸濁物になるとさらに δ の占める割合は~70%ぐらいにまで大きくなる。ペレットに吸着されたHCH類は砂浜で乾燥させられるため、 δ は揮発しやすく総じて減少すると考えられる。したがって δ が比較的大きな数値の出たペレットは、繰り返し波に洗われていたか、直前まで海水中にあった可能性がある。

3.2.4 表面分析

いくつかの海岸で採集したペレットと比較のため、工場製品のSIMS分析を行った。青島のペレットを分析した際、まず、ペレットがPEであることを確認し、工場製品に非常によく似たスペクトルであることがわかった (Fig.4-1)。青島のペレットは、228, 256, 282, 322, 338のピークを明らかに持っている。228,256,282のピークの特徴物質は、oleamideであり、322, 338のピークはerucamideであった。さらにBr...79, 81が見られる。523, 551にもピークを持つ。これ以上大きな分子量の物質は出ていない。

工場製品のスペクトルは、いわゆる単品のポリエチレンの標準スペクトルに、少し分子量の大きなものが加わっているスタイルである。そこで工場製品を半分に削り、内部(汚染されていない部分)を分析した結果、単品のポリエチレン標準スペクトルに近かった。このことから、工場製品として出荷される際には既に、先に述べたような物質で汚染されていることが推定できる (Fig.4-1)。

また、SIMSによる分析は、地域による吸着化学物質の種類、濃度の違い、コケムシ付着の程度などさまざまな情報が得られることがわかった。Fig.4-2に鶴沼海岸に漂着し

Table 2 Concentration of PCBs, DDTs and HCHs in Pellets Washed up on the Beaches

PCB(ng/g drywt)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	
	Macao City	Hong Kong, Yuen Long	Hong Kong, Lamma I.	Hong Kong, Lantau I.	Xiamen City	Taipei City	Northan Taipei City	Yonagu ri I.	Ishigaki I.	Kume I.	Kikai I.	Okinawa Motobu cho	Tanegashima I.	Kagoshima Kaimoncho	Hukue I.	Korea Cheju	Tsushima I. Aren	Oki I. Nishino	Ogasawara Chichijima	Syonan Kugenu ma
IUPAC No.																				
#28, #31	0.02	-	0.36	0.13	0.03	0.90	2.36	0.08	0.14	0.02	-	0.02	-	-	0.05	0.54	2.72	0.05	0.08	0.55
#52	0.06	0.21	0.39	0.08	-	0.38	0.70	0.17	0.12	-	-	-	-	0.07	0.15	0.48	0.90	0.11	0.02	0.98
#37, #44	-	-	0.17	-	0.03	0.14	0.62	-	0.08	-	-	0.01	-	0.08	0.11	-	1.03	0.04	-	0.78
#70	0.04	0.44	0.51	0.58	0.01	0.80	0.48	0.09	0.09	-	-	0.01	0.02	0.02	-	0.49	1.44	0.13	-	0.51
#68	-	-	-	-	-	0.29	0.09	-	0.07	-	-	-	-	0.12	-	0.32	0.12	-	-	0.16
#91, #95	0.24	1.44	0.95	0.51	0.40	0.21	-	0.06	-	0.06	-	0.02	-	-	0.02	0.46	0.36	-	0.02	1.00
#101	0.12	0.27	0.86	0.05	0.21	0.25	0.13	0.11	0.05	-	0.03	-	0.02	-	0.17	0.55	0.81	0.12	0.02	1.09
#110, #77	0.08	0.98	1.02	0.18	0.29	0.11	0.31	0.25	0.06	-	-	-	0.05	-	0.15	0.34	0.48	0.16	-	2.00
#118, #144, #149	0.30	2.27	2.25	0.81	0.70	0.58	0.39	0.75	-	-	-	-	-	-	0.27	0.65	0.31	0.12	-	2.97
#153	-	1.24	1.22	0.48	0.84	0.84	0.13	1.07	0.08	-	0.05	-	-	-	-	0.57	0.46	-	-	4.28
#138	-	1.70	1.62	0.77	0.91	0.33	0.55	0.87	-	-	0.08	-	-	-	-	0.66	0.37	-	-	-
#129, #126	0.07	0.20	0.22	0.31	0.13	0.10	0.01	0.27	0.01	-	0.02	-	-	-	-	0.01	0.01	-	0.01	4.75
#180	-	-	0.80	0.21	0.39	0.30	0.06	0.47	0.06	-	0.04	-	-	0.01	-	0.10	0.14	-	-	0.99
#170	-	-	0.27	0.06	0.15	0.10	-	0.17	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.08	-	-	-
#198	-	-	0.06	0.07	-	0.02	-	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#195	-	-	0.13	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-
#194	-	-	0.05	-	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
計	0.91	8.75	10.99	4.24	4.11	4.98	5.83	4.43	0.76	0.08	0.22	0.06	0.09	0.30	0.92	5.24	9.01	0.73	0.15	20.04

DDTs(ng/g drywt)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳
OP'-DDE	0.13	0.12	0.01	-	1.45	-	-	0.01	-	-	-	-	0.05	-	-	0.08	-	0.01	-
PP'-DDE	0.35	0.59	0.67	0.11	25.17	0.03	0.01	-	-	-	0.10	-	-	-	0.33	0.11	0.02	0.02	-
OP'-DDD	0.41	-	1.24	0.19	3.09	-	0.04	-	0.08	-	0.46	-	0.20	0.17	0.46	0.02	-	0.04	-
PP'-DDD	1.15	0.09	8.87	0.65	11.16	-	0.08	0.05	0.09	-	0.40	-	0.20	-	0.41	0.14	0.05	0.12	-
OP'-DDT	1.04	0.73	4.35	1.13	21.10	-	0.28	-	-	-	0.98	-	0.50	-	0.87	-	0.03	0.24	-
PP'-DDT	3.82	-	17.80	4.56	62.51	0.45	1.03	0.07	0.23	0.13	2.37	0.09	1.50	0.70	1.39	0.74	0.19	0.67	-
合計	6.90	1.5	33.04	6.84	124.48	0.48	1.44	0.13	0.38	0.13	4.31	0.14	2.50	0.87	3.34	1.01	0.29	1.10	0.10

HCHs(ng/g drywt)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳
α-HCH	-	-	-	-	0.11	-	-	0.01	-	-	-	0.03	-	-	-	-	0.03	-	-
β-HCH	-	-	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.03	-
γ-HCH	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.02	-	-	-	-	0.03	-	0.39	0.01	-	0.15
δ-HCH	0.03	-	-	-	0.02	0.03	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	0.12	0.03	-	0.04
合計	0.03	-	0.03	0.01	0.13	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.52	0.07	0.03	0.00

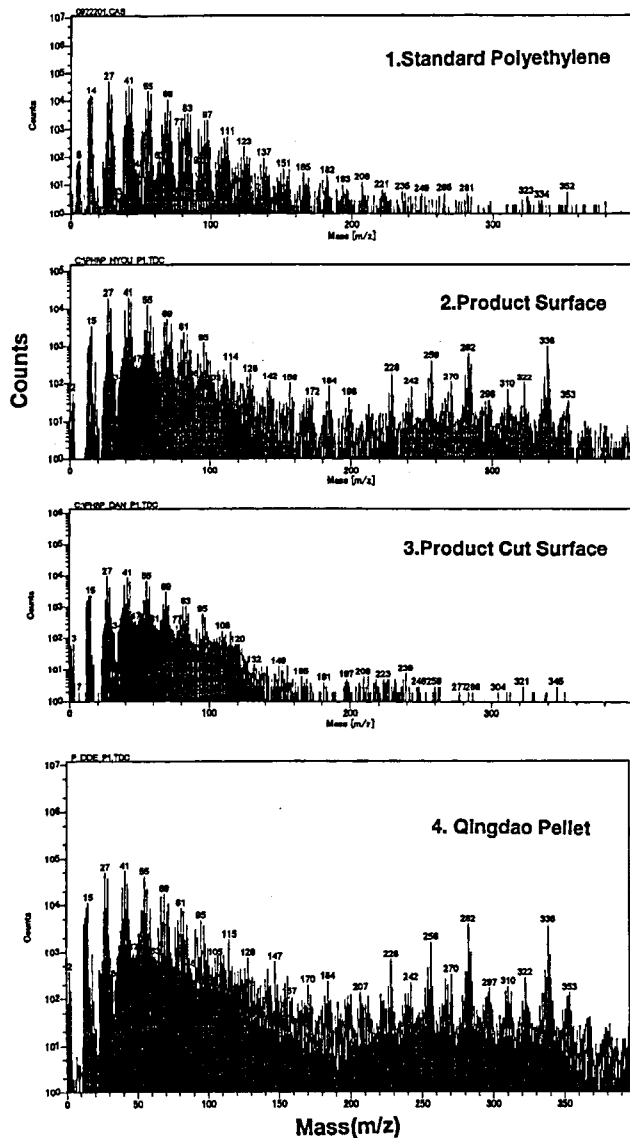


Fig. 4-1. Spectrographs of new pellets and pellets in Qingdao by using SIMS

たペレット（上段）、八丈島のコケムシ付着ペレット（中段上）、種子島漂着ペレット（中段下）および工場の新品（下段）を示した。鶴沼のペレットには質量600～700にかけてピークが現われている。また、コケムシが付着したペレットはより多くの種類の物質を取り込んでいることが分かる。

3.3 野生生物とヒトの健康影響

渡り鳥や留鳥、あるいは水鳥や陸鳥は沢山のペレットを飲み込んでいることが明らかになった。これらについては吸着している物質や成分に含まれている物質の影響の可能性は考えられる。しかし、胃袋の中にペレットを持っており、脂肪中からPCBおよびDDEが分析された例でも、それらがペレットから来たものか、他の魚類等の体内に含有

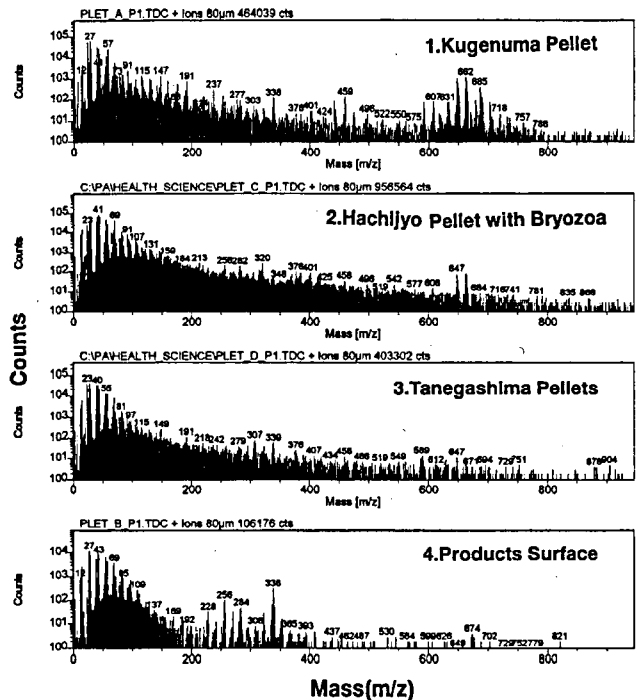


Fig. 4-2. Spectrographs of selected pellets washed up on different beaches by using SIMS

One pellet found among the Kugenuma pellets was polluted by chemicals which have a mass of 600-700, and one the Tanegashima pellet was less polluted than some of the others.

していたものから来たものか、因果関係は不明であった18) 19)。

ヒトについては砂浜で足に吸い付くなど不都合や、子供が口に入れるなどの希な可能性はあるが、魚類から多数検出されている訳ではないことを考えると、健康影響は考えにくい。

3.4 分析法について

プラスキャン（近赤外法）の改良により、レジンペレットの素材を、非破壊で、1粒でも、しかも、数秒で判別することが出来るようになったことは、画期的であり、他への応用が可能になった。

抽出分析により、PCBs, DDTs, HCHsの地域濃度分布が分かり、通常測定不可能な地域の海洋環境の一端を知る事が出来る。と同じに、同族体、異性体、代謝物質の比率のデータなどから、汚染物質の発生源の推定が可能になってきた。PCBであれば、製品の流出か、焼却廃棄物によるものか、DDTであれば農薬として最近使用されたかどうかなど、さらにデータを蓄積することにより、確実なものになるであろう。しかしこの方法だけではペレットの流出起源（地域）はなかなか特定しにくい。

SIMS分析法により、生産直後から、時間を追って、分析することによって、プラスチックに様々な物質が吸着さ

れていく過程を知る事が可能である。溶媒抽出による分析は目的物質の分析には適しているが、POPなど多くの汚染物質を吸着している可能性の高い試料には、全体を一度に分析できるSIMSが有効であろう。これまで特定物質のみを分析したが、全体としてどのような分子量の物質が吸着しているの概略が分かった。分子量の大きな汚染物質も特徴として捉えられた。また、カルシウムに注目すれば、コケムシのような生物の付着が容易に判断出来る。

4. 結果のまとめ

われわれの研究成果は次のようにまとめることができる。

- (1) 日本列島および韓国、中国大陸、台湾、ハワイ、インドネシア、マレーシアなど広い海域の沿岸の砂浜におけるレジンペレットの漂着状況を明らかにした。
- (2) レジンペレットの環境への漏出のメカニズムについてもある程度解明した。
- (3) レジンペレットに環境汚染物質が吸着することを明らかにし、その物質の種類についても分析した。
- (4) インターネットをベースに、全国規模の漂着レジンペレットの監視網を構築した。
- (5) この研究を通して、海洋汚染の研究者と化学物質の安全性に関わる研究者との交流が促進された。

われわれの研究はラジオ、テレビ、新聞、週刊誌でしばしば取り上げられた。このことにより、漂着レジンペレットに対する感心が高まり、学校における環境教育プログラムの試みも行われた。こうした問題への認識が広がったことで、海岸線を有する県や市などの自治体の関心も高まり、事業所からの漏出防止への動きも出ている。防止策については、流出防止マニュアルが1993年に作成されているが²⁰⁾、あまり利用されていない。2000年8月に「漂着・漂着ごみに関する関係省庁連絡会」が環境庁水質保全局企画課海洋環境・廃棄物対策室により発足した。

5. おわりに

わが国の海岸や河川および朝鮮半島、中国大陸、台湾などの海岸に漂着しているレジンペレットを調査し、その種類、分布状況、排出源、汚染物質の吸着や含有、野生生物やヒトへの健康影響について調査した。この結果、レジンペレットの海岸汚染は日本列島の全域、香港とマカオ、アモイ地域、台湾の北部の海岸で顕著なことで、排出源は工場や輸送等の積み荷であることが判明した。また、PCB、DDT、HCHなどの日本では既に使用されていない汚染物質がレジンペレットの表面に吸着されること、コケムシのような生物が付着し、増殖することが分かった。生物への

影響については鳥への影響が疑われるが、魚類など取り込みは可能性や頻度は低いと考えられ、今のところヒトへの影響は考えられないことが判明した。

しかし、他のゴミと共に海洋を漂流し、海岸に漂着し、長くとどまるので、流出防止を徹底することが必要である。また、近隣のアジア諸国ではこの問題をまだ認識していない。こうした問題の対処にはインターネットをベースとした国際的な監視のネットワークが有効である。

謝 辞

この研究は、平成9-11年度環境庁地球環境研究総合推進費「D-2東アジア海域における有害化学物質の動態解明に関する研究- (5) 東シナ海域における有害化学物質の分布と起源に関する研究」から始まったが、後に、厚生省生活衛生局生活化学安全対策室からの依頼研究として、対象領域を拡大して行われた。

また、東京水産大学の兼広春之氏、東京農工大学の高田秀重氏、旭化成工業(株)の伊藤尚史氏とは、共同研究者としてデータや情報の交換、研究手法の検討を行ってきた。

また、ペレットの採集に当たり、多くのボランティアの方々、クリーンアップ全国事務局の小島あずさ氏、クリーンアップ関西事務局の小林功敬氏らの協力を得た。生物試料は、水産大学橋本伸哉氏、日本獣医畜産大学羽山伸一氏、前横浜市立大学井口泰泉氏に提供して頂いた。分析法では、当研究所の療品部の伊佐間和郎氏、食品添加物部の河村葉子氏にアドバイスをいただいた。分析に当たっては、(財)日本冷凍食品検査協会、ニコレ・ジャパン(株)、アルバックファイ(株)、オプト技研(株)、にご協力をいただいた。ここに感謝する。

文 献

- 1) Carpenter, E. J., and Smith, Jr. K. L: Plastics on the Sargasso Sea Surface, *Science*, **175**, 1240-1241 (1972a).
- 2) Ogi, H., Momose, K., Sato, F. and Baba, N.: Plastic particles found in the Gizzard of a Starved Black-footed Albatross (*Diomedea nigripes*). *J. Yamashina Inst. Ornithol.*, **26**, 77-80 (1994).
- 3) U.S. Environmental Protection Agency, Plastic Pellets in the Aquatic Environment: Sources and Recommendations, Final Report, EPA842-B-92-010, (1992)
URL <http://earth1.epa.gov/docs/OWOW/OCPCD/PLASTIC/contents.html>
- 4) NIHS PD Watcher: <http://www.nihs.go.jp/pdw/>
- 5) 神沼二真, 大竹千代子, 伊藤尚史: 海洋汚染物質としてのプラスチック粒の監視網の構築について, 第11回環境情報科学論文集, 165-170 (1997)
- 6) 神沼二真, 大竹千代子: 地球規模の化学物質安全性情報ネットワーク, GINCにおける環境モニタリングデータの扱い, 第10回環境情報科学論文集, 85-90 (1996)
- 7) 大竹千代子, 燕山典子, 神沼二真: 東アジアの水系に

- における環境汚染物質の表示システム, 環境トキシコロジーシンポジウム要旨集, 58 (1999)
- 8) 大竹千代子, 堀正典, 磯部友彦, 高田秀重, 小島あずさ, 栗山雄司, 兼広春之, 伊藤尚史, 神沼二眞: 漂着レジンペレットの分類と分析, 第7回環境化学討論会要旨集, 316-317 (1997)
- 9) 大竹千代子, 高田秀重, 間藤ゆき枝, 堀正典, 兼広春之, 伊藤尚史, 神沼二眞: 漂着レジンペレットの分類と分析 第2報, 環境科学会要旨集, 2-3 (1998)
- 10) 大竹千代子, 伊藤尚史, 高田秀重, 間藤ゆき枝, 兼広春之, 神沼二眞: 漂着レジンペレットの分類と分析 第3報, 環境科学会要旨集, 40-41 (1999)
- 11) 大竹千代子, 高田秀重, 間藤ゆき枝, 兼広春之, 藤枝繁, 伊藤尚史, 神沼二眞: 漂着レジンペレットの分類と分析 第4報, 第9回環境化学討論会要旨集, 198-199 (2000)
- 12) Toda, A., Aihara, K., Hayama, S., Nakagaki, K. and Nigi, H.: Ingestion of plastic particles of birds recovered at Tokyo International Airport and the adjacent areas, *Jap. J. Ornithol.*, **42** (3/4) 83-90 (1990) (in Japanese)
- 13) 間藤ゆき枝, 高田秀重, 大竹千代子, 神沼二眞, 兼広春之: プラスチック小粒 (レジンペレット) の汚染物質輸送媒体としての評価 1. 吸着特性および含有状況について, 第8回環境化学討論会要旨集, 46-57 (1999)
- 14) 星孝弘: 表面分析技術 6. 二次イオン質量分析法 (SIMS), 日本印刷学会誌, 34(6), 29-39 (1997)
- 15) Iwata, S., and Matsuyama, M.: Surface circulation in Sagami Bay: the response to variation of the Kuroshio Axis, *J. Oceanographic Society of Japan*, **45**, 310-320 (in Japanese)
- 16) H. Hong, W. Chen, L. Xu, X. Wang and L. Zhang, Distribution and Fate of Organochlorine Pollutants in the Pearl River Estuary, *Marine Pollution Bulletin* **39** (1-12), 376-382 (1999)
- 17) 功刀正行, 原島省, 利安忠夫, 東アジア海域における有害化学物質の時空間変動機構する研究①, 環境庁地球環境研究「東アジア海域における有害化学物質の動態解明に関する研究報告書, 60-64 (1999)
- 18) Ryan, P.G. Connel, A. D. and Gardtner, B. D.: Plastic ingestion and PCBs in seabirds: Is there a relationship?, *Marine Pollu. Bull.*, **19**, 174-176 (1988)
- 19) Spear, L.B., Ainley, D.G. and Ribic, C.A.: Incidence of plastic in seabirds from the Tropical Pacific, 1984-91: Relation with distribution of species, sex, age, season, year and body weight, *Marine Enviro. Research*, **40** (2), 123-146 (1995)
- 20) 通産省監修, プラスチック工業連盟: 樹脂ペレット漏出防止マニュアル (1993)