

## 2 海岸生態系に配慮した漂着物回収方法の検討

2.1 資料「平成 26 年度成果報告書漂着ゴミからの有害化学物質による海岸汚染リスクの検証・評価に関する調査研究」（山口晴幸 防衛大学校名誉教授）

2015 年 2 月 23 日作成

# 平成 26 年度成果報告書

## 漂着ゴミからの有害化学物質による海岸汚染リスクの検証・評価に関する調査研究

防衛大学校名誉教授 山口晴幸  
自然環境・環境地盤工学専攻

メール [hareyuki@oregano.ocn.ne.jp](mailto:hareyuki@oregano.ocn.ne.jp)

電話 045-786-9885

住所 〒236-0053 神奈川県横浜市金沢区能見台通 45-13-103

## 目次構成

1. はじめに	・・・1
1. 1 概要	
1. 2 近年の沖縄漂着ゴミの実態	
1. 2. 1 2013年春調査～八重山諸島の実態～	
1. 2. 2 激増する有害・危険な漂着ゴミ	
1. 3 漂着ゴミと有害化学物質との関連に関する検証・評価の重要性	
1. 3. 1 漂着ゴミの汚染リスク	
1. 3. 2 科学的検証・評価のポイント	
2. 漂着ゴミ等の分析サンプルと化学成分評価の分析・実験	・・・11
2. 1 サンプルングと分析サンプル	
2. 2 分析サンプルの前処理と溶出試験方法	
2. 2. 1 分析サンプルの前処理	
2. 2. 2 分析サンプルの溶出試験方法	
2. 3 主要化学成分(重金属類等)評価のための分析試験	
2. 3. 1 蛍光X線分析法による主要化学成分組成の分析	
2. 3. 2 原子吸光分光分析法による有害元素成分の分析	
3. 海岸生態系や水質・土壌の自然環境に及ぼす漂着ゴミの汚染リスク	・・・16
3. 1 危険で有害な漂着ゴミによる直接的リスクの甚大性	
3. 2 未だに行われている大量漂着ゴミの浜焼き行為	
3. 3 大量漂着ゴミによる海浜植生帯への打撃	
4. 漂着プラスチック類ゴミの有害化学物質の分析評価	・・・20
4. 1 着色剤, 難燃剤, 可塑剤などの添加剤・成形助剤の混入	
4. 2 サンプルングと分析サンプル	
4. 2. 1 プラスチック類ゴミのサンプルング	
4. 2. 2 分析サンプルと成分分析	
4. 3 蛍光X線分析による主要含有元素成分組成	
4. 4 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有状況	
4. 5 原子吸光分光分析による有害元素成分の溶出量評価	
4. 6 各種類・タイプのプラスチック類ゴミの国籍別・平均的溶出性の評価	
4. 7 漂着レジンペレットからの有害元素成分の溶出性	
4. 8 漂着プラスチック類ゴミの有害元素成分の溶出性に及ぼすpH効果	

4. 8. 1	プラスチック容器類での溶媒液の pH 効果	
4. 8. 2	典型的なプラスチック漁具類での溶媒液の pH 効果	
4. 9	まとめ	
	★ 本章の知見に関する重要ポイント	
5.	漂着発泡スチロール群による白帯汚染の化学的評価	・・・111
5. 1	深刻化する白帯汚染	
5. 2	発泡スチロールの化学構造と特性の概説	
5. 3	調査海岸域とサンプリング	
5. 3. 1	調査海岸域	
5. 3. 2	漂着発泡スチロール片のサンプリング時の留意事項	
5. 4	漂着発泡スチロール片の主要元素成分組成の評価	
5. 5	まとめ	
	★ 本章の知見に関する重要ポイント	
6.	大量漂着ゴミの「堆積放置」と「浜焼き」による危険性の化学的評価	・・・120
6. 1	はじめに	
6. 2	海浜砂のサンプリング	
6. 3	大量漂着ゴミの堆積放置による被覆効果の科学的検証	
6. 4	大量漂着ゴミの危険な「浜焼き」行為禁止の周知・徹底	
6. 5	まとめ	
	★ 本章の知見に関する重要ポイント	
7.	おわりに～まとめにかえて	・・・129
	引用・参考文献	・・・132

# 1. はじめに

## 1. 1 概要

我が国はユーラシア大陸の東縁に位置し、国土は四方を海洋に囲まれ、6,800 余りもの島々が 3,000km 以上に亘って弧状列島を形成している。海岸線の総延長は地球直径の約 2.7 倍の長さに匹敵する約 34,000km と極めて長大で、国土面積当りに換算すると世界で最も長い海岸線長を有している国である。

国土の地勢環境から、台風・豪雨・豪雪・地すべり・地震・火山噴火などの自然災害が発生し易い気象的、地形・地質的特性を有している。さらに我が国では、大量消費・大量廃棄の現代社会を象徴する漂着ゴミ問題は甚大な環境災害の様相を呈している。海岸に打ち上がる夥しい数の漂着ゴミは、列島近海上を流れる海流と季節的風向の影響を強く受けるところが大きい。

筆者はこれまでに行ってきた、北はオホーツク海沿岸から南は沖縄県与那国島に至るまでの全国延べ 2,000 箇所以上に及ぶ海岸調査では、約 8 割以上の海岸で外国製の漂着ゴミを確認している。年々、深刻化しつつある我が国の漂着ゴミ問題の特質の一つに、沖縄県八重山諸島などの琉球列島、長崎県対馬・山陰・北陸地方などの、黒潮海流沿いの南西諸島と対馬海流沿いの日本海沿岸域に打ち上がる夥しい量の海洋越境ゴミが挙げられる。漂着ゴミの中には、医療廃棄物を始め、ガスボンベ、消火器、農薬ビン、廃油ボール、球管類（電球類・蛍光灯管類）等の多種類の危険物も確認されているが、大半は生活廃棄物と漁業廃棄物である。

亜熱帯原生林が鬱蒼と繁茂し、希少・貴重な動植物生態系が育まれている沖縄県西表島は、我が国で秘境と称される数少ない島の一つである。西表島の広大な湿地・海岸域は動植物の貴重な餌場・棲息場などであり、多種多様な生物の食物連鎖を支える重要な生態系保全のためのオアシスである。しかし近年、近隣アジア諸国から押し寄せる海洋越境ゴミが年々深刻度を増し、夥しい数の生活廃棄物や漁業廃棄物に覆われ、砂浜・湿地・干潟等の海岸域は巨大廃棄場と化す危機に曝されている。景観破壊のみならず、漂着ゴミの劣化・腐食で溶解する有害化学物質の自然環境への曝露は、海浜・湿地・干潟の土壌・水質汚染、しいては海浜生態系汚染への連鎖が懸念される。西表島と同様に、沖縄の多くの島々では漂着ゴミにより、自然環境や海生生態系の安全性が脅かされつつある海岸域は拡大しつつある。

深刻化しつつある漂着ゴミ汚染問題の重要性に警鐘を鳴らし、回収除去・防止処理対策の迅速且つ持続的な推進を図るためにも、漂着ゴミ由来の重金属類等の有害化学物質の海浜生態系や水質・土壌への汚染リスクを科学的に検証し評価することは極めて重要な事項である。

## 1. 2 近年の沖縄漂着ゴミの実態

### 1. 2. 1 2013 年春季調査～八重山諸島の実態～

沖縄琉球列島での調査は 1998 年から本格的に開始し、毎年、春季と夏季の 2 度の調査を 2007 年まで 10

表 1.1 2013 年春季調査八重山・宮古諸島概要

2013 年春季調査：八重山・宮古諸島(5島32海岸)				
島	番号	調査海岸	調査時期	調査海岸長 (km)
与那国島	1	ウブドゥマイ浜	2013.3.27	0.4
	2	四畳半ビーチ	2013.3.29	0.03
	3	アリン浜	2013.3.29	0.1
	4	ツァ浜	2013.3.29	0.15
	5	ナーマ浜	2013.3.30	0.1
	6	比川浜	2013.3.31	0.5
	7	ウバマ浜	2013.3.31	0.25
	8	カタブル浜	2013.3.31	0.3
西表島	9	野原海岸	2013.4.2	2.5
	10	ユツ川河口海岸	2013.4.2	0.9
	11	豊原海岸	2013.4.2	1.05
	12	中野海岸	2013.4.3	1.1
	13	上原海岸	2013.4.3	0.75
	★	星砂海岸	2013.4.9	0.7
	14	高那海岸	2013.4.4	0.2
	15	仲間崎海岸	2013.4.4	0.35
	16	大原海岸	2013.4.4	1.15
	17	船浦湾海岸	2013.4.5	0.8
18	南風見田浜	2013.4.5	1	
石垣島	19	伊原間海岸	2013.4.6	2.15
	20	平野海岸	2013.4.6	2.27
	21	南星野海岸	2013.4.7	1.1
	22	伊野田海岸	2013.4.7	0.5
	23	平久保灯台下海岸	2013.4.7	0.35
	24	明石海岸	2013.4.8	0.8
	25	白保海岸	2013.4.8	0.45
波照間島	26	北側海岸	2013.4.10	0.62
宮古島	27	島尻海岸	2013.4.11	0.05
	28	浦底海岸	2013.4.12	0.4
	★	新城海岸	2013.4.12	0.4
	29	吉野海岸	2013.4.12	0.2
	30	池間灯台付近海岸	2013.4.13	0.25
	31	池間北東側海岸	2013.4.13	0.25
	32	狩俣海岸	2013.4.13	0.1

★：漂着ゴミのカウント無し、フイ・フロート類等のカウント調査のみ

年間に亘って、その後は毎年1度の調査を継続してきた。2014年までの17年間で、15島延べ667海岸で調査を実施してきた。

近年の調査データとして、2014年の調査データが未整理なので、2013年春季調査の結果を提示する。調査日程は3月27日～4月14日であった。調査では八重山諸島4島(与那国島、西表島、石垣島、波照間島)と宮古島で32海岸を回り、漂着ゴミをカウントした調査海岸長は13.1kmであった(表1.1参照)。

写真1.1に調査で回った八重山・宮古島諸島での32海岸のうち、代表的な海岸での漂着ゴミの実態を示している。漂着ゴミに関する普及啓発活動や漂着ゴミ問題の社会的重要性等によって、島民の漂着ゴミ問題に関する意識はかなり高揚しており、特に昨今では、石垣島、西表島、宮古島では、小規模の海岸清掃活動を含めると、年間100回を超えることもあるとされている。

調査時には、いずれの海岸も清掃活動の痕跡は窺われたが、しかしその痕跡が消えうせるほど、大量の漂着ゴミが浜を覆い、巨大廃棄場と化した海岸に遭遇する機会も多い。写真1.2には宮古島の狩俣海岸、写真1.3には石垣島の平野海岸の清掃後等の漂着ゴミの実態を示している。清掃してもあつというまに漂着ゴミに覆われる状況が理解できる。

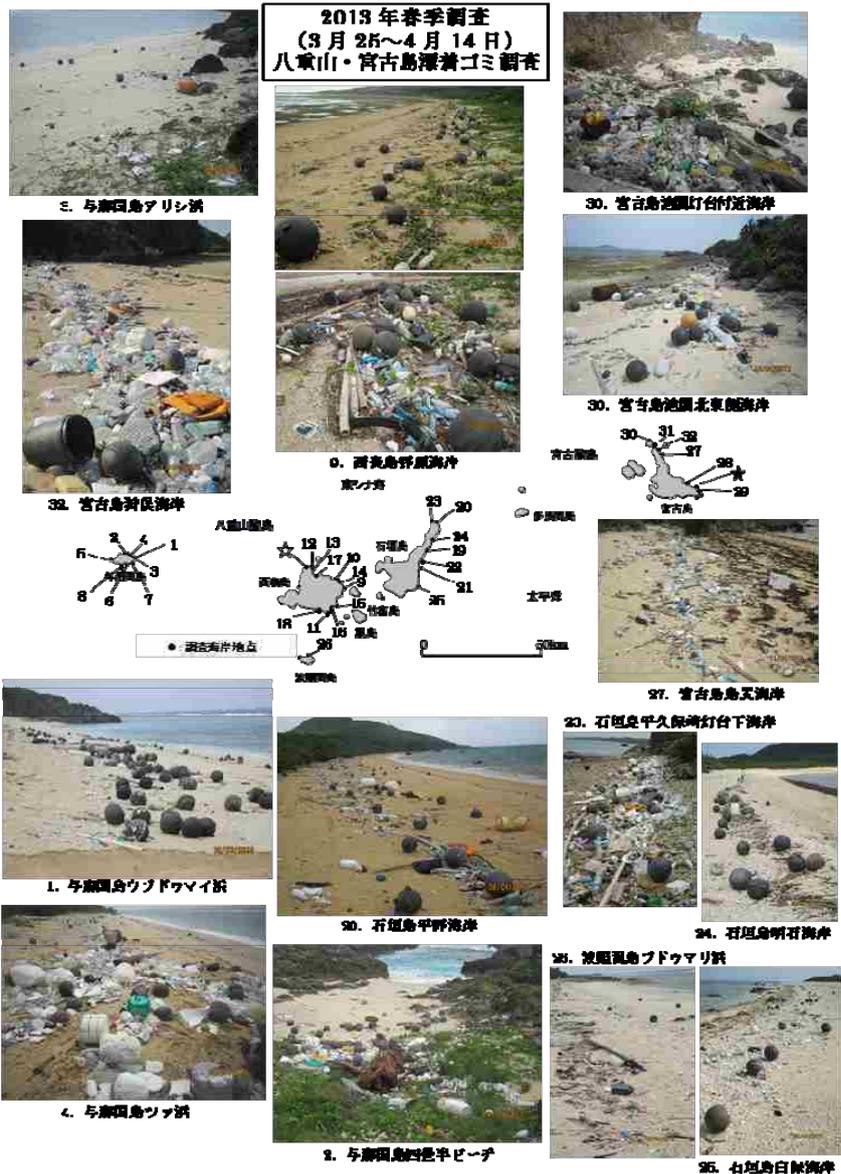


写真1.1 八重山・宮古諸島での大量漂着ゴミの実態 (2013年春季調査)



写真1.2 あつという間に打ち上がる漂着ゴミ(宮古島狩俣海岸)

即ち、近年の調査では清掃痕跡の窺われる海岸に遭遇する機会が多く、全般的には、八重山・宮古諸島での漂着ゴミ量は低減したかの印象を受ける。しかし清掃頻度の少ない海岸や清掃の実施しにくい立地の海岸、清掃を繰り返しても直ちに漂着ゴミが押し寄せる海岸などでは、相変わらず大量漂着ゴミで覆われており、巨大廃棄場と化している海岸が未だに多い(写真 1.4)。また大規模な清掃痕跡の見られる海岸に近接した海岸域で山のように堆積した漂着ゴミの状況に遭遇する場合も多い(写真 1.5)。そのような実情から判断すると、八重山・宮古諸島の漂着ゴミの絶対量は、低減化よりもむしろ年々増加しているように思われる。

八重山・宮古諸島では、毎年晩秋～冬～春にかけて黒潮海流と西・北西風によって大量の海洋越境ゴミが押し寄せる  
石垣島の最北端：平野海岸



写真 1.3 あつという間に打ち上がる漂着ゴミ(石垣島平野海岸)



写真 1.4 清掃頻度の少ない海岸や清掃間もない海岸での深刻な漂着ゴミの実態

八重山・宮古諸島では、特に、与那国島のウブドゥマイ浜・ツァ浜など、西表島のユツン川河口海岸・上原海岸など、石垣島の平野海岸・南星野海岸など、宮古島の狩俣海岸や底浦海岸など、いずれの島々においても北部～東部に掛けての海岸域での漂着が激しく、特に晩秋～冬～春先に掛けて北・北西風の強い時期に激増し(写真 1.1 参照)、深刻な環境破壊の発生している海岸が未だに多い。漂着ゴミの大半は、遠距離漂流し易い漁具類の発泡スチロールブイやプラスチックブイ・フロート類ゴミとペットボトル等のプラスチック類ゴミが大半を占めている。黒潮海流が運搬する漂着ゴミの真っ先の洗礼を被る八重山・宮古諸島の海岸域では、やはり大半の漂着ゴミは中国製の海洋越境ゴミである実態には変わりはなく、特にこの数年は一層の増加傾向が窺われ、漂着ゴミによる海岸汚染の甚大な要因は、相変わらず中国製ゴミの大量漂着に起因してい

る。

2013年春季調査では5島32海岸で数え上げた漂着ゴミの総数は156,236個であった。国籍別に区分すると、日本製ゴミが2,716個と1.7%を占めるが、外国製ゴミは58,785個の37.6%で、平均的には日本製ゴミの約21.6倍の漂着数となる(図1.1)。判別不能な不明ゴミは94,735個と総ゴミ数の60.6%で圧倒的な数量を占める。この不明ゴミは、当然、国内外のゴミであるが、長期間・遠距離に亘って海洋を漂流浮遊した漂着ゴミほど、不明ゴミ化する可能性が高いことから、この膨大な不明ゴミにも黒潮海流で遠距離運搬された外国製の海洋越境ゴミが相当数含まれている。判別できた58,785個の外国製ゴミを国籍別に区分すると、中国製ゴミが83.8%と大部分で、韓国製ゴミが7.2%、台湾製ゴミが5.4%、他の外国製ゴミが3.5%で、琉球列島に漂着する外国製ゴミは中国製を主体とした近隣諸国からの海洋越境ゴミが大半を占めていることがわかる(図1.1参照)。総ゴミ数(156,236個)を総調査海岸距離(13.1km)で除し海岸長1km当りに換算した漂着度合(個/km)で見ると、11,926個/kmとなる。通常、個々の海岸で漂着度合がほぼ4,000~5,000個/kmを超えると、漂着ゴミが浜一面に覆うた状況となり、景観破壊などかなり深刻な事態となる。琉球列島の島岸線の多くは、まさにこのような状況に曝されていることを実証している。なお各島での漂着度合を見ると(図1.2)、与那国島で21,759個/km、西表島で7,174個/km、石垣島で10,708個/km、宮古島で27,971個/kmと、ほとんどが10,000個/kmを超えている。各島での日本製ゴミは総ゴミ数の1~3%台であるが、やはり外国製ゴミが33~42%を占め11~30



写真 1.5 清掃した海岸に近接したゴミに覆われた海岸の状況から漂着ゴミの深刻な実態が窺われる

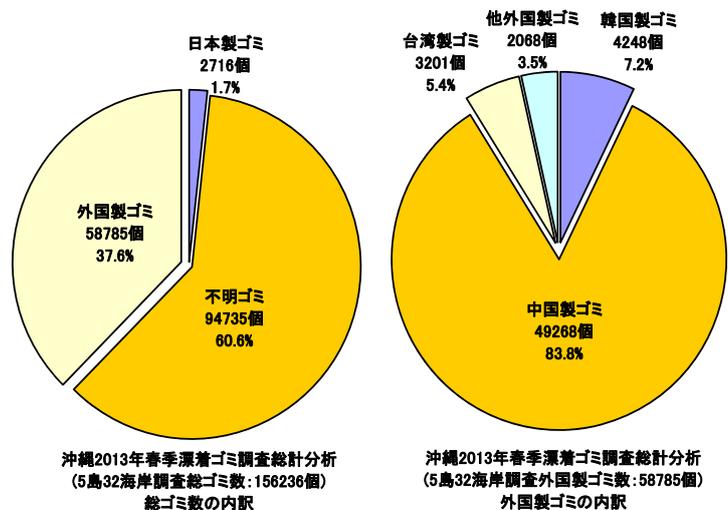


図 1.1 八重山・宮古諸島 2013 年春季調査：国籍別総計分

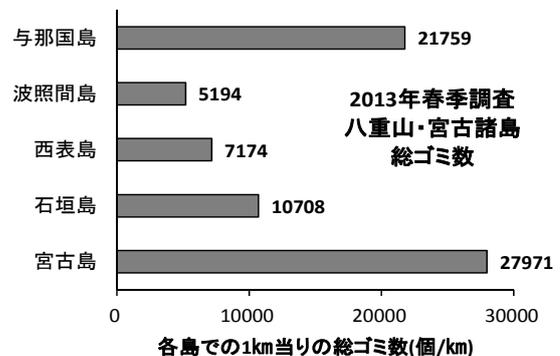
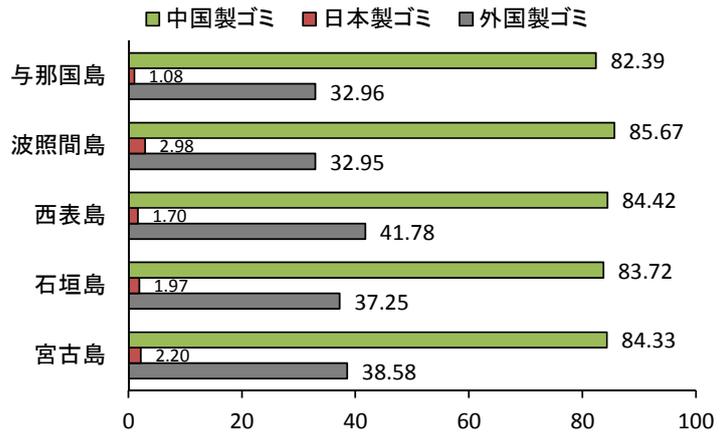


図 1.2 各島での漂着ゴミ数の比較

倍で、その外国製ゴミの82～86%を中国製ゴミが占めている(図1.3)。

流木や海藻類の分解可能な自然系ゴミを除くと、琉球列島の漂着ゴミの種類は生活廃棄物と漁業廃棄物が大半である。2013年春季調査では、総ゴミ(156,236個)の86.9%はペットボトル等のプラスチック類ゴミである。回収処分の厄介な漁具類ゴミ(発泡スチロールブイ、大型プラスチックブイ、漁網塊等)は7.9%であるが、その60.9%を発泡ス



各島での総ゴミに占める外国製、日本製、中国製ゴミの比率(%)

図1.3 海洋越境ゴミの大半を占める中国製ゴミ

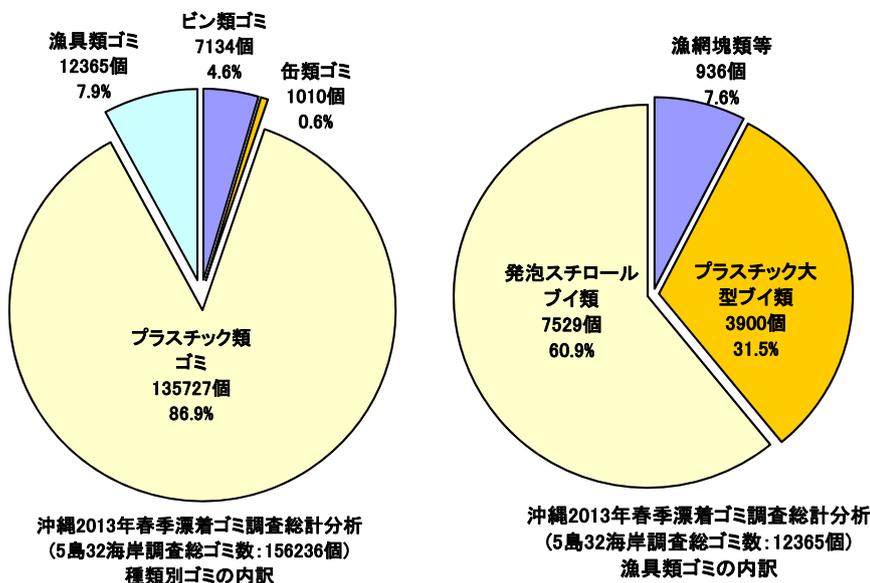


図1.4 八重山・宮古諸島2013年春季調査：種類別総計分析

チロールブイ、31.5%をプラスチックブイが占めている(図1.4)。また危険極まりない針付注射器・医薬ビン等の医療廃棄物類ゴミ、夥しい数の大小様々な電球・蛍光灯管類の打ち上げ、さらには大型ガスボンベ、ドラム缶、テレビ、冷蔵庫など想像し難い漂着ゴミが目につく。埋め尽くすこれらの石油化学製品の漂着ゴミが破損・劣化・腐食することで暴露される有害化学物質が、海浜・干潟・湿地の土壌・水質汚染を誘発し、しいては貴重な亜熱帯海浜植物や底生生物に甚大な打撃を与えることが懸念される。

### 1. 2. 2 激増する有害・危険な漂着ゴミ

さらにここでは、2013年春季調査結果に基づき、近年、特にその漂着が激増している大型プラスチックブイ(直径20～30cm程度以上)や棒型・樽型浮子(小型フロート)類ゴミと大小様々な管球類ゴミ(電球・蛍光灯管類)などの漂着分析を試みた。

#### (1) 大型プラスチックブイ類ゴミ

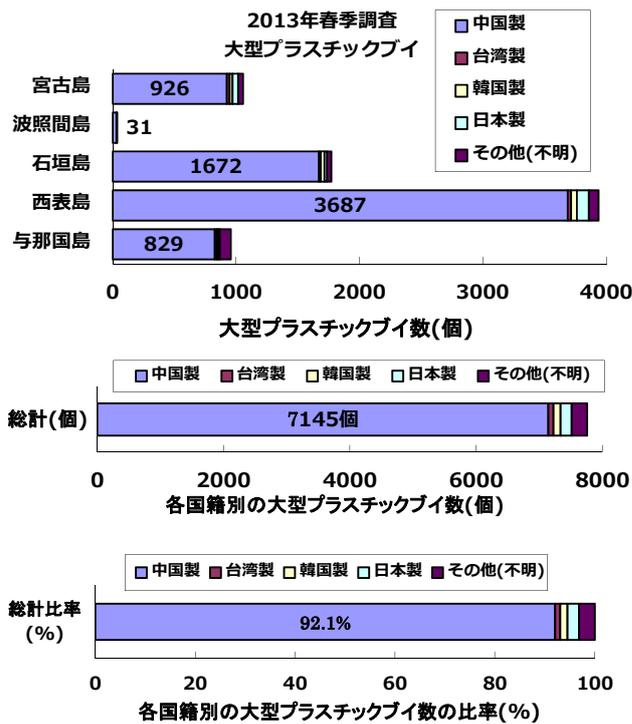


図 1.5 八重山・宮古諸島 2013 年春季調査  
大型プラスチックブイ類ゴミの分析

2013年春季の八重山・宮古諸島での5島34海岸(調査海岸長 22.22 km)で確認した大型プラスチックブイの調査結果を図 1.5 にまとめている。漂着を確認した総計は 7760 個に及んだ。その 90%以上は中国製のもので、写真 1.6 に示すように、中国の地名や中国語が明記されたものが多い。直径 30 cm 程度の黒色のブイが大半を占めていたが、中には直径 100 cm を超える超大型ブイの漂着も確認された。与那国島のウブドゥマイ浜や西表島の野原海岸のように、浜一帯を埋め尽くすように大量の漂着ブイが打ち上がっている海岸も多数確認された。このような漂着状況から判断すると、不要なブイの故意の海洋廃棄による漂着と推察せざるを得ない。

(2) 青色・橙色の小型浮子(フロート)類ゴミ

沖縄の海岸では、多種類の漂着漁具類ゴミの中でも、上述した丸ブイに加え、小型のプラスチック製フロート類ゴミも深刻な漂着ゴミの一つである。特に青色と橙色のフロート類ゴミの漂着が激しい。写真 1.7 に示すように、青色フロート類ゴミには長さ約 13 cm・太さ約 7.5 cm の樽型タイプ(青フロート太)と長さ約 13 cm・太さ約 3 cm の棒型タイプ(青フロート細)がある。また橙色フロート類ゴミは青フロート細と形状・寸法は類似し、長さ約 12 cm・太さ約 2 cm である。

各海岸でカウントした青フロート太、青フロート細、橙フロート細を島ごとに集計し比較したのが図 1.6 である。フロート類ゴミの漂着は、大型ブイの漂着と同様にかかなり深刻な状況にある。与那国島、西表島、石垣島、波照間島、宮

沖縄県八重山・宮古諸島に何千個と漂着する大型プラスチックブイ  
漂着数の 9 割以上は中国製の海洋産廃ブイ

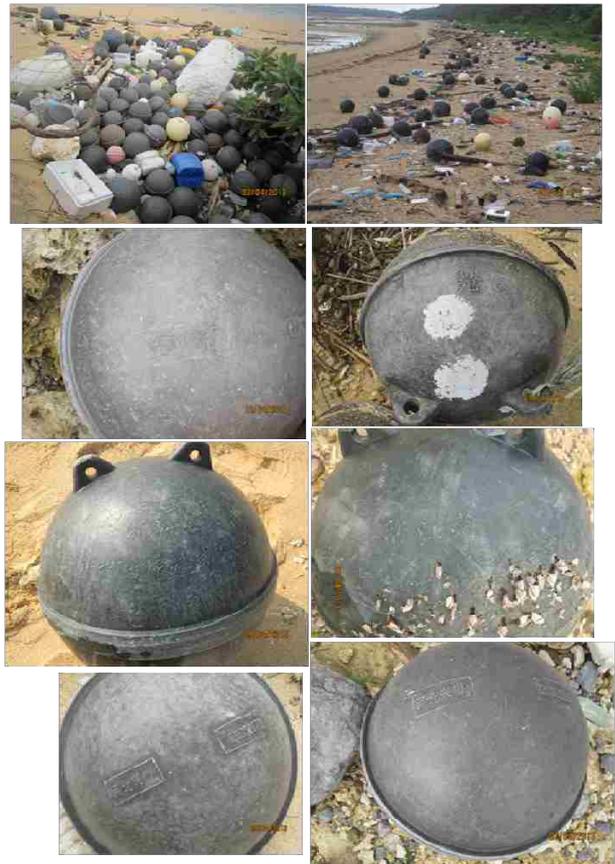


写真 1.6 八重山・宮古諸島に大量漂着する中国製大型プラスチックブイ類ゴミ



写真 1.7 大量漂着する小型浮子類ゴミ

古島の 5 島 34 海岸(調査海岸長 13.25 k m)で確認した総数は 25191 個に達し、海岸長 1 k m 当りに換算すると 1901 個となった。特に西表島では 10125 個の漂着が確認された。宮古島では 1 k m 当りの個数は 3982 個と突出した漂着状況となっていた(図 1.7 参照)。

いずれの海岸においても、漂着数の最も多いものは棒型タイプの青フロート細のものである。沖縄で確認されるこの 3 種類のフロート類には 90% 以上、やはり中国地名等(橙フロート細には台湾地名が確認されるものもある)が表記されており、大型プラスチックブイ同様に、中国製の海洋越境フロート類ゴミが主体となっている。

このようなことから、沖縄調査の前の同年 3 月初旬、東シナ海を北上する黒潮海流が分岐し、対馬海流となって流れる日本海上の長崎県対馬や新潟県佐渡島と出雲崎・柿崎沿岸などでの調査結果を比較のために図 1.7 に併記している。長崎県対馬付近を境としてこの 3 種類のフロート類ゴミの漂着は、明らかに低減していることが分かる。このような漂着実態から判断すると、3 種類のフロート類ゴミは、黒潮海流が北上する八重山・宮古諸島近海の東シナ海を発生源とした海洋越境ゴミ(大半は中国製ゴミ)と推察される。

ちなみに対馬海流沿いの日本海沿岸域では、沖縄でのフロート類ゴミの漂着と同様に、ヌタウナギ(あなご)用漁具ゴミの口・筒部分の漂着が深刻な問題となっている(写真 1.8)。対馬海流が北上する日本海沿岸域の特徴的な漂着ゴミの一つとなっており、大半は韓国製のものである。主な発生源は朝鮮半島近海とされており、そのため長崎県対馬を始め、山陰、北陸、北海道に掛けての日本海沿岸域では、大量漂着を繰り返している厄介な漂着ゴミとなっている。図 1.7 に示したように、中国製青・橙フロート類ゴミの漂着は東シナ海沿岸の沖縄の海岸で深刻な状況となっているのに対し、図 1.8 に示すように、ヌタウナギ用漁具ゴミの口・筒部分の漂着は日本海沿岸域であることがわかる。即ち、両タイプの漁具類ゴミは、我が国の東シナ海と日本海沿岸域に大量漂着するゴミの発生源を暗示している典型的な海洋越境ゴミといえる。

なお最近、これらのフロート類ゴミやプラスチック類ゴミなどには鉛等の汚染物質が含有されていることが指摘されていることから、後章では、この種のフロート類ゴミを含め、多種類のプラスチック類ゴミを対象に、

2013年春季調査：小型フロート類ゴミ

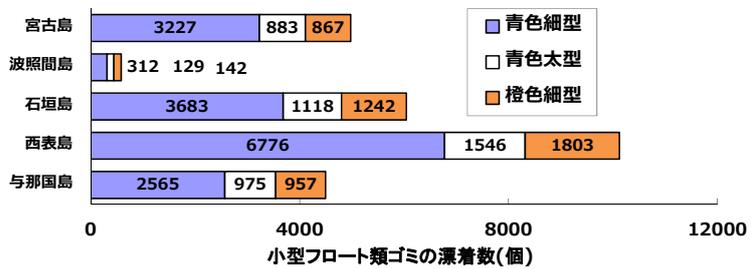


図 1.6 2013 年春季調査：小型フロート類ゴミの漂着数

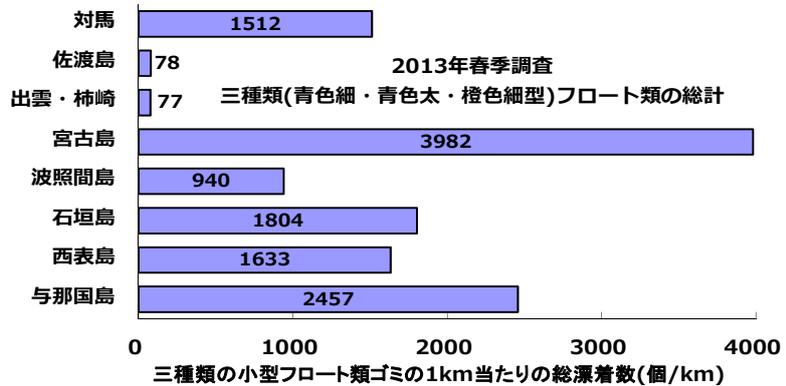


図 1.7 2013 年春季調査：小型フロート類ゴミの 1 km 当りの漂着数



写真 1.8 長崎県対馬・新潟県佐渡島等の日本海側で大量漂着を繰り返す韓国製のヌタウナギ漁具類ゴミ

有害化学物質に関する汚染リスク等について科学的な検証・評価を試みている。

(3) 管球類ゴミ(電球・蛍光灯管類ゴミ)

八重山・宮古諸島での特徴的な漂着ゴミの一つに、大量漂着する大小様々な電球や蛍光灯管類の管球類ゴミが挙げられる(写真1.9)。砂浜・海岸の安全性の確保や有害化学物質の曝露の観点から極めて危険な漂着ゴミである。漁船や船舶などで使用された大型の特殊な電球類ゴミの漂着も確認されるが、家庭用の電球や蛍光灯管類も大量に漂着している。表記文字等が消失して国籍等の判別が不能なものが大半を占めているが、中にはハングル文字や漢字などが表記されたものも確認される。

図1.9に示すように、2013年春季の八重山・宮古島調査では、5島32海岸で2667個の管球類ゴミを確認した。中でも西表島では1335個であった。

(4) 有毒液体が残存する廃ポリタンク類ゴミ

十数年ほど以前から漂着が指摘されている有毒液体が残存した廃ポリタンク類ゴミは、2013年春季の八重山・宮古島調査で83個確認した(表1.2)。数年前、沖縄で廃ポリタンクゴミの漂着調査を実施した経緯はあるが、2013年の調査で、沖縄の海岸域にも確実に漂着が継続している実態を、再度、検証するに至った。

日本海沿岸域では、毎年、万個単位の漂着が確認されてきており、処理処分が厄介な危険で有毒な漂着ゴミの代表例とみなされている(写真1.10)。

図1.10に示すように、やはり長崎県対馬や新潟県佐渡島(2013年3月調査)での確認個数が極めて多く、日本海沿岸域の典型的な漂着ゴミの一つとなっている。80%以上は韓国製で、他に中国製のものも確認される。不要な廃ポリタンク類ゴミの海洋不法廃棄によるものとされているが、一向に改善される兆しは窺えないのが実

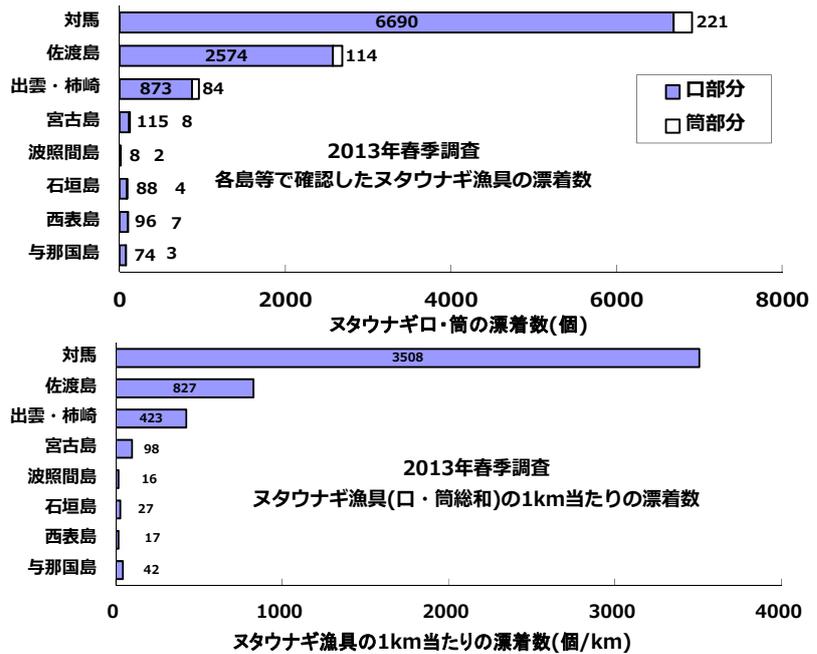


図1.8 2013年春季調査：ヌタウンギ漁具ゴミの漂着



写真1.9 大量漂着する管球類ゴミ  
西表島野原海岸

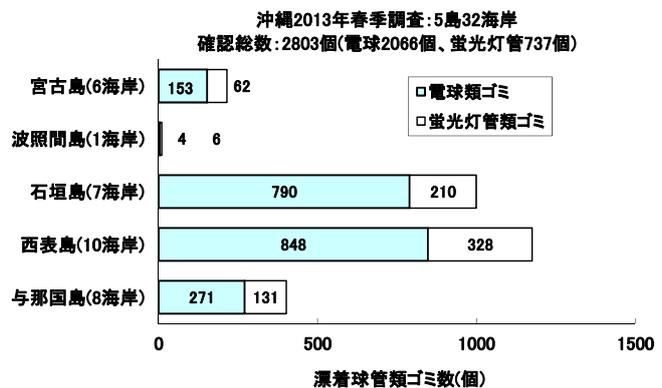


図1.9 2013年春季調査：管球類ゴミの漂着

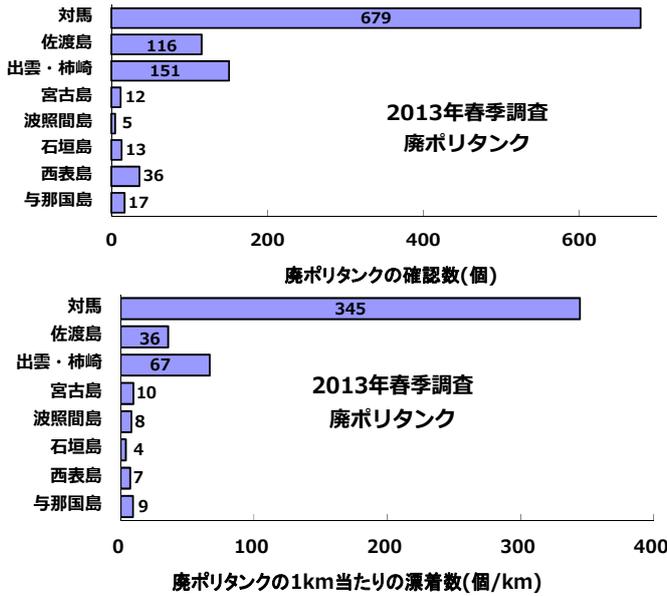


図 1.10 2013 年春季調査：廃ポリタンクの漂着

表 1.2 廃ポリタンクの確認状況  
(2013 年春季調査)

島	調査海岸数	調査海岸長 (km)	ポリタンク (個数)
与那国島	8	1.83	17
西表島	10	5	36
石垣島	7	3.35	13
波照間島	1	0.62	5
宮古島	6	1.25	12
総計	32	12.05	83



写真 1.10 危険な廃ポリタンク的大量漂着(長崎県対馬)

### 1. 3 漂着ゴミと有害化学物質との関連に関する検証・評価の重要性

#### 1. 3. 1 漂着ゴミの汚染リスク

我が国の漂着ゴミ問題の特質の一つには、沖縄県八重山諸島などの琉球列島や長崎県対馬・山陰・北陸などの日本海沿岸域に打ち上がる近隣アジア諸国からの夥しい量の海洋越境ゴミが挙げられる。漂着ゴミには医療廃棄物を始め、ガスボンベ、消火器、農薬ビン、廃油ボール、管球類（電球類・蛍光灯管類）等の多種類の危険・有害物質も多数確認されているが、大半は生活廃棄物と漁業廃棄物が占めている。種類は多岐に亘るが、漂着ゴミのほとんどは石油製品であり、劣化・腐食・分解によって有害な化学物質が海水・海浜等へ曝露され、砂浜・湿地・干潟等の土壌・水質汚染や海浜生態系への影響が懸念される。漂着ゴミから誘発される有害化学物質の解明に関する取り組みは、土壌・水質・生態系に及ぼす汚染リスクの評価と同時に、漂着ゴミの回収除去・処理処分事業を加速・持続させていく重要な役割を担っている。即ち、発生源の解明・抑制に止まらず、国家的・行政的な責任の下で、持続的な処理処分・削減防止対策に向けた積極的な取り組みの促進に繋がることになる。

今もなお日本列島の海岸線では、大量の漂着ゴミが押し寄せて海浜への蓄積を繰り返している。軽量かつ膨大であるため、地域特有の海岸地形や波風等により植生帯や海浜林等の内陸部に細片化して侵入・拡散し、回収不能な姿を曝している場合が多い。また破片・微細化したこれらの漂着ゴミを海洋生物が誤飲し死亡するケースは後を絶たない。一旦自然界に流出したプラスチック類ゴミは容易に分解されず、長期間に亘って海洋・海浜生態系に潜在的な負荷効果を与えている。また石油産物であるプラスチック片や発泡スチロール片のゴミはそれ自体に有害化学物質を含んでいる。しかも漂流・浮遊過程で吸着した汚染物質を拡散・運搬する役割を担っている。

海岸漂着ゴミ問題に関して、有害化学物質による汚染学的視点から、自然環境に与えるリスクを科学的に解明し警告を発していくことは、漂着ゴミの回収除去の徹底・迅速化を啓発し、軽減防止対策の一層の促進・持続化を図ることの重要性に関する社会的認識を高揚させていく意味で、極めて有益なことである。

### 1. 3. 2 科学的検証・評価のポイント

環境汚染のリスクが高い多種類の海岸漂着ゴミを対象として、水質・土壤環境基準等に規定している無機系重金属類等の有害化学物質を主体に分析評価を試み、漂着ゴミを汚染物質としての視点から考察を加え、科学的に解明することに主眼を置いている。主要な検証・評価事項を下記に列挙する。

(1) 漂着ゴミの長期放置や浜焼き行為によって曝露される有害化学物質の評価について、大量漂着ゴミで被覆された海浜砂や回収漂着ゴミの焼却灰を含んだ海浜砂での分析結果から検証し、石油化学物質を主成分としている漂着ゴミは、有害化学物質の供給源となるリスクが高く、砂浜・湿地・干潟等の水質・土壤汚染を誘発する危険性を指摘する。

(2) 漁具類として多用され海岸汚染ゴミの元凶的存在ともなっている発泡スチロールブイやその破片群は、孔隙的な組織構造を有していることから、海域等で有害化学物質を吸着（溶出）し、運搬・移動・拡散させる役割を担っていることを明らかにし、迅速な回収除去の徹底と重要性を指摘する。

(3) 多種類の漂着ゴミの中から典型的なものを選定して、漂着ゴミの国籍・種類別ごとに、ゴミ個々の有害化学物質の評価を試みる。まず漂着ゴミの大半を占めている容器類等のプラスチック類ゴミと大型ブイ・フロート類のプラスチック製漁具類ゴミについて検証する。プラスチック類ゴミは国籍による規格の相違に加え、用途や色調などに応じて添加剤や着色剤などの化学物質が混入されていることから、我が国のものも含め近隣アジア諸国からのものを国籍別に区分し、それぞれ、代表的な色調・材質の異なるプラスチック類ゴミを多種類選定して、ゴミ自体に含有されている有害化学物質の量とその溶出性の評価を試みる。なお重金属類等の有害化学物質は酸に溶解する性質が高いことから、プラスチック製ゴミについては、海生生物の誤飲による体内（胃液等は酸性度が高い）への取り込みなどを想定して、溶出液の酸性度（pH）の相違が有害化学物質の溶出性に及ぼす影響についても考察を加える。

## 2. 漂着ゴミ等の分析サンプルと化学成分評価の分析・実験

発泡スチロールブイ、大型ブイ・フロート類、容器類等の各種のプラスチック類ゴミの典型的な漂着ゴミから選定した分析サンプルについて説明すると共に、分析サンプルの前処理方法や溶出方法に加え、有害化学物質の検証・評価のために実施した蛍光 X 線分析と原子吸光分光分析について概説する。

### 2. 1 サンプルングと分析サンプル

有害化学物質の検証・評価のために準備した分析サンプルの概要を表 2.1 にまとめている。大半は沖縄県の八重山・宮古諸島でサンプルングした漂着ゴミを対象としている。なお海洋・海岸域間での特徴の把握や他海岸域との比較検証が求められる場合には、必要に応じて全国的に採取した分析サンプルをも準備した。

表 2.1 分析対象とした各種漂着ゴミ等に関する概要と分析ポイント

対象分析サンプル		分析サンプルの種類	分析のポイント
プラスチック類ゴミ	漁具類	大型丸ブイ類、小型フロート類、ヌタウナギ漁具	種類別・国籍別に有害化学物質の含有・溶出性の評価、pH効果
	容器類	飲料・洗剤用等の容器	国籍別に有害化学物質の含有・溶出性の評価、pH効果
	発泡スチロール片	漂着発泡スチロール(ブイ等用)、非漂着ゴミ-発泡スチロール(緩衝材用)	有害化学物質を含む含有元素成分組成の評価
	レジンペレット	プラスチック容器類の中間材料(樹脂粒子)	有害化学物質の溶出性の評価
浜焼き砂		浜で焼却処分された漂着ゴミの灰が混在した海浜砂	溶出有害化学物質の優位性の評価
被覆海浜砂(ゴミ下砂)		大量漂着ゴミに覆われた状況にある海浜砂	溶出有害化学物質の優位性の評価
海浜砂(非ゴミ下砂)		漂着ゴミの影響の少ない海浜砂(波打ち際付近)	浜焼き砂・被覆砂との溶出有害化学物質の比較評価

#### (1) プラスチック類ゴミ

多岐に亘る漂着ゴミの典型例であるプラスチック類ゴミでは、漁具類、容器類、発泡スチロール片、レジンペレットの4種類を分析サンプルとした。

①漁具類ゴミ：多くの海岸で大量漂着を繰り返している大型丸ブイ類、小型フロート類ゴミ(棒型・樽型・丸型浮子等)、ヌタウナギ漁具(口・筒部分)を選定し、種類・国籍・色調等から区分して分析サンプルとした。

②容器類ゴミ：海岸でランダムにサンプルングした種々の飲料・食品・洗剤用等の容器類の漂着ゴミを国籍別(日本製、中国製、台湾製、韓国製、他外国製)に区分し分析サンプルとした。

③発泡スチロール片：ブイに使用されたものや長期間漂流・浮遊し、波にもまれて角張の削れた丸状小片を海岸ごとに多数採取し分析サンプルとした。発泡スチロール片は漂流・漂着ルートによって吸着される有害化学物質の特性が異なることが想定されるので、海岸ごとに有害化学物質の検証・評価が必要となる。なお海岸漂着したものと比較検証するために緩衝材用の発泡スチロール片を非漂着ゴミの分析サンプルとした。

なお発泡スチロール片を除いた各種のプラスチック類ゴミの分析サンプルは、プラスチック自体に含まれている有害化学物質を検証・評価するために、化学成分分析の前に、入念な洗浄を行い表面に吸着している汚れは予め除去している。

#### (2) 浜焼き砂・被覆海浜砂(ゴミ下砂)・海浜砂(非ゴミ下砂)

石油産物を主体としたプラスチック類の漂着ゴミによる直接的な汚染リスクを検証・評価するために、2種類の海浜砂を分析サンプルとして準備した。

①浜焼き砂：回収した漂着ゴミを海岸で焼却処分することは禁止されているが、未だに漂着ゴミの浜焼き行為の痕跡に遭遇する。浜焼き行為禁止の徹底に繋げるため、漂着ゴミの焼却灰が混在した浜焼き砂を分析サンプルとして、その汚染リスクを科学的に検証・評価する。

②被覆海浜砂(ゴミ下砂)：漂着ゴミの迅速且つ持続的な回収除去の重要性について科学的に警鐘を鳴らす意

味で、大量漂着ゴミで被覆放置された海岸を選定し、被覆漂着ゴミ下の海浜砂(ゴミ下砂)を分析サンプルとして、有害化学物質による汚染リスクを検証・評価する。

③海浜砂(非ゴミ下砂):浜焼き砂や被覆海浜砂の汚染リスクを評価するためのバックグラウンド的な分析サンプルで、浜焼きや被覆効果を受けていないと思われる浪打際付近の海浜砂である。

以上、蛍光 X 線分析と原子吸光分光分析法によって化学成分評価を実施するための各サンプルについて概説した。

## 2. 2 分析サンプルの前処理と溶出試験方法

重金属類等の有害化学物質などの化学成分の分析では、分析サンプルの含有成分量は蛍光 X 線分析法で、分析サンプルからの溶出成分量は原子吸光分光分析法によってそれぞれ評価することから、そのための前処理と溶出試験(原子吸光分光分析を行う場合)を行うことが必要となる。分析サンプルの成形・作製方法や留意事項等を含め説明する。

### 2. 2. 1 分析サンプルの前処理

#### (1) プラスチック類ゴミ(漁具類・容器類・レジンペレット)

各種のプラスチック類ゴミ(発泡スチロール片を除く)のサンプルでは、プラスチック自体に含まれている有害化学物質を検証・評価することに主眼を置いていることから、**サンプル表面の汚れや塩分等を除去するため、脱イオン水を流し入念に洗浄した後、再度超音波洗浄し、表面に吸着している汚れを予め除去した。**



写真 2.1 洗浄後円板状に裁断した分析サンプル

①蛍光 X 線分析用の分析サンプル: 漁具類と容器類のプラスチック類ゴミについては単体サンプルを裁断し、直径 4cm 程度の円板状の分析サンプルを作製した(写真 2.1)。大型丸ブイや小型フロート類は、裁断した破片が曲面になっている場合にはプレスして平面に成形した。なおレジンペレットでは本分析を行っていない。

②原子吸光分光分析用の分析サンプル: プラスチック片からの溶出性を促進するために、漁具類と容器類のプラスチック類ゴミは、それぞれ単体を数ミリ四方程度以下の細片状に裁断し、よく混合均一化を図って、分析サンプルとした(写真 2.2)。レジンペレットは当初より微細粒子なので、よく洗浄したものをそのまま分析サンプルとして用いた。



写真 2.2 細片状の分析サンプルとレジンペレット(左)

#### (2) 発泡スチロール片ゴミ

蛍光 X 線分析用の分析サンプル: 空気乾燥して水分を除去した後、漂着までの汚染物質の吸着性を評価するために、採取した丸形状の小



写真 2.3 発泡スチロール片の分析サンプル

片は洗浄せずにそのままプレスし、直径 4cm 程度の円板状(厚さ 1.5~3 mm)に切り取り分析サンプルとした(写真 2.3).

(3) 浜焼き砂・被覆海浜砂(ゴミ下砂)・海浜砂(非ゴミ下砂)  
いずれの海浜砂も、サンプリング後空気乾燥し、2 mmふるい通過分を試料土として用いた。

①蛍光 X 線分析用の分析サンプル: 振動ミルで粉碎した試料土の紛体をアルミリングに充填し、加圧成形機でペレットを作製して分析サンプルとした(写真 2.4).



写真 2.4 各種海浜砂の分析サンプル

②原子吸光分光分析用の分析サンプル: 2 mmふるい通過分の試料土を約 50g 用いて、1 分析サンプルとした。

## 2. 2. 2 分析サンプルの溶出試験方法

土壌中の汚染物質(有害化学物質など)の溶出による土壌・地下水汚染の有無や程度を判定するために、一般に、環境庁告示第 46 号(1991 年、「環告 46 号」と呼称)に基づく溶出試験方法が採用されている。また土質・地盤工学分野の専門学会である地盤工学会では、「環告 46 号」の方法に準拠した溶出試験方法を標準化している。「環告 46 号」の溶出試験方法は下記のように規定されている。

『ふるいで粒径 2mm 以下に調製した試料土を用い、溶媒液は、塩酸で pH5.8~6.3 に調製した常温の蒸留水を用いる。固液比が 1:10 となるように混合し、振とう幅が 4~5cm、毎分 200 回の速度で、6 時間平行振とうする。振とう後 10~30 分静置した後、毎分約 3,000 回転で 20 分間遠心分離した後の上澄み液を孔径 0.45 $\mu$ m のメンブレンフィルターで濾過し、その濾液を検液とする。』

即ち、ここでの溶出試験は、漂着ゴミを主体として、溶出する有害化学物質を定量分析(原子吸光分光分析による)するための溶出検液を作製する試験である。そこでプラスチック類など多種類の物質から構成される漂着ゴミに関する公定的な溶出試験方法がないことから、また各種の状況下にある海浜砂(浜焼き砂、被覆海浜砂(ゴミ下砂)、海浜砂(非ゴミ下砂))をも分析対象としていることで、「環告 46 号」に準拠して溶出試験を実施することとした。

分析対象とした漂着ゴミの形状、寸法、重さ、材質など様々で、統一的な分析条件を設定することは難しい。各漂着ゴミで、前処理した分析サンプルの特性を考慮して、溶出条件を表 2.2 のように設定した。土壌を対象とした「環告 46 号」と異なる点は、主に溶媒液と固液比(溶媒液とサンプル質量の比)で、吸引濾過などの他の操作は同一に設定している。

表 2.2 対象分析サンプルの溶出試験における溶出条件

対象分析サンプル		溶媒液とその pH	固液比	サンプル質量	浸潤期間	振とう条件
プラスチック類 ゴミ	漁具類	HCl 調製液: pH=5.84, 4.69, 2.59, 0.65	1:3	10g	1ヶ月	1時間×4回
	容器類	脱イオン水(pH=5.93)				
	レジンペレット	HCl 調製液: pH=2.59				
浜焼き砂	脱イオン水(pH=5.93)	1:10	50g	—	6時間	
被覆海浜砂(ゴミ下砂)						
海浜砂(非ゴミ下砂)						

(1) 『溶媒液』について

①「環告 46 号」では塩酸(HCl)を添加して溶媒液の pH を 5.8~6.3 に調製するとしているが、用いた脱イオ

ン水(純水)の pH が 5.93 と調製範囲にあることから、3 種類の海浜砂の場合には、そのまま脱イオン水を溶媒液として使用した。なお脱イオン水(pH5.93)を溶媒液として用いた溶出結果は、脱イオン水に HCl を添加し pH を 5.76 とした溶媒液の結果と殆ど差異の無いことを検証している。

②プラスチック類ゴミの漁具類・容器類・レジンペレットでは、海生生物の体内への取り込み(胃液, pH が約 2), 漂着後の酸性雨(pH が 4~5.6)の影響, 酸に伴う重金属類等の溶出性の促進などを考慮して, HCl の添加量を調製して pH の異なる溶媒液を用いた。

#### (2) 『固液比』について

①3 種類の海浜砂と管球類ゴミについては、「環告 46 号」と同様に、固(サンプル質量)液(溶媒液質量)比を 1 : 10 に設定している。分析サンプルの前処理で記述したように、3 種の海浜砂では 2 mm ふるい通過分を約 50g 用いた。

②プラスチック類ゴミの漁具類・容器類・レジンペレットでは、固液比を 1 : 3 に設定している。小型フロート類や容器類には軽量の単体もあることから、分析サンプルの前処理で記述したように、漁具類と容器類は細片化したものを、またレジンペレットはそのまま約 10g 用いた。

#### (3) 『水平振とう』について

「環告 46 号」に規定されているように、土壌に関する水平振とう(振とう幅：4~5cm, 振とう速度：200 回/分, 振とう時間：6 時間)では、分析サンプルに溶媒液を添加した後、直ちに開始することができることから、3 種の海浜砂については規定通り実施した。他の漂着ゴミの分析サンプルは、溶媒液中に 1 ヶ月間浸潤し、その間 1 週間ごとに 1 時間の振とうを 4 回繰り返して、有害化学物質の溶出の促進を図った(写真 2.5)。



写真 2.5 プラスチック類ゴミなどの分析サンプルは 1 ヶ月浸潤し、その間 4 回の振とうを実施し、溶出の促進を図った

## 2. 3 主要化学成分(重金属類等)評価のための分析試験

### 2. 3. 1 蛍光 X 線分析法による主要化学成分組成の分析

分析サンプルを構成している主要な元素・酸化物成分組成を把握するための分析である。分析には蛍光 X 線回析装置(LAB CENTER XRF-1500 型・島津製(写真 2.6))を用い、ファンダメンタルパラメーター法(FP 法)によって定量分析を実施している。本装置の機能上、元素番号 6 の炭素(C)より大きい元素番号の元素含有量の測定が可能である。FP 法では、通常、検出元素成分の総質量を 100%として、各元素成分の含有量は質量百分率(%)で定量評価される。

なお蛍光 X 線分析法は X 線管から発せられる X 線を分析サンプルに照射するため、サンプルの広い領域における平均的な含有元素成分の分析が可能である特徴を有している。また測定サンプルを溶解する必要がないため、サンプルをそのままの状態での測定できる非破壊分析である。

### 2. 3. 2 原子吸光分光分析法による有害元素成分の分析

各種の漂着ゴミや海浜砂から抽出した溶出検液を用い、有害化学物質を定量する分析法である。本分析法での対象元素は、水質・土壌汚染に関する環境基準等に規定されているものを主体に、いずれも人を含め動物植物生態系などの自然環境へのリスク性の高い重金属類等の 13 元素 (As, Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, Al, Ni, Sn, Mn, Sb, Ti, Ba) とした。

なお重金属類等の各元素成分の溶出量は ppb ( $\mu\text{g/l}$ ) オーダーで検出されるが、ここでは各サンプルの単

位乾燥質量 1kg 当りからの溶出量( $\mu\text{g}$ )に換算して表示することから、溶出量の単位は「 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 」（溶出量が大  
きい場合は「 $\text{mg}/\text{kg}$ 」）で表示している。本分析ではファーネス型原子吸光分光光度計（島津製 AA-6500 型  
（写真 2.7））を使用した。

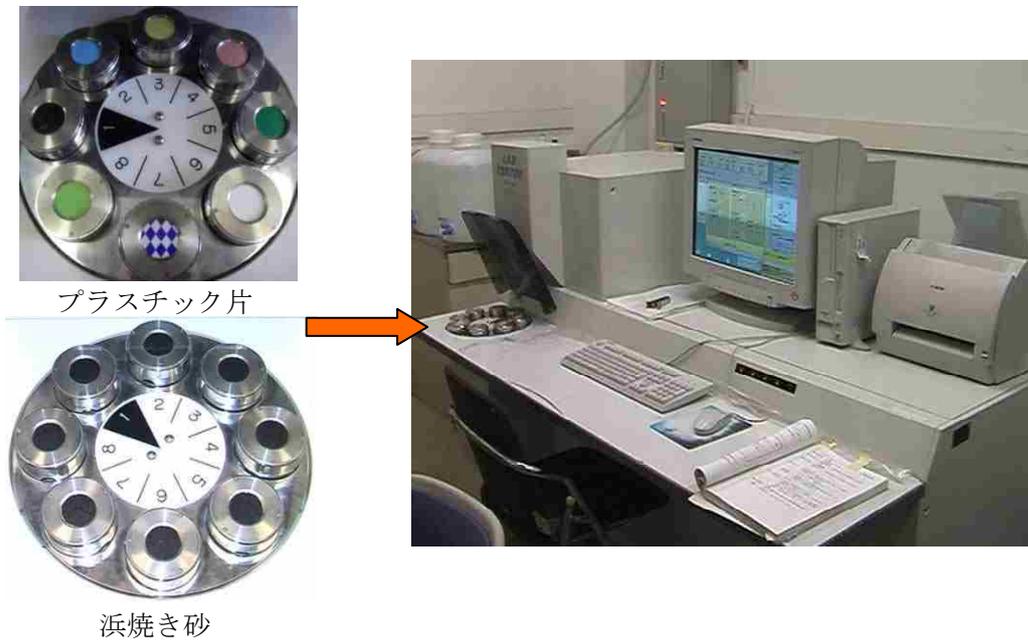


写真 2.6 プラスチック片や海浜砂等の有害化学成分等の  
含有元素成分を分析する蛍光 X 線装置



写真 2.7 プラスチック類ゴミ等から溶出す  
る重金属類等の有害化学物質を  
定量分析する原子吸光分光光度

### 3. 海岸生態系や水質・土壌の自然環境に及ぼす漂着ゴミの汚染リスク

#### 3.1 危険で有害な漂着ゴミによる直接的リスクの甚大性

これまで何度も論述してきたように、沖縄県の海岸域では大量の漂着ゴミに混じって、人を含め海生生態系にとって深刻な影響を及ぼす、種々の危険な有害ゴミの漂着も多い。特に、大小様々な針付注射器類、血液の様な赤褐色液体が残存した医薬ビンや点滴器具類等の医療廃棄物は特異な漂着ゴミの一つとなっている(写真 3.1)。1998 年から着手した八重山・宮古諸島を中心とした沖縄でのこれまでの調査では、大きさの様々な注射器と医薬ビンの医療廃棄物を 3726 個確認している。調査海岸 1 km 当りに換算すると 11.4 個の割合で漂着していることなる(図 3.1)。海生生物等への細菌・抗菌などによる汚染リスクなどを懸念すると、直接的な感染リスクの甚大性には計り知れない脅威を感じる。



写真 3.1 危険極まりない医療廃棄物の漂着(沖縄の海岸で採取)

同様に沖縄の海岸域では家庭や漁船用に使用された電球類や蛍光灯管類ゴミの夥しい数の漂着は極めて深刻な実態となっている。漁船用のものの中には、直径 20~30 cm の大型電球類も多数確認され、海岸域の安全性確保の観点から非常に危険な漂着ゴミとなっている。のみならず当然、破損や劣化によってダイレクトに水銀などの有害な重金属類が自然環境下に曝露されることから、海岸域の生態系を始め土壌・水質汚染へのリスクが極めて高い。この危険な管球類ゴミの汚染リスクに関する科学的評価・検証については、後章で詳述している。

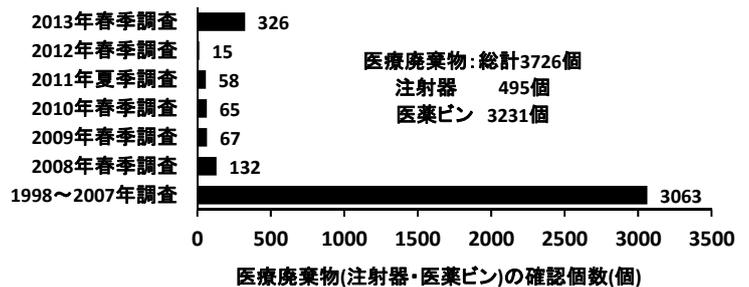


写真 3.1 これまでの沖縄での漂着ゴミ調査で確認した医療廃棄物の実態

また度々発生する大量廃油ボールの広域漂着も海岸域でのダイレクトな汚染リスクとなっている。予断・猶予を許さない回収除去の難儀性に加え、気温の高い沖縄では、回収除去の滞りにより漂着廃油ボールが溶解し、サンゴ白砂浜に壊滅的な打撃を齎す可能性が非常に高い。元来、廃油ボールは重油なので、当然、有害な化学物質をも含有している。遊泳する廃油ボールの微小な粒が、海鳥や魚などの海生生物の体内に取り込まれている事例は多数報告されている。この漂着廃油ボールの汚染リスクの甚大性についても、後章で科学的な検証・評価を試みている。



写真 3.2 中国製冷蔵庫の漂着  
与那国島の海岸

他にも目に付く海洋投棄された冷蔵庫、洗濯機、テレビ、空調器、ガスボンベなどの漂着粗大ゴミは(写真 3.2)、回収処分が厄介なばかりだけではなく、鉛やクロムなどの重金属類の曝露によって、直接的な汚染リスクを齎す危険且つ有害な漂着ゴミである。

### 3. 2 未だに行われている大量漂着ゴミの浜焼き行為

かつて足の踏み場もないほど山のように漂着ゴミで覆われ、巨大廃棄場と化していた沖縄の多くの海岸では、近年の調査時には、清掃痕跡の窺われる海岸に遭遇する機会が多くなった。深刻化する漂着ゴミ問題の重要性に関する社会的認識の高揚で、実践的な活動に対する普及啓発が一段と図られてきている。しかし善意な海岸清掃活動での止むない行為はと思われるが、未だに回収された大量漂着ゴミの浜焼き痕跡が点在する海岸に遭遇する(写真 3.3)。そのような海岸は、沖縄のみならず全国的にまだ多い(写真 3.4)。焼却痕跡がほぼ等距離間隔で十箇所以上に亘って点在する浜、直径数 m に及ぶ大規模な焼却痕跡の浜、毎年浜焼きが繰り返されている痕跡の浜などに遭遇してきた。浜焼き跡には容器やフロート類ゴミの半燃焼残片、管球類やビン類ゴミのガラス破片や金属片等の不燃焼残片が確認される。17 年間に亘るこれまでの調査で、沖縄県の海岸に打ち上がる漂着ゴミの 80%以上は、多種類のプラスチック類ゴミが混在している。漂着プラスチック類ゴミには、漂流中に吸着した汚染物質を始め、プラスチック自体には色調や用途・機能向上などのために有害化学物質を含んだ着色剤や添加剤等が混入されている場合が多い。後章で浜焼き砂の汚染リスクを科学的に検証しているが、大量漂着ゴミの浜焼きによって発生する焼却灰の海浜砂への曝露は、有害化学物質による海岸域の汚染リスクを高める行為となる。しかも焼却で生成される炭化物の大量混在による浜の黒色化は、沖縄独特のサンゴ白砂浜の海浜景観に甚大な打撃を与えることに繋がる。

海岸環境の保全上、禁止されている「浜焼き行為の禁止徹底」と同時に、キャンプなどのレジャー等での「焚火・直火行為の禁止徹底」について、繰り返して警鐘を鳴らしていくことが重要である。

### 3. 3 大量漂着ゴミによる海浜植生帯への打撃

沖縄県の中でも、河口から下流河岸部を中心に汽水域に鬱蒼と繁茂する八重山諸島の西表島のマングローブジャングルは、我が国では最大規模を誇る。マングローブ群落を形成する汽水域では潮の満ち引きが絶えることなく繰り返され、豊かな生物の棲息環境を育んでいる。マングローブの落葉は腐植分解してプランクトン、魚貝類、甲殻類などの水生生物の栄養源となる。また軟弱な泥土の湿地や網の目のように巡らされた呼



2013 年春季石垣島南星野海岸



2013 沖縄春季石垣島明石海岸



2014 年春季西表島  
大原海岸

2010 年春季与那  
国島ナンタ浜

2010 年春季宮  
古島マイバービ  
ーチ

写真 3.3 沖縄の海岸で未だに行われている漂着ゴミの浜焼き行為の痕跡



2014 年春季長崎県対馬  
越高海岸

2014 年春季佐渡島岩谷口海岸

写真 3.4 長崎県対馬や新潟県佐渡島の海岸でも行われている漂着ゴミの浜焼き行為

吸根・支柱根などの根茎は、水生生物に絶好の棲息場を提供してくれる。マングローブ湿地を棲み家とする小生物などを餌とする水生生物や両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類の餌場・棲息場にもなっている。さらに陸地とサンゴ礁リーフの境界域に生育するマングローブ群落の湿地では、棲息する貝類・甲殻類などの底生生物が海水や河川の水質浄化に大きな役割を担い、陸域からの土砂や泥土、排水や汚水などが、直接、河口から海に流出するのを食い止



写真 3.5 西表島マングローブ湿地に漂着したドラム缶等な大型ゴミ

める貴重な天然フィルターの役割を果たしている。窒素やリンなどによる富栄養化を監視し、濁水や汚染物質を濾過し、常に高い透明度で美しいサンゴ礁を育む海の生態系を守る機能を有するマングローブ湿地は、自然が造り上げた天然の生態系保全バリアで、その存在意義は計り知れない。

一方、河口部汽水域では、支柱根、呼吸根、板根などの独特な根茎を有するマングローブ群落は海から押し寄せ大量漂着ゴミのダメージを受ける機会が極めて高く、海岸域と同様、マングローブ湿地も廃棄場と化す危険性に曝されている。

マングローブ湿地では群落の奥深くまで入り込み根茎に絡みつくように漂着しているため、これらの漂着ゴミのほとんどは、自然力では群落から抜け出すことは不可能である。難分解性のプラスチック類ゴミが主体であるが、ドラム缶などの大型ゴミの漂着もあり(写真 3.5), 湿地を棲息場とする底生生物への汚染リスクが懸念されている。



写真 3.6 マングローブに複雑に絡み付く漁網やブイ等の漂着ゴミ(西表島)

またマングローブ群落では、根茎に十数 m の太いロープが鎖のように複雑に絡まっているヒルギ、発泡スチロールブイやペットボトルが巻きつい

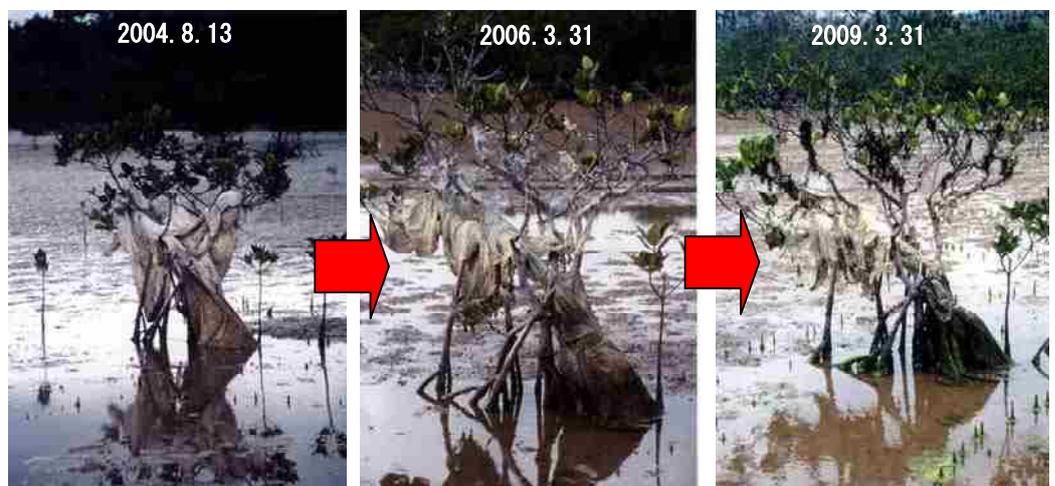


写真 3.7 いつまでも制圧するようにヒルギに絡み付く漂着ゴミ(西表島の海岸)

ているヒルギ、漁網やポリシートに覆われ生育が圧迫・阻害されているヒルギなど、無残な姿を曝す切ない光景に出会う(写真 3.6)。ロープや漁網などは合成繊維で製造されているため耐久性が高く、一端絡まると腐食劣化するのに極めて長い年月を要し、何年もギブスをかせられたように制圧され、鎖で縛られたように成長することを余儀なくされている。(写真 3.7)。漂着ゴミのダメージにより根腐れ・折損・枯死で植勢が衰弱する危険性が高く、大量漂着ゴミの流れ込みでマングローブ群落の荒廃が懸念される。

しかし近隣アジア諸国からの海洋越境ゴミが主体となっている八重山諸島などでは、有効な発生源対策を確立することは難しく、地道な清掃活動による撤去・回収作業が漂着ゴミ削減のための唯一の効果的手段となっている。マングローブは河口湿地帯に形成されており、急峻な山道や崖道を上り下りする場合が多く、陸側からの接近が難しく、漂着ゴミの撤去・回収・運搬に難義が強いられる。また湿地には希少なマングローブの幼芽・幼木や呼吸根・支柱根などの独特の根茎が群生し、底生生物等が棲息場とする動植物の貴重な生態系を育むオアシスが発達している。そのため、通常、海岸域で実施しているような清掃活動の手法ではマングローブ湿地の自然破壊や生態系への悪影響が懸念されており、しかも清掃活動の難儀性が足かせとなって、一層深刻な実態に拍車が掛かっているものと思われる。特異な湿地の植生や生態系に配慮した清掃活動の基本的マニュアルの作成が重要である。



写真 3.8 大量漂着ゴミの打ち上げによる海浜林などの植生帯の衰退と荒廃(沖縄県西表島の海岸)

さらに漂着ゴミによる海浜林を始め海浜植物の衰退・荒廃が懸念される。海浜林は海岸域の前面に生育している樹木で、防潮風林としての重要な役割を担っている。陸域の動物・植物の棲息・生育環境や生態系を自然に防御する機能を有している。海浜林の根元や周辺の植生帯には覆い尽くすように大量の漂着ゴミが打ち上がっており、これらの漂着ゴミは枝・幹・根に巻きついた太いロープや漁網による折損や樹皮の捲れなどと同様に、海浜林の樹勢の衰弱に拍車を掛け、台風などの強風や高波で、容易に倒伏する原因を生み出している可能性が高い(写真 3.8)。漂着ゴミによる被覆放置は海浜林などの海浜植物の生育・種子の発芽や海浜生物に影響を及ぼすリスクが高く、動植物生態系保全の観点から、海浜植生帯からの漂着ゴミを持続的に除去回収することが重要である。

#### 4. 漂着プラスチック類ゴミの有害化学物質の分析評価

##### 4.1 着色剤, 難燃剤, 可塑剤などの添加剤・成形助剤の混入

プラスチックは歴史上に登場してから、まだ200年たらずで、比較的新しい化学物質である。我が国では、1970年代の高度経済成長と共に、プラスチック製品の生産量は増加の一途を辿り、我々の生活必需品とたってきた。海岸漂着ゴミの大半を占めているのが生活廃棄物と漁業廃棄物である。これらには容器類や包装類プラスチック、ポリタンク、レジ袋、ブイ・フロート類など、多岐に亘る大小様々な大きさのプラスチック類ゴミが大量に含まれている。プラスチック類ゴミは、主に、海洋投棄・河川投棄されたものが海に流出し、海流や風力などに運搬されて列島沿岸域を漂流・移動して漂着する。さらに厄介なことは、プラスチック類ゴミは破碎して細片化し易く、しかも非常に軽量なため内陸部に拡散することで、海岸地表部に蓄積することである。海岸域近くの防潮風林や植生帯を掻き分けると草木内に混在しているのが多数散見できる。バクテリアによる分解や腐食による分解等、所謂、自然分解は難しい。プラスチックは自然界に長期間滞留して細片化や劣化はするものの、化学成分が無害化して完全に自然界に回帰することはほとんどない、極めて残留性の高い物質である。

近年では環境に配慮して、微生物の働きで分解される植物性の生分解型プラスチック製品が開発されている。循環型社会において積極的な使用が望まれているが、高価で保存性が悪いという弱点から、一般の生活製品等としてはあまり普及していないのが現状である。

表 4.1 主要無機顔料一例

石油生成物であるプラスチックは炭素(C)と水素(H)を主元素とした高分子化合物で、化合物の種類は多岐にわたるが、熱に対する性質から熱可塑性と熱硬化性樹脂に大別される。冷えると硬化する性質を示す熱可塑性樹脂の代表的なものに、ポリエチレン、6・6-ナイロン、ポリエチレンテレフタレート等がある。この熱可塑性プラスチックは全プラスチック類の9割近くを占めている。熱を加えると硬化する性質を有する熱硬化性樹脂の代表的なものには、フェノール樹脂、尿素樹脂、アルキド樹脂、メラミン樹脂等がある。通常、プラスチックには用途・機能に応じて、可塑剤、酸化防止剤、光安定剤、着色剤、難燃剤、帯電防止剤等の各種の成形助剤や添加剤が混入されている。これらの成形助剤や添加剤には有害化学物質が混入している場合が多い。例えば着色剤には顔料や染料が使用されており、中でも無機顔料の使用頻度が最も高い。表 4.1 に主要な無機系顔料の一例を示している。着色剤の成分元素には、

色相	汎用名・慣用名	基本構造	構成元素
黄	チタンイエロー	$\text{NiO} \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3 \cdot 20\text{TiO}_2$	$\text{Ni, Sb, Ti, O}$
	黄色酸化鉄	$\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe, O, H}$
	黄鉛	$\text{PbCrO}_4 \cdot n\text{PbSO}_4$	$\text{Pb, Cr, S, O}$
	カドミウムイエロー	$\text{CdS} \cdot n\text{ZnS}$	$\text{Cd, Zn, S}$
	亜鉛黄(ジシクロメート)	$\text{ZnCrO}_4 \cdot 4\text{Zn(OH)}_2$	$\text{Zn, Cr, O, H}$
橙赤茶	クロムオレンジ(パーミリオン)	$x\text{PbCrO}_4 \cdot y\text{PbO}$	$\text{Pb, Cr, O}$
	モリブデンレッド	$\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbMoO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$	$\text{Pb, Cr, Mo, S, O}$
	べんがら	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe, O}$
	鉛丹	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	$\text{Pb, O}$
	カドミウムオレンジ	$n\text{CdS} \cdot \text{CdSe}$	$\text{Cd, S, Se}$
紫青緑	カドミウムレッド	$n\text{CdSe} \cdot \text{CdS}$	$\text{Cd, Se, S}$
	コバルト紫	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Co}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Co, P, O, H}$
	群青(ウルトラマリンブルー)	$\text{Na}_{10-12}\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{32}\text{S}_2$	$\text{Na, Al, Si, S, O}$
	紺青(ミロリブルー)	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe, N, C, O, H}$
	コバルトブルー	$\text{CoO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Co, Al, O}$
	コバルトグリーン	$\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$	$\text{Co, Zn, O}$
	コバルトチタネイトグリーン	$\text{Co}_2\text{TiO}_4$	$\text{Co, Ti, O}$
白	酸化クロム	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Cr, O}$
	硫化華(ジシクロオキシド)	$\text{ZnO}$	$\text{Zn, O}$
	硫化亜鉛	$\text{ZnS} \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn, S, O, H}$
黒	酸化チタン	$\text{TiO}_2$	$\text{Ti, O}$
	カーボンブラック	C	C
体質顔料	鉄黒	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe, O}$
	炭酸カルシウム	$\text{CaCO}_3$	$\text{Ca, C, O}$
	沈降性硫酸バリウム	$\text{BaSO}_4$	$\text{Ba, S, O}$
	クレー(カオリン)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al, Si, O, H}$
	タルク	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg, Si, O, H}$
蛍光	ホワイトカーボン	$\text{SiO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$\text{Si, O, H}$
	硫化亜鉛	$\text{ZnS}$	$\text{Zn, S}$
	ケイ酸亜鉛	$\text{Zn}_2\text{SiO}_4$	$\text{Zn, Si, O}$
金属粉	硫化カルシウム	$\text{CaS}$	$\text{Ca, S}$
	アルミニウム粉	Al	Al
	ブロンズ粉	$\text{Cu} + \text{Zn} + \text{Al}$	$\text{Cu, Zn, Al}$

鉛(Pb), 亜鉛(Zn), カドミウム(Cd), クロム(Cr), セレン(Se), アンチモン(Sb), チタン(Ti)などの有害元素が含まれている。近年では Pb, Cd, Cr などの有害な重金属系顔料の使用量は減少しているが, 黄鉛などは経済面で他顔料への代替が難しく, ポリ塩化ビニルのプラスチックなどには未だに広く使用されている。他にも, 特に臭素(Br), 燐(P), 塩素(Cl), アンチモン(Sb), アルミニウム(Al), マグネシウム(Mg)等は難燃剤として, また可塑剤として燐(P), 塩素(Cl)等が添加・混入されている場合が多い。

このように種々のプラスチックに加えられる成形助剤や添加剤には, 多種類の有害化学物質が含有されている。当然, 近隣アジア諸国からの海洋越境ゴミの場合には, 生産国の製品規格や素材の違いによって, 有害化学物質の種類・添加量は異なっている。いずれにせよ海岸に打ち上がる漂着ゴミの 8 割以上がプラスチック類ゴミであることからすれば, 回収除去の停滞や不適切な処理処分によって, 自然界への有害化学物質の曝露が懸念される。そのような視点から, 漂着プラスチック類ゴミからの有害化学物質を科学的に評価することは, 海岸域における砂浜・湿地・干潟などの水質・土壌汚染, 如いては海生生態系への影響が懸念される汚染リスクを検証・低減することに繋がり, 漂着ゴミ問題においては必須な究明すべき課題である。

#### 4. 2 サンプリングと分析サンプル

##### 4. 2. 1 プラスチック類ゴミのサンプリング

発泡スチロール片と同様, ペットボトルや容器類のプラスチック類ゴミもまた, 洋上を漂流・浮遊中に有害化学物質を吸着して拡散・移動させることが指摘されている。プラスチック類ゴミのリサイクル・リユース等の再利用化はかなり普及しているが, 一旦, 海洋に流失すると完全に回収除去することは非常に難しい。

紫外線や波風の影響を受け, 風化・劣化して破砕を繰り返すと細粒化し, 拡散・移動が一層容易になるため, 洋上・海岸での回収はほとんど不可能となる。誤飲による海洋生物への摂食被害と同時に, プラスチック表面に吸着した汚染物質やプラスチック自体に添加された有害化学物質による海生生態系への影響及び水質・土壌汚染を引き起こす危険性が懸念される。漂着プラスチック片に関して, 成分分析に基づいた化学的評価が求められている。

漂着プラスチック片の成分分析では, プラスチック片に含有されている元素成分を評価するための蛍光 X 線分析と, プラスチック片自体から溶解する有害元素を評価するための溶出試験を実施し, 抽出した溶出液を用いた原子吸光分光分析を実施した。

分析に用いたプラスチック類ゴミは, 沖縄 2013 年春季調査でサンプリングした国籍, 種類, 色調等の異なる様々な形態の典型的な漁具類と容器

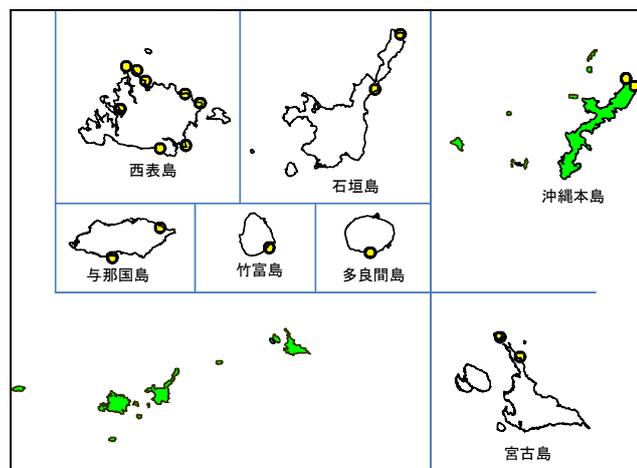


図 4.1 プラスチック類ゴミのサンプリング調査海岸域

表 4.2 漂着プラスチック類ゴミの分析サンプル

分析サンプル	分析サンプル数(個)					累計
	中国製	韓国製	台湾製	日本製	不明	
大型丸ブイ類	15	4	1	5	2	27
棒型浮子類 (フロート細)	36		1		3	40
棒型浮子類 (フロート太)	8	1			1	10
丸型浮子類 (丸フロート)	11	5			2	18
スタウナギ具 (口・筒部)		2			1	3
タコツボ						
容器類	9	4	3	11	6	33

類ゴミが主体である(図 4.1).

沖縄県与那国島・西表島・宮古島などの海岸で採取した 131 サンプルの漂着プラスチックゴミを、有害化学物質評価のための分析サンプルとして用いた。表 4.2 には採取した分析サンプルの概要をまとめている。さらにその詳細を表 4.3 に一覧表示している。沖縄での典型的な漂着ゴミである大型丸ブイ類(27 サンプル)、小型浮子(フロート)類(3 タイプのもの 68 サンプル)、ヌタウナギ具・タコツボ(3 サンプル)、容器類(33 サンプル)を対象として、有害化学物質の含有・溶出性の検証に用いた。それぞれの分析サンプルの状況を写真 4.1 に示している。なお各分析サンプルでは 1 サンプル(単体)で、含有と溶出の両分析を行っている。

漂着プラスチック類のサンプリングに際しては、下記の事項に留意した。

- ①できる限り海岸の全長に亘って、万遍なくサンプリングを行うことに努めた。
- ②国籍(中国製・韓国製・台湾製等)や種類(色調・用途別)が判別し易いことから、タイプ別に複数の単体サンプルをできるだけ多く採取するように努めた。
- ③表面にひどい汚れや海藻・貝類・油汚れ等が付着しているものは除外した。
- ④表面に著しい傷や亀裂が入っているものは除外した。

表 4.3 種類・タイプごとに区分した各分析サンプルの一覧

(a) 沖縄2013年春季調査サンプリング 大型丸ブイ(大型プラスチックブイ)類							
国籍	番号 (色調)	サンプル番号		国籍 (色調)	国籍	タイプ	色調
中国製	1-1(黒)	1	1-1	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	24-1(黒)	2	24-1	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	24-2(黒)	3	24-2	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	26-5(黒)	4	26-5	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	7-1(黒)	5	7-1	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	8-4(黒)	6	8-4	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	10-2(黒)	7	10-2	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	28-1(黒)	8	28-1	中国(黒)	中国	大型丸ブイ	黒
	5-2(黒茶)	9	5-2	中国(黒茶)	中国	大型丸ブイ	黒茶
	12-1(黒茶)	10	12-1	中国(黒茶)	中国	大型丸ブイ	黒茶
	2-1(深緑)	11	2-1	中国(深緑)	中国	大型丸ブイ	深緑
	5-1(深緑)	12	5-1	中国(深緑)	中国	大型丸ブイ	深緑
	10-1(深緑)	13	10-1	中国(深緑)	中国	大型丸ブイ	深緑
	13-12(深緑)	14	13-12	中国(深緑)	中国	大型丸ブイ	深緑
	20-1(薄黄)	15	20-1	中国(薄黄)	中国	大型丸ブイ	薄黄
韓国製	3-1(黒)	16	3-1	韓国(黒)	韓国	大型丸ブイ	黒
	25-1(黒)	17	25-1	韓国(黒)	韓国	大型丸ブイ	黒
	8-1(緑)	18	8-1	韓国(緑)	韓国	大型丸ブイ	緑
	27-1(薄緑)	19	27-1	韓国(薄緑)	韓国	大型丸ブイ	薄緑
台湾製	20-2(白黄)	20	20-2	台湾(白黄)	台湾	大型丸ブイ	白黄
日本製	8-2(橙)	21	8-2	日本(橙)	日本	大型丸ブイ	橙
	14-1(橙)	22	14-1	日本(橙)	日本	大型丸ブイ	橙
	17-1(橙)	23	17-1	日本(橙)	日本	大型丸ブイ	橙
	23-1(橙)	24	23-1	日本(橙)	日本	大型丸ブイ	橙
	24-4(橙)	25	24-4	日本(橙)	日本	大型丸ブイ	橙
不明	8-3(黒)	26	8-3	不明(黒)	不明	大型丸ブイ	黒
	22-1(赤)	27	22-1	不明(赤)	不明	大型丸ブイ	赤

(b) 沖縄2013年春季調査サンプリング 棒型浮子(フロート細)類							
国籍	番号 (色調)	サンプル番号		国籍 (色調)	国籍	タイプ	色調
中国製	2-2(青)	1	2-2	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	4-3(青)	2	4-3	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	6-3(青)	3	6-3	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	6-4(青)	4	6-4	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	6-7(青)	5	6-7	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	6-8(青)	6	6-8	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	9-2(青)	7	9-2	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	13-9(青)	8	13-9	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	13-13(青)	9	13-13	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	17-2(青)	10	17-2	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	17-4(青)	11	17-4	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	30-1(青)	12	30-1	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	30-2(青)	13	30-2	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	30-3(青)	14	30-3	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	30-4(青)	15	30-4	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	30-5(青)	16	30-5	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	32-5(青)	17	32-5	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	32-6(青)	18	32-6	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	32-13(青)	19	32-13	中国(青)	中国	棒型浮子	青
	6-6(濃青)	20	6-6	中国(濃青)	中国	棒型浮子	濃青
	13-3(濃青)	21	13-3	中国(濃青)	中国	棒型浮子	濃青
	6-5(深緑)	22	6-5	中国(深緑)	中国	棒型浮子	深緑
	13-2(深緑)	23	13-2	中国(深緑)	中国	棒型浮子	深緑
	4-1(黒)	24	4-1	中国(黒)	中国	棒型浮子	黒
	9-1(黒)	25	9-1	中国(黒)	中国	棒型浮子	黒
	4-4(黄)	26	4-4	中国(黄)	中国	棒型浮子	黄
	13-4(橙)	27	13-4	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	13-14(橙)	28	13-14	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-6(橙)	29	30-6	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-7(橙)	30	30-7	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-8(橙)	31	30-8	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-9(橙)	32	30-9	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-10(橙)	33	30-10	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-11(橙)	34	30-11	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	30-12(橙)	35	30-12	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
	32-11(橙)	36	32-11	中国(橙)	中国	棒型浮子	橙
台湾製	4-2(青)	37	4-2	台湾(青)	台湾	棒型浮子	青
不明	13-11(深緑)	38	13-11	不明(深緑)	不明	棒型浮子	深緑
	9-3(橙)	39	9-3	不明(橙)	不明	棒型浮子	橙
	13-10(赤)	40	13-10	不明(赤)	不明	棒型浮子	赤

(c) 沖縄2013年春季調査サンプリング 樽型浮子(フロート太)類							
国籍	番号	サンプル番号		国籍	国籍	タイプ	色調
	(色調)			(色調)			
中国製	13-1(青)	1	13-1	中国(青)	中国	フロート太	青
	32-7(青)	2	32-7	中国(青)	中国	フロート太	青
	13-15(黒)	7	13-15	中国(黒)	中国	フロート太	黒
	29-2(黒)	3	29-2	中国(黒)	中国	フロート太	黒
	32-1(黒)	4	32-1	中国(黒)	中国	フロート太	黒
	17-5(深緑)	8	17-5	中国(深緑)	中国	フロート太	深緑
	6-2(薄黄)	5	6-2	中国(薄黄)	中国	フロート太	薄黄
韓国製	32-2(茶)	9	32-2	中国(茶)	中国	フロート太	茶
韓国製	29-1(黒)	6	29-1	韓国(黒)	韓国	フロート太	黒
不明	13-8(赤)	10	13-8	不明(赤)	不明	フロート太	赤

(d) 沖縄2013年春季調査サンプリング 丸型浮子(丸フロート)類							
国籍	番号	サンプル番号		国籍	国籍	タイプ	色調
	(色調)			(色調)			
中国製	11-2(青)	1	11-2	中国(青)	中国	丸フロート	青
	17-3(青)	2	17-3	中国(青)	中国	丸フロート	青
	17-6(青)	3	17-6	中国(青)	中国	丸フロート	青
	32-12(青)	4	32-12	中国(青)	中国	丸フロート	青
	13-7(深緑)	5	13-7	中国(深緑)	中国	丸フロート	深緑
	6-1(白黄)	6	6-1	中国(白黄)	中国	丸フロート	白黄
	13-5(白黄)	7	13-5	中国(白黄)	中国	丸フロート	白黄
	26-1(白黄)	8	26-1	中国(白黄)	中国	丸フロート	白黄
	26-2(白黄)	9	26-2	中国(白黄)	中国	丸フロート	白黄
	26-3(白黄)	10	26-3	中国(白黄)	中国	丸フロート	白黄
	32-4(白黄)	11	32-4	中国(白黄)	中国	丸フロート	白黄
韓国製	12-6(茶黄)	12	12-6	韓国(茶黄)	韓国	丸フロート	茶黄
	13-6(黄)	13	13-6	韓国(黄)	韓国	丸フロート	黄
	32-9(茶黄)	14	32-9	韓国(茶黄)	韓国	丸フロート	茶黄
	32-10(茶黄)	15	32-10	韓国(茶黄)	韓国	丸フロート	茶黄
	32-3(白黄)	16	32-3	韓国(白黄)	韓国	丸フロート	白黄
不明	32-8(黒)	17	32-8	不明(黒)	不明	丸フロート	黒
	11-1(薄黄)	18	11-1	不明(薄黄)	不明	丸フロート	薄黄

(e) 沖縄2013年春季調査サンプリング スタウナギロ・筒&タコツボ							
国籍	番号	サンプル番号		国籍	国籍	タイプ	色調
	(色調)			(色調)			
韓国製	1-1スタロ(黒)	1	31-1	韓国(黒)	韓国	スタウナギロ	黒
	4-3スタ筒(黒)	2	24-3	韓国(黒)	韓国	スタウナギ筒	黒
不明	26-4タコ(茶)	3	26-4	不明(茶)	不明	タコツボ	茶

(f) 沖縄2013年春季調査サンプリング プラスチック容器類							
国籍	番号 (色調)	サンプル番号		国籍 (色調)	国籍	タイプ	色調
中国製	16-1(緑)	1	16-1	中国(緑)	中国	プラ容器	緑
	16-3(薄赤)	2	16-3	中国(薄赤)	中国	プラ容器	薄赤
	21-1(白)	3	21-1	中国(白)	中国	プラ容器	白
	21-2(白黄)	4	21-2	中国(白黄)	中国	プラ容器	白黄
	21-3(透青)	5	21-3	中国(透青)	中国	プラ容器	透青
	21-4(白)	6	21-4	中国(白)	中国	プラ容器	白
	21-5(薄青)	7	21-5	中国(薄青)	中国	プラ容器	薄青
	18-3(白)	8	18-3	中国(白)	中国	プラ容器	白
	18-4(濃青)	9	18-4	中国(濃青)	中国	プラ容器	濃青
韓国製	15-1(白)	10	15-1	韓国(白)	韓国	プラ容器	白
	15-2(白)	11	15-2	韓国(白)	韓国	プラ容器	白
	15-3(薄紫)	12	15-3	韓国(薄紫)	韓国	プラ容器	薄紫
	19-1(薄青)	13	19-1	韓国(薄青)	韓国	プラ容器	薄青
台湾製	18-1(白)	14	18-1	台湾(白)	台湾	プラ容器	白
	18-2(白)	15	18-2	台湾(白)	台湾	プラ容器	白
	18-5(白)	16	18-5	台湾(白)	台湾	プラ容器	白
日本製	19-2(黄)	17	19-2	日本(黄)	日本	プラ容器	黄
	プラ1(黄)	18	プラ1	日本(黄)	日本	プラ容器	黄
	プラ2(白)	19	プラ2	日本(白)	日本	プラ容器	白
	プラ3(緑)	20	プラ3	日本(緑)	日本	プラ容器	緑
	プラ4(白)	21	プラ4	日本(白)	日本	プラ容器	白
	プラ5(ピンク)	22	プラ5	日本(ピンク)	日本	プラ容器	ピンク
	プラ6(緑)	23	プラ6	日本(緑)	日本	プラ容器	緑
	プラ7(薄緑)	24	プラ7	日本(薄緑)	日本	プラ容器	薄緑
	プラ8(青)	25	プラ8	日本(青)	日本	プラ容器	青
	プラ9(薄白)	26	プラ9	日本(透白)	日本	プラ容器	薄白
プラ10(黄)	27	プラ10	日本(黄)	日本	プラ容器	黄	
不明	12-2(緑)	28	12-2	不明(緑)	不明	プラ容器	緑
	12-3(深緑)	29	12-3	不明(深緑)	不明	プラ容器	深緑
	12-4(白)	30	12-4	不明(白)	不明	プラ容器	白
	12-5(橙)	31	12-5	不明(橙)	不明	プラ容器	橙
	16-2(白)	32	16-2	不明(白)	不明	プラ容器	白
	18-6(透緑)	33	18-6	不明(透緑)	不明	プラ容器	透緑

注：上記表 4.3(a)～(f)に表記した分析サンプルでは蛍光 X 線分析による含有量と pH5.84 の溶媒液での原子吸光分光分析による溶出量の両分析評価を実施している。但しここでの日本製プラスチック容器類の番号プラ 1～10 までの分析サンプルについては、蛍光 X 線分析による含有量の評価のみを行っている。この日本製プラスチック容器類に関する分析サンプル(番号プラ 1～10)の溶出性評価については、次節の酸による pH 効果との関連で記述している。

写真 4.1 種類・タイプごとに区分した各分析サンプルの状況

(a) 大型丸ブイ(大型プラスチックブイ)類(分析サンプル：27 サンプル)



1-1 中国製  
石垣島平野海岸 中国製



2-1 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



3-1 韓国製  
西表島ユツン川河口海岸 韓国製



5-1 中国製  
西表島中野海岸 中国製



5-2 中国製  
西表島中野海岸 中国製



7-1 中国製  
西表島中野海岸 中国製



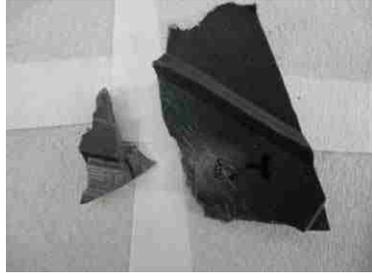
8-1 上青ブイ  
中国製  
与那国島カタブル浜 韓国製



8-2 右橙ブイ  
日本製  
与那国島カタブル浜 日本製



8-3 左黒ブイ  
不明  
与那国島カタブル浜 不明



8-4 中国製  
与那国島カタブル浜 中国製

10-1 中国製  
与那国島カタブル浜 中国製

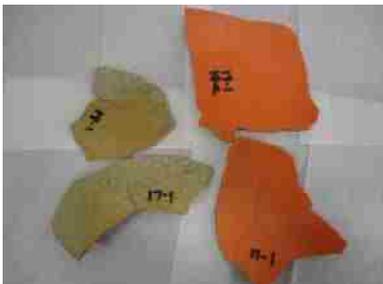
10-2 中国製  
与那国島カタブル浜 中国製



12-1 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製

13-12 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製

14-1 日本製  
波照間島ブドゥマリ浜 日本製



17-1 日本製  
与那国島ウバマ浜 日本製

20-1 中国製  
西表島野原海岸 中国製

20-2 台湾製  
西表島野原海岸 台湾製



22-1 不明

宮古島吉野海岸 不明

23-1 左橙ブイ

日本製

宮古島池間大橋脇海岸 日本製



24-4 日本製

石垣島平野海岸 日本製

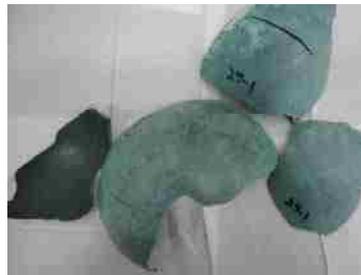


24-2 左黒ブイ 中国製

宮古島池間大橋脇海岸 中国製

25-1 韓国製

石垣島平野海岸 韓国製



27-1 韓国製

西表島上原海岸 韓国製

28-1 中国製

西表島上原海岸 中国製

26-5 左黒ブイ 中国製

西表島中野海岸 中国製

(b) 棒型浮子(フロート細)類(分析サンプル：40 サンプル)



2-2 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



4-1 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



4-2 台湾製

石垣島伊原間海岸 台湾製



4-3 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



4-4 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



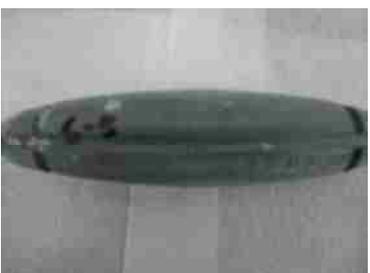
6-3 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



6-4 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



6-5 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



6-6 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



6-7 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



6-8 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



9-1 中国製

西表島上原海岸 中国製



9-2 中国製

西表島上原海岸 中国製



9-3 不明

西表島上原海岸 不明



13-2 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-3 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-4 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-9 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-10 不明

与那国島ウブドゥマイ浜 不明



13-11 不明

与那国島ウブドゥマイ浜 不明



13-13 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-14 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



17-2 中国

与那国島ウバマ浜 日本製



17-4 中国

与那国島ウバマ浜 中国製



30-1 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-2 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-3 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-4 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-5 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-6 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-7 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-8 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



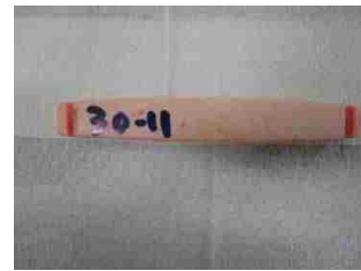
30-9 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-10 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-11 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



30-12 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-5 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-6 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-11 中国製

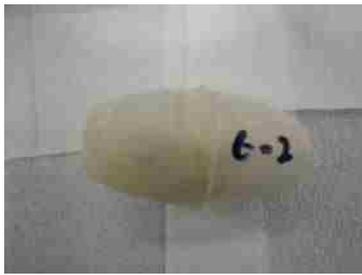
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-13 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製

(c) 樽型浮子(フロート太)類(分析サンプル: 10 サンプル)



6-2 中国製

石垣島伊原間海岸 中国製



13-1 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-8 不明

与那国島ウブドゥマイ浜 不明



13-15 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



17-5 中国製

与那国島ウバマ浜 中国製



29-1 韓国製

西表島上原海岸 韓国製



29-2 中国製

西表島上原海岸 中国製



32-1 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-2 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-7 中国製

与那国島ウブドゥマイ浜 中国製

(d) 丸型浮子(丸フロート)類(分析サンプル：18 サンプル)



6-1 中国製  
石垣島伊原間海岸 中国製



11-1 不明  
西表島高那海岸 不明



11-2 中国製  
西表島高那海岸 中国製



12-6 韓国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 韓国製



13-5 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



13-6 韓国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 韓国製



13-7 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



17-3 中国製  
与那国島ウバマ浜 中国製



17-6 中国製  
与那国島ウバマ浜 中国製



26-1 中国製  
西表島中野海岸 中国製



26-2 中国製  
西表島中野海岸 中国製



26-3 中国製  
西表島中野海岸 中国製

(d) 丸型浮子(丸フロート)類(分析サンプル：18 サンプル)



32-3 韓国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 韓国製



32-4 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製



32-8 不明  
与那国島ウブドゥマイ浜 不明



32-9 韓国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 韓国製



32-10 韓国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 韓国製



32-12 中国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 中国製

(e) スタウナギ具(口・筒部分)とタコツボ(分析サンプル：3 サンプル)  
(f)



31-1 韓国製  
与那国島ウブドゥマイ浜 韓国製

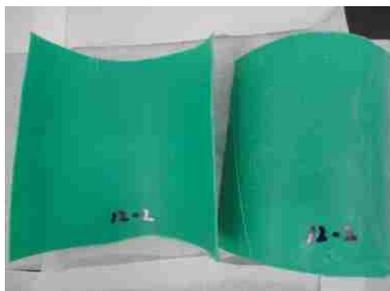


24-3 韓国製  
宮古島狩俣海岸 韓国製

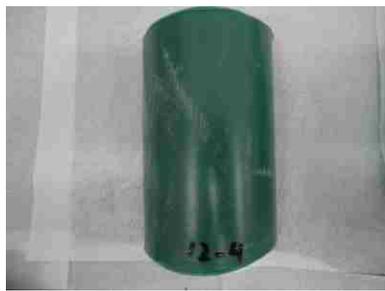


26-4 右茶 不明  
西表島中野海岸 不明

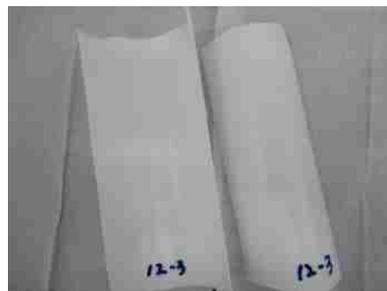
(f) プラスチック容器類(分析サンプル: 33 サンプル)



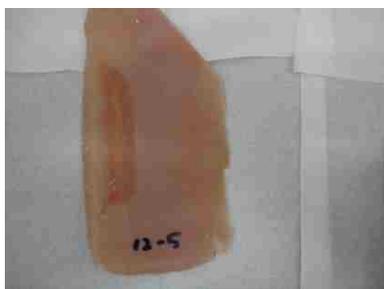
12-2 不明  
与那国島ウブドゥマイ浜 不明



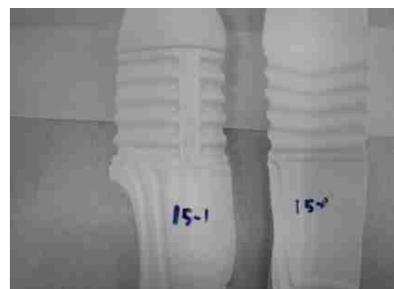
12-3 不明  
与那国島ウブドゥマイ浜 不明



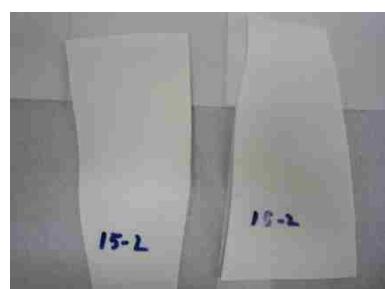
12-4 不明  
与那国島ウブドゥマイ浜 不明



12-5 不明  
与那国島ウブドゥマイ浜 不明



15-1 韓国製  
西表島野原海岸 韓国製



15-2 韓国製  
西表島野原海岸 韓国製



15-3 韓国製  
西表島野原海岸 韓国製



16-1 中国製  
西表島野原海岸 中国製



16-2 不明  
西表島野原海岸 不明



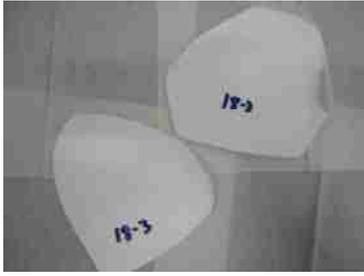
16-3 中国製  
西表島野原海岸 中国製



18-1 台湾製  
西表島野原海岸 台湾製



18-2 台湾製  
西表島野原海岸 台湾製



18-3 中国製  
西表島野原海岸 中国製



18-4 中国製  
西表島野原海岸 中国製



18-5 台湾製  
西表島野原海岸 台湾製



18-6 不明  
西表島野原海岸 不明



19-1 韓国製  
西表島野原海岸 韓国製



19-2 日本製  
西表島野原海岸 日本製



21-1 中国製  
西表島野原海岸 中国製



21-2 中国製  
西表島野原海岸 中国製



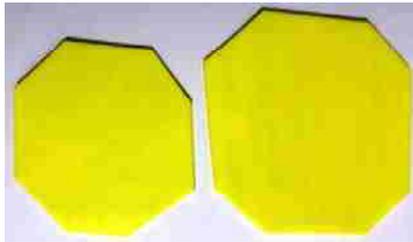
21-3 中国製  
西表島野原海岸 中国製



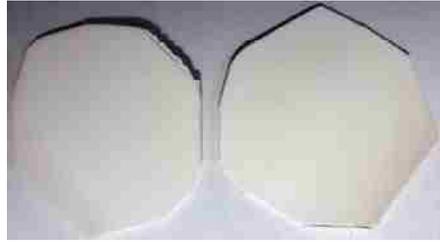
21-4 中国製  
西表島野原海岸 中国製



21-5 中国製  
西表島野原海岸 中国製



プラ容器 1 日本製  
与那国島ウブドゥマイ浜



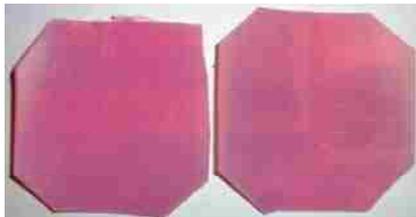
プラ容器 2 日本製  
与那国島ウブドゥマイ浜



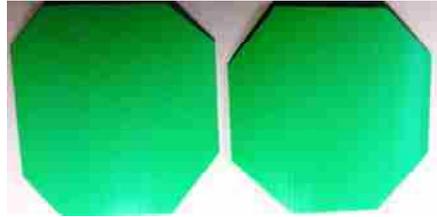
プラ容器 3 日本製  
波照間島ブドゥマリ浜



プラ容器 4 日本製  
西表島野原海岸



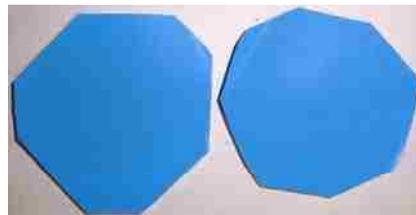
プラ容器 5 日本製  
西表島野原海岸



プラ容器 6 日本製  
西表島上原海岸



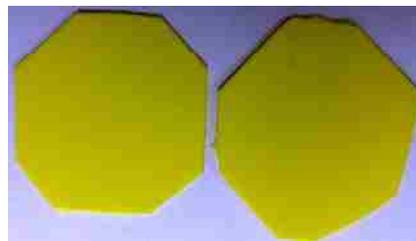
プラ容器 7 日本製  
石垣島南星野海岸



プラ容器 8 日本製  
石垣島平野海岸



プラ容器 9 日本製  
宮古島狩俣海岸



プラ容器 10 日本製  
宮古島浦底海岸