



石垣島平野海岸(2017.3.16)



石垣島明石海岸(2017.3.19)



西表島中野海岸(2017.4.1)



与那国島アリシ浜(2017.3.24)

写真IV.23 八重山諸島で漂着確認された車両タイヤ類の代表的事例(2017年春季調査)

直径約 1.5m の大鉄球  
西表島船浦湾岸(2017.4.5)直径約 0.5m 長さ約 3m の鉄管  
石垣島平野海岸(2017.3.18)幅・長さ約 2m の合成樹脂  
浮遊物体石垣島白保海岸  
北側(2017.3.16)直径約 1.2m 長さ約 3m の合成  
樹脂パイプ  
石垣島南星野海岸(2017.3.17)長さ約 5m の破船  
石垣島平野海岸  
(2017.3.17)岩礁を覆い尽くす漁網  
与那国島ツア浜(2017.3.23)写真IV.24 2017年春季調査で漂着確認した撤去処分の厄介な巨大粗大ゴミの代表的事例  
物体等の用途不明な漂流物や破船などの巨大ゴミの漂着が度々確認される(写真IV.24)。長

期間放置され自然環境や海浜景観を著しく損ねている光景に遭遇する。

このように、漂着粗大ゴミ類はプラスチック容器類等の海洋漂着ゴミとは異なり、医療ゴミや管球類ゴミと同様に、特別な処置や対応が求められる。撤去・運搬・処理・処分等に人員や経費が嵩むことから、海岸清掃時には回収撤去されずに何年も滞留・放置され、安全性の観点からも、腐食・劣化して危険な障害物となっている場合が多い。

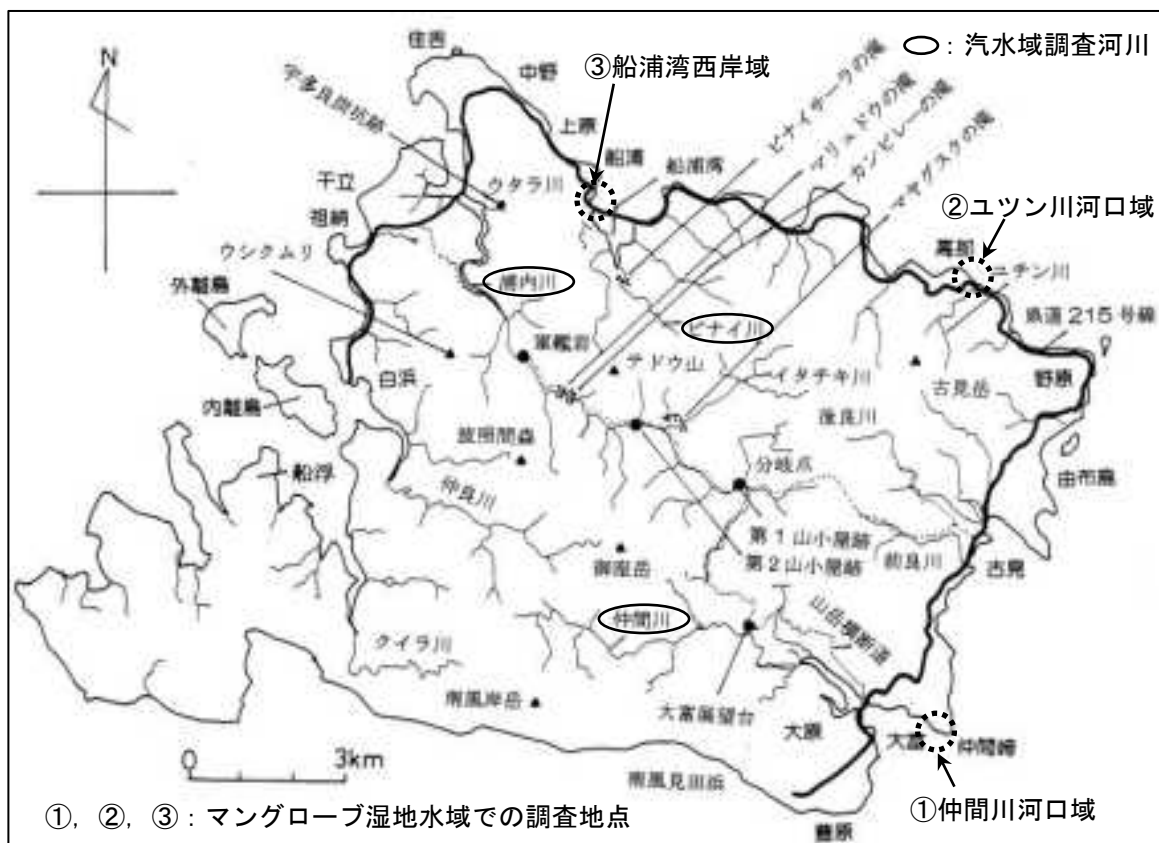
以上のことから、各種の有害な汚染ゴミや危険な粗大ゴミの回収撤去が停滞し長期間放置された場合には、破損・腐食・溶解に伴い周辺環境に排出される有害化学物質によって、砂浜・干潟・湿地水域の水質・土壌をはじめ、海浜植生や棲息する海浜生物に、甚大なリスクを与えることが危惧される。

## V. 海洋漂着ゴミに埋もれる秘境西表島

### 1 マングローブ群落を育む広大な汽水域

沖縄県で本島に次ぎ2番目に大きな島が西表島である(図V.1)。平均年間降水量は約2500mm(全国平均は約1700mm)と雨量に恵まれ、島内に網の目のように発達した流況は、秘境をイメージさせる鬱蒼と繁茂する深い森林山岳域を育ててきた(写真V.1)。

亜熱帯ジャングルの山岳密林域に源を発し、島を流況する大小様々な河川の河口域では、



図V.1 流況環境に恵まれた西表島の概略図

海水が遡上し、海水と河川水(淡水)が混じり合う広大な汽水域が形成されている。浦内川、ピナイ川、仲間川の3河川を対象に(図V.1参照)、沖縄で初めて海洋漂着ゴミの調査に着手した1998年8月の満潮時、「汽水域」調査のために河口から遡上しながら河川水を採水し、その水質分析などを試みている。河川水に溶存している塩分濃度を評価する典型的水質指標となる電気伝導率(EC)と塩化物イオン、ナトリウムイオン、硬度の濃度推移を調べると、各指標値は河口から汽水域へと上流方向に遡上するに伴い、急激に減少していた。海水と混じり合う河川が完全に淡水のままの河川水となっている地点は、概ね島北西岸部に河口を有する沖縄県最長河川の浦内川(河川長19.4km)では河口から約1.4km上流、北岸部の船浦湾に注ぐピナイ川では高さ55mの断崖絶壁に阻まれるピナイサーラ滝壺手前までの約1.5km上流、島南東岸部に注ぐ2大河川の一つ仲間川(河川長沖縄県第2位の17.

5 km)では河口から約1.6 km上流であった。西表島では最大で2.5 m余の潮位干満差が生じる。そのため海水が遡上し河川水と混じり合う汽水域の境界域は、河口から十数km上流に達することから、満潮時には、全長10 km以下の短い河川の殆どでは、河川の大半がほぼ汽水域となる(写真V.2)。海岸域から沖合2～3 kmまでサンゴ礁リーフに囲まれた西表島では、干潮時にはこの沖合リーフまでや汽水域は広大な干潟や湿地水域に変貌し(写真V.3), 塩分濃度で棲み分ける多種多様な動植物の棲息環境を育んでいる(写真V.4)。

殊に、河口から下流河岸部を中心に、潮の満ち引きが最大で2.5 m余にも達する汽水域



河川長 19.4km の沖縄最長の浦内川中(左：満潮時)下(右：干潮時)流域(1998.8.12(左), 2020.4.8(右))



河川長 17.5 kmの第二位の仲間川中(左：満潮時)下(右：干潮時)流域(1998.3.30(左), 2020.3.31(右))

写真V.1 亜熱帯ジャングルの秘境を育む西表島の河川と大瀑布



ユツン川河口水域 (2005.8.7 撮影)



後良川下流水域 (2005.8.6 撮影)

写真V.2 西表島を流況する大半の河川は、満潮時には海水が遡上し広大な汽水域を形成する





ピナイ川河口船浦湾干潟・湿地水域 (2020.4.6 撮影) 仲間川河口干潟・湿地水域 (2020.3.31 撮影)

写真V.3 河口汽水域は干潮時には広大な干潟・湿地水域に変貌する



オキナワハクセンシオマネキ



ミナミコメツガニ



オカヤドカリ類

写真V.4 河口汽水域の干潟・湿地水域は小生物などの絶好の棲息場所  
となっている(2016年春季調査撮影)

に密林する西表島のマングローブ群落は、我が国では最大規模を誇っている(写真V.5)。島を代表する浦内川と仲間川をはじめ、島北西岸部から北東岸部、南東岸部に掛けての河口域では、マングローブの大群落を観ることができる。特に島中央部に座す御座岳(420.7m)の南麓に源を発し東部へ流れ、大富集落が所在する南東岸部に注ぐ全長17.5kmの仲間川は、西表島では最大規模のマングローブ群落が広がっている大河川である。河口部から上流5km付近までは広大なマングローブ群落、アダン群落、サキシマスオウノキ群落、サガリバナ群落が発達しており、両河岸でのマングローブ群落などの生育面積はほぼ3平方キロメートル(最大河川長の浦内川では約1.2平方キロメートル)に及び、仲間川天然保護区域に指定されている(写真V.6, 写真V.7)。

マングローブは固有な科や種に属する植物の名称ではなく、海水域や海水と淡水が混じり合う汽水域に生育する塩生常緑植物の総称である。赤道を挟んで緯度では南北32度～38度範囲の熱帯・亜熱帯地域に分布している植物である。我が国では鹿児島県喜入町を北限として、屋久島、種子島、奄美大島の鹿児島県と、沖縄本島、南大東島、宮古島、石垣島、西表島などの沖縄県の島々に生育している。我が国のマングローブ植物はメヒルギ・オヒルギ・ヤエヤマヒルギ(ヒルギ科)、ヒルギダマシ(クマツヅラ科)、ヤマプシキ(ハマザクロ科)、ヒルギモドキ(シクンシ科)の4科6種であるが、西表島では僅かに観察できるニッ



浦内川下流域(左側, 1998.8.12 撮影)

仲間川下流域(右側, 2001.3.27 撮影)

写真V.5 島を代表する浦内川や仲間川をはじめ、西表島の多くの河川汽水流域には、鬱蒼と繁茂するマングローブジャングルが形成されている



写真V.6 最大規模のマングローブ群落  
が広がる仲間川上流域(大富  
の仲間川展望所より,  
2020.4.7 撮影)



写真V.7 干潟・湿地水域には、種々  
の気根のヒルギが群落を  
なしている(仲間川河口  
域, 2003.4.10 撮影)

パヤシ(ヤシ科)を加えて、通常、西表島のマングローブ植物の種類は5科7種とされ、これが我が国に分布するマングローブ植物の全科種と言われている。

## 2 マングローブ湿地水域は天然の生態系保全バリアだ



亜熱帯・熱帯地域の汽水・湿地水域に分布する代表的な植生がマングローブ（ヒルギ類の総称名）である。上述したように、亜熱帯地域に属する琉球列島では、西表島のマングローブジャングルは我が国最大規模を誇り、「大自然の宝庫」として、原自然が残る秘境のイメージを醸し出している。



写真V.8 ヒルギの落葉や胎生種子等は腐植分解して水生生物などの栄養源となっている（仲間川河口干潟・湿地水域，2006.3.31撮影）

マングローブ群落が繁茂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、豊かな海洋生物の棲息環境を育んでいる。マングローブの落葉や胎生種子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(写真V.8)。軟弱な泥土の湿地や網の目のように巡らされた呼吸根・支柱根などの根茎群は、水生生物に絶好の棲息環境を提供している。また、マングローブ湿地水域を棲み家とする小生物などを餌とする大型の水生生物や両生類、爬虫類、鳥類、哺乳類の餌場・棲息場でもあり、多様な生物の生態



筍のように群生すヤエヤマヒルギ属の荀根 膝を曲げたような形のオヒルギ属の膝根

写真V.9 ヒルギの支柱根や呼吸根の多様な根径群は水生生物の絶好の餌場や棲息場となっている(仲間川河口(上)と船浦湾湿地水域(下)，2010.4.1(上)・2020.4.6(下)撮影)

系を支える重要な食物連鎖の場ともなっている(写真V.9)。

さらに、陸域とサンゴ礁リーフの間の境界域に繁茂しているマングローブ群落の湿地水域は、多種多様な生物の棲息環境を提供する存在だけではない。棲息する貝類や甲殻類などの底生生物は海や河川の水質浄化に多大な役割を担い、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める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適正に天然監視し、泥水や汚濁物質を自然濾過し、常に高い透明度で色鮮やかな熱帯魚の遊泳する美しいサンゴ礁を育む希少な美ら海づくりの役目を担っている。

海の生態系を守る浄化と養分供給機能を兼ね備えるマングローブ湿地水域は、自然が造り上げた巨大な天然の生態系保全バリアで、その存在意義には計り知れないほどの重要性が秘められている。

### 3 無残な姿を曝すマングローブ群落

これまで既述してきたように、黒潮海流によって運ばれる近隣アジア諸国からの海洋越境ゴミで浜一面が覆われ、廃棄場と化している沖縄島嶼での多くの海岸・沿岸水域と同様に、西表島の砂浜・干潟・湿地水域もまた例外ではない(写真II.3参照)。

特に、膨大な量の外来海洋ゴミが打ち上がる島北岸西部から東部にかけての海際河口部の汽水域に発達しているマングローブ湿地水域は、海岸・沿岸水域と同様に、常に巨大廃棄場と化す危険性に曝されている(写真V.10)。支柱根、呼吸根、板根などの独特な根茎が群生するマングローブ群落にとって、海から押し寄せる夥しい量の種々雑多な海洋ゴミは天敵である。群落の奥深くまで食い込み、蛸足状の根茎に絡み付くように漂着するため、海洋漂着ゴミの殆どは、潮位干満や高潮・波浪などの自然力では群落から抜け出すことが不可能となり、生育被害の発生する恐れが高まる。また、再々、押し寄せる海洋ゴミが集積・滞留し、マングローブ湿地水域内を覆い尽くすように被覆することで、湿地水域を絶好の棲息場としている底生生物にとってもまた、その影響リスクは甚大である(写真V.11)。

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ているヒルギ、漁網やロープ・ポリシート・ポリ袋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。中には海洋漂着ゴミのダメージで折損したヒルギ、立ち枯れた樹勢のひ弱な幼木・若木のヒルギ、絡まったロープ上部の幹枝が枯れたヒルギなど、容易に観察される(写真V.12)。漁網やロープなどは化学繊維で合成されているため耐久性が高く、一旦絡まると腐食して朽ち果てるまでには極めて長い歳月を要する。そのため、幾年もギブスを架せられたように制圧され、鎖で緊縛られたように生育することを余儀なくされる(写真V.13)。特に汽水域では日夜、潮の干満による1～2mの海水面の変位が繰り返されている。ヒルギに巻き付いた太いロープ・シート・漁網等の海洋漂着ゴミには、海水の吸収・乾燥による大きな荷重変化が起こっており、絶え間なく作用する変動負荷によって、ヒルギの





写真V.10 大量の漂着ゴミが打ち上がる西表島北部から東部の河口湿地水域に生育するマングローブ群落は、廃棄場と化す危険性に曝されており、悲惨な光景が広がっている(2016年春季調査撮影)

生育を阻害するダメージは一段と加速される。

これらの大半の海洋漂着ゴミは難分解性の廃プラスチックであるが、中には群落に食い込んだドラム缶や冷蔵庫などの危険な粗大ゴミの漂着もよく見られる(写真V.14)。これまでの3か所のマングローブ湿地水域での調査では、ドラム缶10個、大・小型ガスボンベ4個、大型冷蔵庫6個の漂着を確認している。湿地水域では粗大ゴミ周辺に繁茂するマングローブには、特に根茎の折損や樹皮の損傷など、ダメージの痕跡が多く観察される(写真V.15)。

このように幾年も無残な光景を曝し続けているマングローブに幾度となく遭遇してきた。海洋漂着ゴミによる樹皮の損傷、根腐れ・折損・枯死などの発生は、群落の樹勢を弱体化させる危険性が高い。マングローブ群落の広域的な衰弱・荒廃を招き兼ねなく、棲息場とする多様な水生生物を含めた干潟・湿地水域の動植物生態系への悪影響が危惧される。

だが、八重山・宮古諸島などでは、中国・韓国などの近隣アジア諸国からの外来海洋越境ゴミが大半となっていることが足かせとなっている。有効な発生抑制対策を講じることは難しく、地道な清掃活動による回収除去作業が海洋漂着ゴミ対策の唯一の最も効果的な





2005.4.1 撮影



2005.4.1 撮影



2007.4.2 撮影



2017.3.31 撮影



2005.4.1 撮影

写真V.11 海際付近のマングローブ林内も海洋漂着ゴミに覆われている（西表島  
ユツン川河口湿地水域の事例）

手段となっている。マングローブ群落は河口湿地水域に発達していることで、足場の悪い急峻な山道や崖道を上り下りする機会が多い。また、自然林が鬱蒼と繁茂する獣道のような藪道のため陸側からの接近が難しい場合もあり、海洋漂着ゴミの撤去運搬には作業・経済面で課題が多く、清掃活動は滞りがちとなっている。

さらに、上述したように、干潟・湿地水域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形成されている。そのため通常、海岸・沿岸水域で実施されている車両はじめ大型機材等を導入する清掃活動の手法では、マングローブ湿地水域の自然破壊や生態系に悪影響を齎す。しかも泥土の湿地水域での作業の困難性が足かせとなって、清掃活動の停滞を招き一層深刻な事態に拍車が掛かっている。

早急な対処としては、河口湿地水域での定期的な巡回などを実施し、群落での海洋漂着ゴミによる絡み付きや食い込みなどの状況を視覚的に把握する方策などを導入して、立ち枯れや折損などの深刻な状況に至る前に、随時、簡易的な回収除去作業を試み影響リスクの軽減を図ることが肝要である。





2016.4.15 撮影



2016.4.15 撮影



2016.4.10 撮影



2007.4.3 撮影



2008.3.31 撮影



2008.3.31 撮影



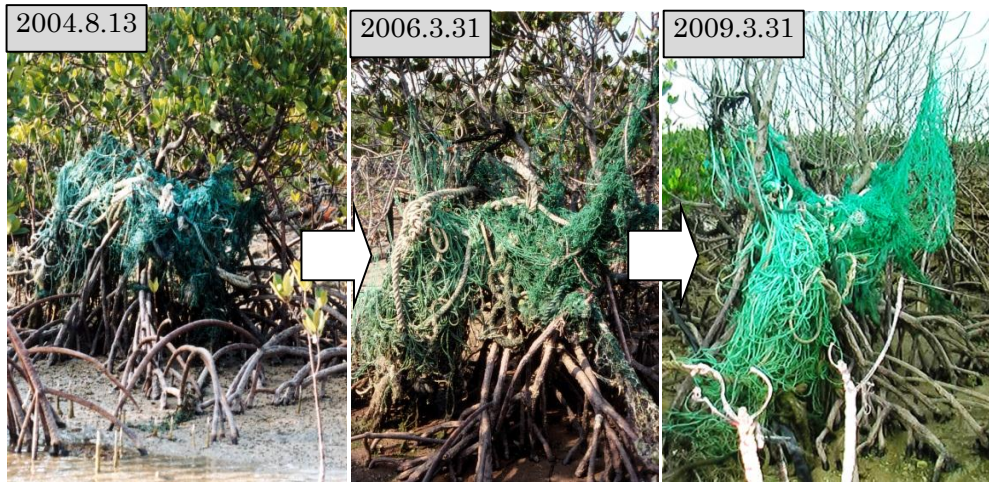
2006.8.15 撮影



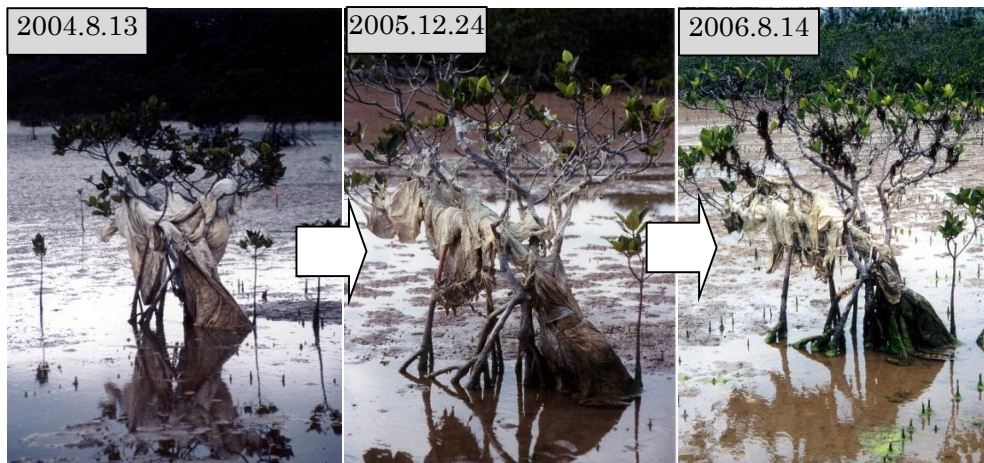
2006.8.15 撮影

写真V.12 漁網・ロープ・シート等の巻き付きで、幹枝の枯れている幼木や若木が見られる（西表島仲間川河口湿地水域の事例）

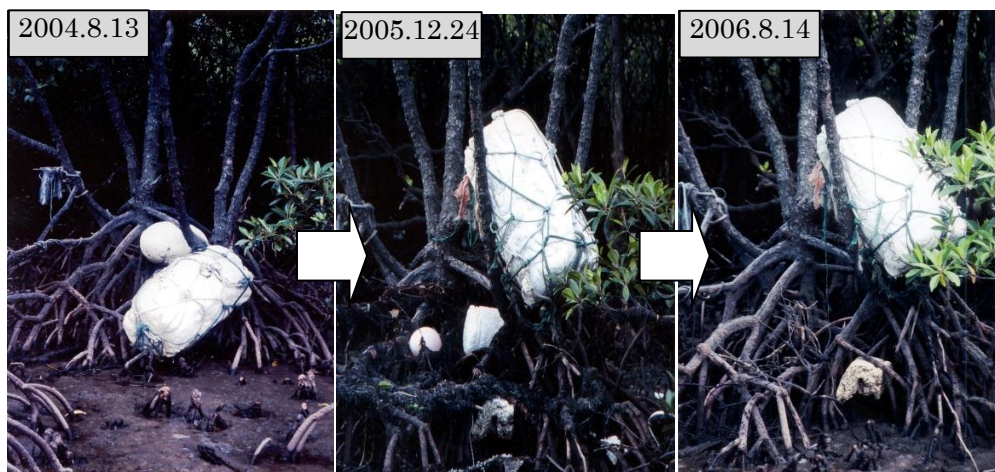




仲間川河口マングローブ湿地水域：漁網に覆われたヒルギ



仲間川河口マングローブ湿地水域：シートに覆われたヒルギ



ユツ川河口マングローブ湿地水域：発泡スチロールが絡みついたヒルギ

写真V.13 合成繊維の漁網・ロープ・シート類は耐久性が高く、幾年もギブスを架せられたように制圧され、鎖で縛られたように生育することを余儀なくされるヒルギ





2017.4.5 撮影

2016.4.12 撮影

2017.4.5 撮影

ピナイ川河口船浦湾西岸マングローブ湿地水域



2016.4.10 撮影

2016.4.10 撮影

2014.4.29 撮影

ユツン川河口マングローブ湿地水域

写真V14 マングローブ群落内には不明な巨大鉄球，ドラム缶，冷蔵庫などの危険な粗大ゴミの漂着も見られる



写真V.15 粗大ゴミなどの衝突・接触によりマングローブの折損，樹皮損傷などが深刻化しており，干潟・湿地水域のかく乱・荒廃を招いている(西表島ユツン川河口湿地水域，2018.3.23 撮影)

#### 4 マングローブ湿地水域に食い込む海洋ゴミ

西表島のマングローブ湿地水域での調査は、海洋ゴミの漂着が激しい島北部～東部に掛

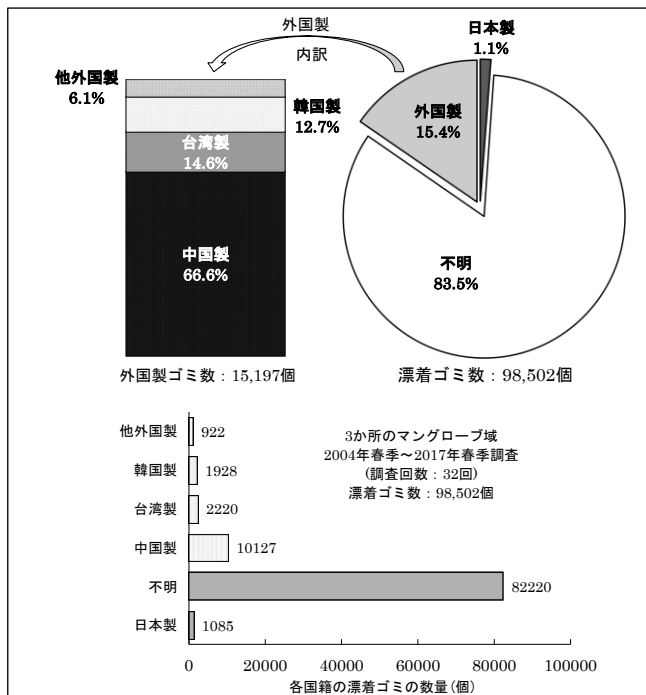
表V.1 西表島での3か所のマングローブ湿地水域(①, ②, ③)で実施した調査状況

調査年季		調査箇所
2004年	春季	①, ②, ③
	夏季	①, ②, ③
2005年	春季	②, ③
	夏季	②
2006年	春季	①, ②, ③
	夏季	①, ②
2007年	春季	①, ②, ③
2008年	春季	①, ②, ③
2009年	春季	①, ②, ③
2010年	春季	①, ②, ③
2015年	春季	②, ③
2016年	春季	①, ②, ③
2017年	春季	②

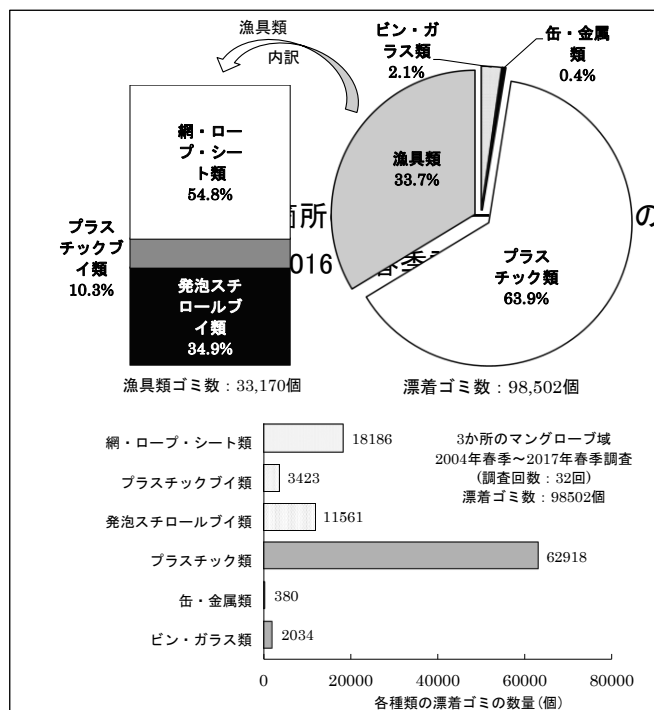
①: 仲間川河口マングローブ域  
 ②: ユツン川河口マングローブ域  
 ③: 船浦湾西岸マングローブ域

けての3か所の地点(図V.1参照, ①仲間川河口域, ②ユツン川河口域, ③船浦湾西岸域)を選定し, 2004年春季から本格的に着手し, 2017年春季まで延べ32回に亘って定点観測的に試みてきた(表V.1)。マングローブ湿地水域での海洋漂着ゴミの状況は, 繁茂する特異な根茎群により, 群落の前面に集中する傾向があることから, 調査は海際付近の前面域を重点的に行い, 陸側への奥行きはほぼ10~30m範囲とした。

図V.2に示すように, 3か所のマングローブ湿地水域で確認した海洋漂着ゴミの総数量は9万85



(a) 漂着ゴミの国籍分析



(b) 漂着ゴミの種類分析

図V.2 3か所のマングローブ湿地水域での海洋漂着ゴミの総計分析(2004年春季~2017年春季調査(32回調査))

3箇所のマングローブ湿地水域の総計分析(国内外区分)

3箇所のマングローブ湿地水域の総計分析(国内外区分)  
 2016年春季調査

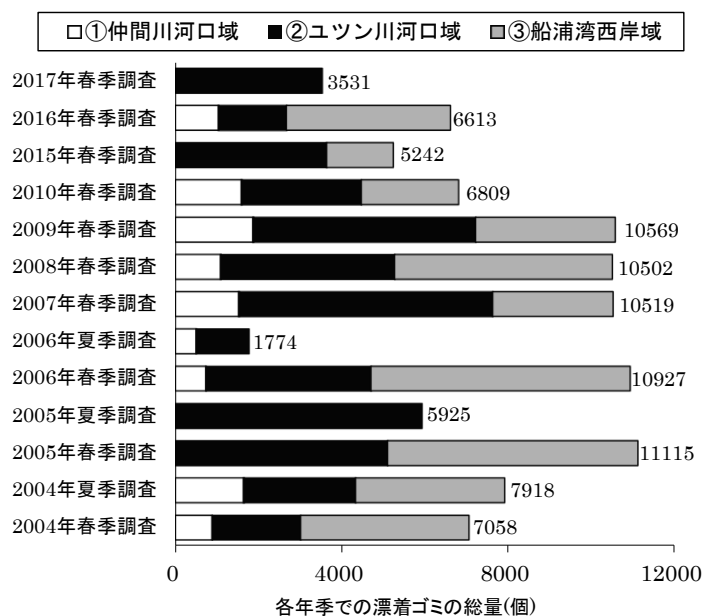


0.2個で、調査面積100m<sup>2</sup>当たり(10m四方)に換算すると22.8個となる。そのうち国籍判別不能な不明ゴミが83.5%(8万2220個)、外国製ゴミが15.40%(1万5197個)、日本製ゴミが1.1%(1085個)であった。また外国製ゴミの内訳をみると、それぞれ中国製が66.6%、台湾製が14.6%、韓国製が12.7%となっている。種類別では漁具類が33.7%(3万3170個)を占め、そのうち発泡スチロールブイ類が34.9%、プラスチックブイ類が10.3%、網・ロープ・シート類が54.8%となっている。マングローブ湿地水域では海岸・沿岸水域に比較して、総数量に占める漁具類の漂着が20%ほど高く、中でも網・ロープ・シート類が10倍ほど多いのが特徴となっている。また漁具類の大半は国籍判別の不能な網・ロープ・シート類や発泡スチロールブイ類が占めていることから、海岸・沿岸水域に比較して、不明ゴミの占める割合が10%ほど高くなる傾向にあった。なお国籍判別の可能な海洋漂着ゴミの大部分は、主に湿地水域上に打ち上がった廃プラスチック容器類とプラスチックブイ類(大半は中国製)である。湿地水域でもやはり、中国製(1万127個)が日本製(1085個)のほぼ10倍と高く、外国製ゴミの半数以上(66.6%)を占め、海岸・沿岸水域での漂着傾向と殆ど類似していた。

各年季で未調査の湿地水域もあるが、これまでの経年的な漂着傾向をみると(図V.3)、3か所の湿地水域での海洋漂着ゴミの累計数は、概ね6500~1万1000個範囲で、各年季でそれほど大差ないことが分かる。各年季で確認された各湿地水域での数量を比較すると、仲間川河口域では概ね800~1500個で、2000~6000個のユツン川河口域と3000~6000個の船浦湾西岸域に比較して、経年的にかなり少ない傾向にあった。

なお、2006年夏季調査(①と②湿地水域)では、他の年季調査に比較して、両湿地水域で確認された海洋漂着ゴミの数量は極端に低減していた。これは清掃活動の成果によるものと判断された。即ち2004年4月~2006年6月に掛けて、調査結果などが初めてマスコミ紙に取り上げられ、秘境の島での希少なマングローブ湿地水域で、海洋漂着ゴミの深刻な実態が社会的に大きな関心事となった経緯がある。そのためか200

6年夏季(8月)調査では、湿地水域でかなり入念な回収除去がなされた痕跡のあったことが、当時の野帳にメモ書きされていた。しかし人の立ち入りが難しく、泥土で足場の悪いマン



図V.3 3か所のマングローブ湿地水域での漂着ゴミ数量の経年的推移(2004~2017年調査)

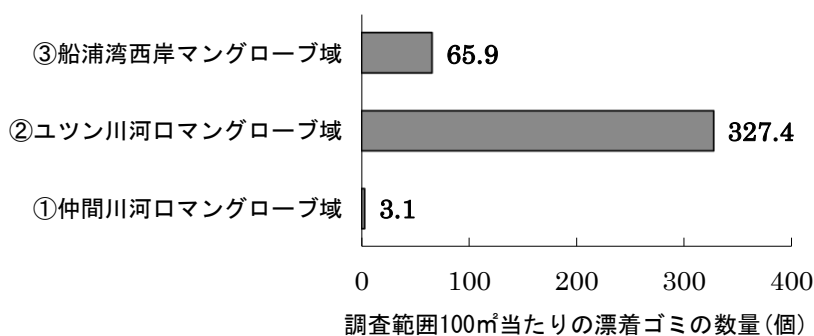
グローブ湿地水域での定期的な清掃活動や有効な回収除去作業は継続されず、再びあつという間に大量の海洋漂着ゴミが集積・滞留する深刻な実態を招いてきた

ところで、各調査時の調査範囲が異なっていることから(表V.1参照)、各年季での調査面積を考慮して、面積100m<sup>2</sup>(10m四方)当たりで換算して確認数量を比較してみると、ユツン川河口域の海洋漂着ゴミの数量は大半が200個以上で、400個以上の場合は6回の調査で確認されている。これに対して船浦湾西岸域では概ね50～100個、仲間川河口域では大半が5個以下となっており、ユツン川河口域でのマングローブ群落への海洋漂着ゴミの影響リスクが最も深刻であることが窺われた。

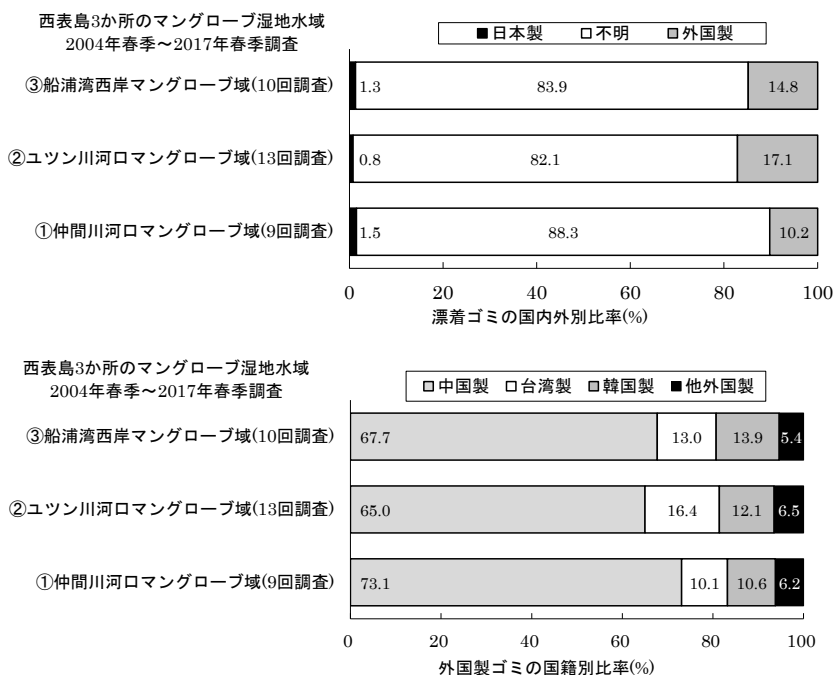
そこで図V.4には、3か所でのこれまでの確認数量の平均値を示している。それぞれ100m<sup>2</sup>当たり3.1個、327.4個、65.9個となっており、ユツン川河口域は仲間川河口域の約106倍、船浦湾西岸域の約5倍と、極めて高い漂着度合となっていることが分かる。

このように3か所の湿地水域での漂着度合にはかなり差異はあるが、上述したように、各湿地水域での経年的な推移傾向には、大きな変化は認められない。これは、蛸足状の特異な根茎が群生する湿地水域では、根茎への絡まりや食い込みなどの状態で漂着している場合が多く、一旦漂着した海洋ゴミの再流出・移動などが難しく、滞留する傾向にあるためと推察される。

さらに、国籍別の構成比率をみると(図V.5)、



図V.4 3か所のマングローブ湿地水域での調査範囲100m<sup>2</sup>当たりの漂着ゴミの数量比較(2004年春季～2017年春季調査)



図V.5 3か所のマングローブ湿地水域での漂着ゴミの国籍別構成比率の比較

湿地水域間で殆ど差異はなく、判別不能な不明ゴミの比率が80%台と突出し、また外国製ゴミに占める中国製の比率が60～70%台となっていることが分かる。しかし種類別の構成比率では(図V.6)、廃プラスチック類の比率は50～60%台と3湿地水域間であまり差異は認められないが、漁具類の比率に10～20%ほどの相違が認められる。その中でも特に網・ロープ・シート類の占める

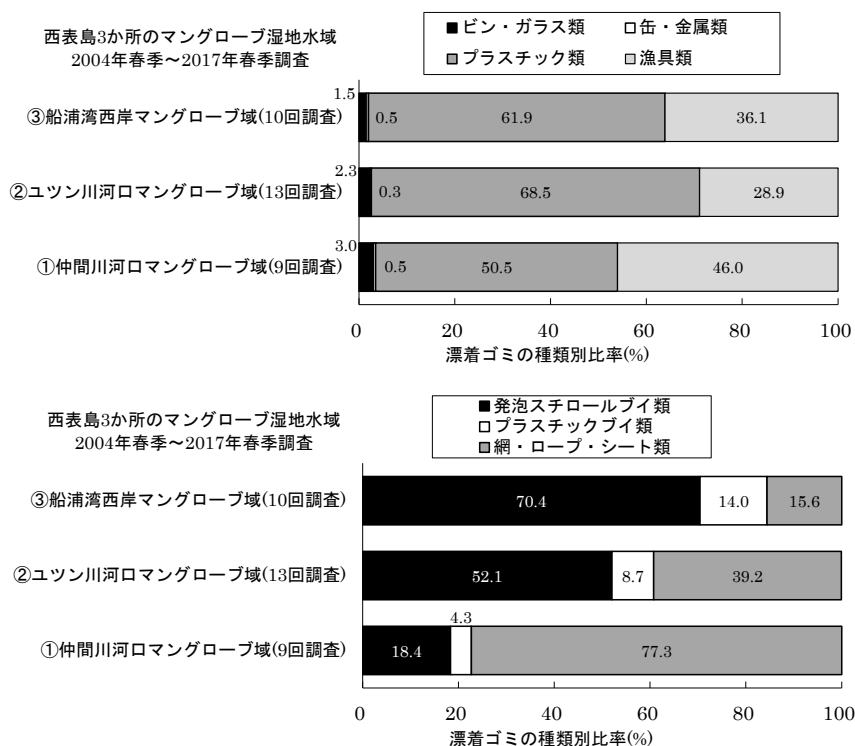
比率がかなり異なっているのが分かる。海洋漂着ゴミのほぼ半数を漁具類(46.0%)が占める仲間川河口域では、その漁具類の77.3%を網・ロープ・シート類が占めており、船浦湾西岸域(15.6%)の約5倍、ユツン川河口域(39.2%)の約2倍となっている。

このような調査データからも裏付けられるように、仲間川河口のマングローブ湿地水域では、海洋漂着ゴミの確認数量は調査面積100m<sup>2</sup>あたりに換算すると3.1個と3湿地水域間で最も少ないが(図V.4参照)、漁具類がほぼ半数を占め、しかもその8割近くが漁網やロープ・シート類であるため、特異な根茎への絡まり・巻き付き・被覆などの悲惨な光景が最も多く観察される(写真V.12参照)。重点的に見回りなどの方策を導入し、随時、除去して根腐れ・立ち枯れなどの被害リスクの軽減を図ることが効果的と思われる。

## 5 荒廃・衰退する亜熱帯海浜緑林域

### ■ 天然防潮風林の倒伏・立ち枯れ

2009年春季の沖縄調査では、広大なマングローブ群落が発達している西表島ユツン川河口の西岸域で、ほぼ64本もの海浜樹木の倒伏が約500mの海岸長に亘って発生しているショッキングな情景に遭遇した(写真V.16)。天空を仰ぐように倒伏した幹根が十数mの間隔で並び、海浜樹木の衰退や海岸・沿岸水域の荒廃を一層深刻に感じさせられる悲惨な光景が広がっていた。倒伏した樹木は海浜域の最前面に繁茂していた自然木で、天然



図V.6 3か所のマングローブ湿地水域での漂着ゴミの種類別構成比率の比較(2004 春季～2017 年春季調査(32 回調査))





写真V.16 根網が天空を仰ぐ海浜林の倒伏：大量漂着ゴミが樹勢衰退の要因か（西表島ユツン川河口西側海岸域、2009年春季調査撮影）



写真V.17 太い漁網やロープ等の巻き付きは海浜林の樹勢を弱め、台風などの暴風・強風や高波・高潮で折損・倒木に拍車を掛ける要因となっている可能性が窺われる（西表島ユツン川河口西側海岸域、2009年春季調査撮影）

の防潮風林としての重要な役割を担っており、陸域の動物植物の棲息・生育環境や海浜生



石垣島平久保崎灯台下海岸(2010.4.6 撮影)



与那国島カタブル浜(2017.3.25 撮影)



石垣島南星野海岸(2005.8.13 撮影)



西表島野原海岸(2005.8.9 撮影)

写真V.18 八重山・宮古諸島の海浜樹林内には、漂着ゴミが食い込み山のように堆積している海岸も多く見られ、植生へのリスクが懸念される

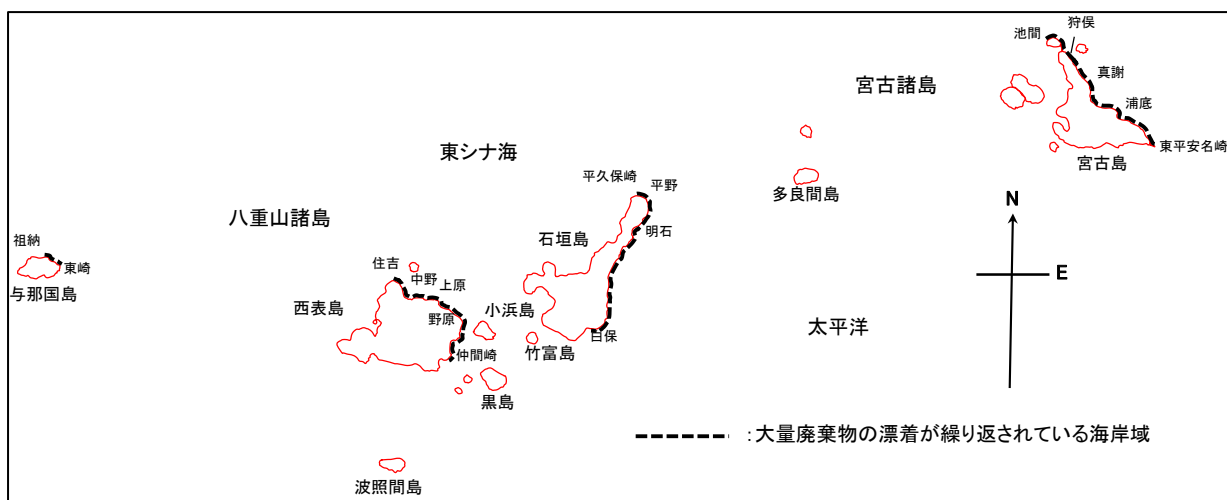
態系を自然防御する保全的機能を果たしている。

先述したように、毎年の調査を通して、一帯の海岸・沿岸水域では恒常的に海浜林の根元や周辺の植生域を埋め尽くすように大量の海洋漂着ゴミが打ち上がり集積している。これらの海洋漂着ゴミは枝・幹・根に巻き付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や弱体化に拍車を掛け、台風などの暴風・強風や高潮・高波で、容易に倒伏・折損する原因を生み出しているリスクが極めて高い(写真V.17)。

自然林が繁茂する海際緑林域への海洋漂着ゴミの大量集積は、西表島のユツン川河口西岸域のみならず、海洋ゴミの漂着頻度の高い海岸・沿岸水域をはじめ、清掃活動が難しい海浜域や清掃活動が停滞する傾向にある海浜域など、多くの沖縄島嶼海岸域で遭遇してきた(写真V.18)。

特に、八重山・宮古諸島の中でも(図V.7)、与那国島の北部～東部沿岸域、西表島の北部～東部沿岸域、石垣島の北部～東南部沿岸域、宮古島の北部～東部沿岸域では、膨大な量の外来海洋ゴミの漂着が幾年にも亘って繰り返されてきた。海浜樹木を含めた緑林域の自然植生に与えるダメージは極めて深刻な状況に至っていることを、毎年の調査を通して痛





図V.7 八重山・宮古諸島で海洋ゴミの大量漂着が繰り返させている海岸域は、特に、島北部から南部にかけての東側海岸域

感じている。

沖縄島嶼観光の人気高騰(例えば、人口約5万人の石垣島では、近年、毎年約140万人の観光客が訪れる)に伴い、西表島、石垣島、宮古島などの主要な海岸・沿岸水域では、近年、毎年、複数回実施される海岸清掃活動の普及啓発効果によって、海洋漂着ゴミの回収撤去が積極的に図られ、調査時には、打ち上がった海洋ゴミを殆ど見かけなくなった海岸域も増えつつある。しかし特に、毎年、海シー

ズンが本格的に始まる前の春季調査には、冬場から春先にかけて、再々押し寄せる夥しい数の多岐に亘る海洋漂着ゴミが、海浜樹林に食い込み植生域を埋め尽くし、まるで巨大廃棄場と化した海岸・沿岸水域に遭遇する機会が未だに多い。

防潮風林の役割を担う海浜緑林域の衰退・後退は、陸域奥の動物植物生態系の荒廃と破壊に繋がる要因ともなっている。海洋漂着ゴミの被覆放置は自然林などの海浜植物の生育・種子の発芽阻害となり世代更新を阻む。また多くの島嶼海岸・沿岸水域で確認されるウミガメの産卵上陸や稚ガメ孵化の障害などを齎し(写真V.19)、海洋生物に悪影響を及ぼすリスクは非常に高い。動植物生態系保全の観点から、海洋漂着ゴミが海浜植生・生物に



与那国島ツア浜(2016.3.31) 波照間島ブドウマリ海岸(2016.4.18)

写真V.19 春季調査であったが、八重山・宮古諸島の砂浜では、ブルドーザーのキャタピラ跡のような、ウミガメの産卵上陸の痕跡に度々遭遇する



与えるダメージリスクを解明するための学術的調査が急がれると同時に、天然植生に配慮した効果的な清掃手法を検討し、まずは一刻も早く、海浜緑林域から徹底的に海洋漂着ゴミを回収撤去することが肝要である。

### ■ 埋め尽くす大漂流木

2018年春季の八重山調査では、さらに唾然とする光景に遭遇した。毎年冬季から春先に打ち上がる近隣アジア諸国からの大量の海洋越境ゴミに加え、多くの海岸・沿岸水域



与那国島ウドゥマイ浜(2018.3.14)



与那国島ナーマ浜西側(2018.3.16)



波照間島港脇海岸東側(2018.3.29)



西表島星砂海岸西側(2018.3.25)



西表島ユツン川河口海岸西側(2018.3.23)



石垣島川平石崎海岸(2018.4.2)

写真V.20 2018年春季調査では八重山諸島の島嶼海岸域で想像を絶する膨大な量の天然流木の漂着に遭遇

には、前代未聞の膨大な量の天然流木が足の踏み場もないほどに、浜一面に埋め尽くす想像を絶する光景に遭遇した(写真V.20)。大小様々な大きさの天然流木で、大きいものは長さ数m・太さ約50～60cmに及び、熱帯地域の大木が多数見受けられた(写真V.21)。流木の流出域・漂流経路・流出量などの詳細は不明であるが、前年9月～10月以降、フィリピン諸島などの東南アジアを幾度か襲った大型台風の影響によるものと推察されている。与那国島、西表島、石垣島などの八重山島嶼では、北側に面した海岸・沿岸水域で極め



写真V.21 熱帯地域に繁茂する樹木の漂着が多数確認される  
(与那国島ウブドゥマイ浜, 2018.3.14 撮影)

て深刻な状況にあった。本格的な海シーズンに向け、人の立ち入りの多い海岸域(主に観光ビーチ等)では、清掃活動によって一部回収・撤去された海岸域も見受けられたが、人の立ち入りの余りない、また海浜樹木が繁茂し動植物生態系に富んだ野趣豊かな海岸・沿岸水域ほど、埋め尽くす膨大な流木はそのまま放置・残留状態にあった。海浜樹木の薙ぎ倒しや海浜植生の踏み倒しなどが広範囲に発生していて、殊に天然防潮風林の役割を担う海際の植生林に大きな打撃を与えて

おり深刻化していた(写真V.22)。海浜動植物の棲息・生育環境にとっても甚大なリスクとなっており、長期間放置された場合には、自然環境や生態系の攪乱・荒廃が懸念された。特にウミガメ産卵の本格的なシーズンに向け、産卵上陸への回避・断念行動が発生し、過酷な障壁となることが危惧された。

流木量は想像を絶する途轍もない量である。紺碧の海に映えるサンゴ白砂浜を一刻も早く取り戻す撤去のための早急な対応処



写真V.22 防潮風林の役割を担う海際の植生林への打撃が甚大で、海岸域のかく乱・荒廃を招く(西表島ユツン川河口海岸西側, 2018.3.23)

置が強く求められていた。まずは各島嶼海岸域での漂着残留している流木量の実態を詳細に把握し、周辺環境に与える被害・危険性に配慮して、優先的に回収撤去する方策を推進することが重要となる。いずれにせよ膨大な流木量への対応・処置となることから、当然、撤去・運搬・処分等にも膨大な経費が必要となる。国機関には、県や市町村などの地方自治体や団体などが申請できる財政支援制度がある。地球温暖化による台風の巨大化に伴い、今後、このような状況が繰り返される可能性は極めて高いことから、例えば国土交通省・農林水産省による「災害関連緊急大規模漂着流木等処理対策事業」や、環境省による「災害等廃棄物処理事業費補助金」(非災害起因の海岸漂着廃棄物(漂着ゴミ)も可)などでの支援制度を速やかに活用し、海岸管理者である行政機関には迅速に対処してもらうことが強く求められる。

## 6 持続的な巡回と迅速な回収撤去

海岸・沿岸水域まで鬱蒼と繁茂する亜熱帯樹林に覆われた西表島は、原自然溢れる秘境の島として人気が高い。降水量に恵まれた多雨多湿の気候が、河川・溪流・瀑布などの地表水豊かな流況環境を造り上げ、国指定天然記念物のイリオモテヤマネコをはじめ、セマルハコガメ、カンムリワシ、イリオモテオオコウモリなどの世界的にも珍しい希少で特異な生物の生態系を育ててきた(写真V.2.3)。特に世界中で西表島だけに棲息するイリオモテヤマネコは「生きた化石」と呼ばれているように、最も原始的なネコの一族の生き残りとして、国際保護動物にも指定されている。

イリオモテヤマネコの棲息個体数は、種の維持に必要な最低限の80～100頭とされているが、近年、毎年40万人以上の観光客が入島することで、交通量の増加や車両の高速走行により、多発する交通事故死が大きな問題となっている(図V.8)。島の幹線道である県道215号では、生物道の設置や側溝・段差などに工夫を凝らし、また通過車両の「ガタガタ」音で車両接近を伝えるための路面凹凸帯などを設けている。最近さらに、道路沿いにネットフェンスを設置するなど、防止対策の強化が一層図られつつある(写真V.2.4)。

ヤマネコの交通事故は2016年には過去最多の7件発生している。記録が残る1978年以降77件発生し、うち74件で死亡が確認されている。死亡事故の発生は島東部と西部を結ぶ北岸沿いを通る県道215号に集中している。また県道215号はじめ、海岸縁の車道や海沿いの畑・水田などの人里での目撃情報が非常に多い。出没・目撃・事故地点などにはユニークな注意標識の設置など、希少なヤマネコを交通事故から守る種々の対策が施されてきたが、相変わらず交通事故死は多発している。2018年には既に5個体が犠牲となっており、過去最高を上回る勢いで事故が発生している。

イリオモテヤマネコは、夜行性のため主に夕朝方に、海拔200m以下の海岸に近い山麓部などを棲息域に行動し、洞窟や沢地・湿地水域などをねぐらとしている。家ネコと違い川・溪流での泳ぎや木登りなどをすることもあり、鳥類やトカゲ類を主に餌として、底生小生物、昆虫、魚介類、植物など様々なものを捕食している。島唯一の幹線道である県





イリオモテヤマネコ  
大原のみやげ物店主より提供引用

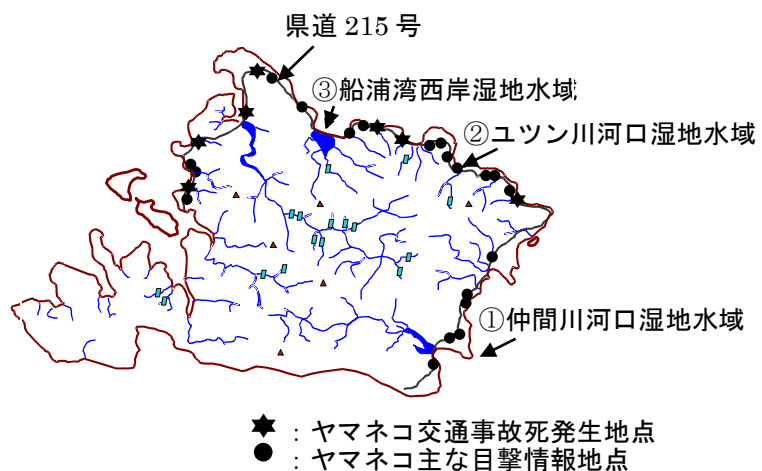


カンムリワシ  
高那海岸沿い車道脇(2015.4.14 撮影)



セマルハコガメ  
大原海岸沿い農道脇 (2014.5.1 撮影)

写真V.23 西表島には国の天然記念物に指定されている希少な生物などが棲息している道215号沿い北岸側には、自然林に覆われた急峻な崖地形が多く、下方の海沿いには、長年調査を行っている仲間川河口域、ユツン川河口域、船浦湾西岸域をはじめ、規模の様々な河口や干潟・湿地水域が広がっている。上述したように、県道215号沿いでの交通事故死や目撃情報の多発状況から判断すると、調査対象域としてきた3か所のマングローブ湿地水域などは、イリオモテヤマネコの絶好の餌場や棲息場などの移動・活動場になっているものと推察される(写真V.25)。



図V.8 2016年のイリオモテヤマネコ交通事故死地点と主な目撃情報

ところで、生態系や生物多様性において世界的レベルの自然環境が育まれている西表島は、鹿児島県の奄美大島や徳之島と共に、我が国での世界自然遺産登録候補地となっている島嶼である。2017年2月1日にはユネスコ世界遺産センターに推薦書が提出され、同年10月には登録の可否を勧告する国際自然保護連合(IUCN)の調査官による現地視察が行われた。世界自然遺産登録に向けて長年の期待が高まっていたが、残念なことに、政府は2018年5月29日、推薦書の提出を一旦取り下げる方針を固め、2020年夏

「ガタガタ」音を発し車両  
接近を伝える路面凹凸帯



車道への侵入防止のため  
のネットフェンス



写真V.24 交通事故からイリオモテヤマネコを守るために、西表島ならではの様々な強化対策が図られている

の登録を目指して、再提出することを表明していた。そして2018年11月2日、政府は国内5番目の世界自然遺産として、「奄美大島、徳之島、沖縄北部及び西表島」を正式に再推薦することを決めている。その後、2020年夏の世界自然遺産登録を目指し再推薦がなされ、2019年10月11日にはIUCNの調査官による現地視察が再度行われた。

だがしかし、登録審査を待つ2020年には、新型コロナウイルスが世界的に感染拡大し、同年6月から中国で開催予定であった世界遺産委員会は延期を余儀なくされていた。新たな日程としては、2020年11月のユネスコ本部会議で2021年6~7月に中国福州で開催し、2021年分の推薦候補と合わせて審査することが決まっている。

ところで、上記の我が国が一旦取り下



写真V.25 西表島ユツン川河口のマングローブ湿地域に下りる海岸斜面の藪域には、ヤマネコなどの生物観測地点を示す標識が設置されている

げ再推薦した経緯において、海洋漂着ゴミ問題との関連については明確に指摘されていない。だがこれまで既述したように、西表島の中でも外来海洋ゴミの最も深刻な漂着状況にあるユツン川河口域などの島北岸部の沿岸域では(写真V.26), 有害化学物質が懸念されるマイクロプラスチックを含めた廃プラスチックや生物捕食を介した食物連鎖による汚染リスクが懸念される。イリオモテヤマネコなどの生態系を支える棲息環境を安全に保全する



中野海岸(2019.3.31 撮影)



ユツン川河口西側海岸(2019.3.29 撮影)



上原海岸(2019.4.2 撮影)



野原海岸(2019.3.27 撮影)

写真V.26 西表島ではマングローブ湿地水域が点在する北岸側の西部から東部の海岸域では、海洋ゴミの大量漂着が繰り返されている

上でも、漂着する海洋ゴミの定期的な巡回による状況把握と迅速な回収撤去が、実践的でも速戦的な方策として益々重要となる。

ちなみに、嘗て富士山の世界自然遺産登録では、長年の登山者の投棄ゴミや不法投棄された大量廃棄物による景観破壊や環境汚染が原因で、世界遺産登録が見送られた苦い経験がある。世界自然遺産に相応しい環境保全対策の在り方や管理運営が積極的に実践されていることを知らしめる意味でも、西表島を含めた沖縄島嶼での海洋漂着ゴミの軽減抑制対策を最優先課題と位置付け、危惧される自然環境への汚染リスクの低減防止対策の強化を図っていくことが一層問われている。



## VI. 海洋廃プラスチックの有害リスク

### 1 有害化学物質の含有・吸着・溶出

筆者はこれまで、近隣アジア諸国から漂着したものを含め、種々の廃プラスチック漁具類をはじめ多種類の廃プラスチックの海洋ゴミに関する重金属類等の含有・溶出性について幾度も分析結果を公表し、学術的及び汚染学的視点から漂着廃プラスチックの有害リスクについて警鐘を鳴らしてきた。

石油化学製品であるプラスチック類は炭素（C）・水素（H）・酸素（O）を主成分とした高分子化合物(合成樹脂)である。だが用途・機能等に応じて着色剤，難燃剤，可塑剤，酸化防止剤，光安定剤，帯電防止剤等の各種の添加剤や成形助剤が混入されている(表VI.1 a)。これらの添加剤や成形助剤には，有害化学物質を含んだ成分が添加されている場合が多い。

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は高い(表VI.1 b)。着色剤の化学成分には鉛(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)，砒素(As)などの有害元素を含んだものも多い。近年ではPb，Cd，Crなどの使用量は減少しているが，黄鉛(クロム酸鉛)などは経済面で他顔料への代替が難しく，ポリ塩化ビニル製のプラスチック製品などには未だに広く使用されている。他にも臭素(Br)，亜鉛(Zn)，アンチモン(Sb)，アルミニウム(Al)などを含有した化学成分の難燃剤などが普及している。

図VI.1には，廃プラスチックのマイクロプラスチック化とその汚染リスクの概念フローを示している。マイクロプラスチックの微細片からは破砕以前の原形・用途を窺い知るのは難しい。だが製造過程で使用された添加剤や成形助剤等の化学成分に含まれる重金属類，ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)，フタル酸エステル類，ビスフェノールAなど(表VI.1 a 参照)，廃プラスチック自体が含有している有害化学物質に加え，漂流中に吸着した有害化学物質(重金属類，ポリ塩化ビフェニル(PCB)など)や油分・タールなどの汚染物質を広く拡散・運搬する「運び屋」としての役割を担っている。

近年，マイクロプラスチックからPBDEやPCBが検出されることで，社会的に大きな関心事となっている。国際的に規制する残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(2001年5月採択)では，両化学物質は毒性が極めて強く，残留性，生物蓄積性，長距離移動性の高い化学物質として規制されている。

ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)の場合には，上述したように臭素系難燃剤としてプラスチック類の製造過程に添加されている。ちなみに1970年代にはポリ臭化ビフェニル(PBB)が難燃剤として導入されていた経緯がある。だがPBDEよりも毒性が遥かに強く発がん性が確認されたことから，1974年以降使用は中止されているが，今でも水質汚濁防止法の要調査項目に規定されている。

PBDEには臭素原子の個数やその配位(結合位置)により，200を超える同族体・異性体が存在する。我が国の化学物質審査規制法(化審法)では，臭素が4～7のテトラ，ペンタ，

表VI.1a 身近な廃プラスチック類に含まれている主な有害元素と化学物質の一例

機能・用途向上のための添加剤等	主な含有元素と化学物質等	備考
無機着色剤 (顔料・染料・塗料)	Zn, Cr, Pb, Ti, Ba, Mn, Ni, Co, Br, Sb, Cl, As, Cd など	有機顔料には、副生成されたポリ塩化ビフェニル(PCB)を含んだものも流通
プラスチックメッキ用剤	Cr, Mn	ABS 樹脂やポリカーボネイト(PC)などのエッチングによるメッキに使用
難燃剤・助剤	Br(臭素系) Sb, Al, Zn(無機系) など	・Br系はエポキシ樹脂やABS樹脂をはじめ、PA, PBT, PETなどに使用 ・Sb(三酸化アンチモン)はBr系難燃剤との併用での助剤用途, PVCにも単独使用
透明性向上用触媒	Sb, Ge	ポリエチレンテレフタレートに使用
添加剤	Ti	ポリエチレンテレフタレートに使用
安定剤	Ba	ポリ塩化ビニリデンに使用
添加剤	Sn(ジブチルスズ)	ポリ塩化ビニリデンに使用
電導性向上	Al, Zn	
抗菌剤	Ag, Cu, Zn, Ti(酸化チタン)	
遮光性向上	Ti	
漂白剤	Mn, S	
硬化剤 容器等コーティング剤	ビスフェノール A	エポキシ樹脂の硬化剤(プレモノマー)としても使用
防汚剤(船底塗料)	Sn(トリブチルスズ, トリフェニルスズ等の有機スズ), Cu(亜酸化銅), 副生 PCB(船底塗料用)	有機スズ系は我が国では使用禁止(未だに使用国有り), 主に亜酸化銅系を使用
酸化防止剤	ノニルフェノール, S	
可塑剤	フタル酸エステル(フタル酸ブチルベンジル, フタル酸ジエチルヘキシルなど)	
(触媒)	Pt, Al, Mn	製造過程で使用
(酸化剤)	Mn(過マンガン酸カリウム)	製造過程で使用

注)PA: ナイロン, PBT: ポリブチレンテレフタレート, PET: ポリエチレンテレフタレート, PVC: ポリ塩化ビニル

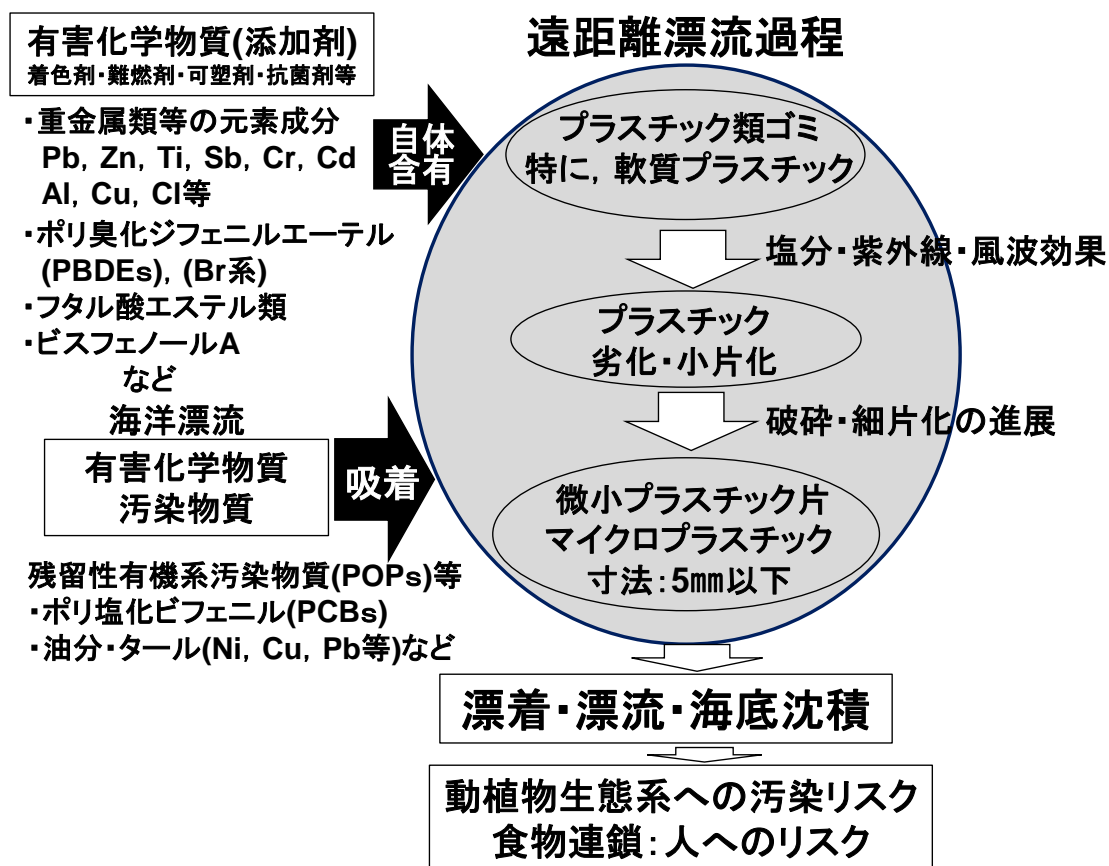


表VI.1b 主要な無機顔料の基本分子構造の一例(プラスチック事典, 朝倉書店出版より引用)

色調	主要無機顔料(汎用・慣用名)	基本分子構造	構成元素
黄	チタンイエロー	$\text{NiO} \cdot \text{SbO}_2 \cdot 10\text{TiO}_2$	Ni, Sb, Ti, O
	黄色酸化鉄	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Fe, O, H
	黄鉛	$\text{PbCrO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Pb, Cr, S, O
	カドミウムイエロー	$\text{CdS} \cdot n\text{ZnS}$	Cd, Zn, S
	亜鉛黄(ジンクロメール)	$\text{ZnCrO}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$	Zn, Cr, O, H
橙赤茶	クロムオレンジ(パーミリオン)	$x\text{PbCrO}_4 \cdot y\text{PbO}$	Pb, Cr, O
	モリブデンレッド	$\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbMoO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$	Pb, Cr, Mo, S, O
	べんがら	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe, O
	鉛丹	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	Pb, O
	カドミウムオレンジ	$n\text{CdS} \cdot \text{CdSe}$	Cd, S, Se
	カドミウムレッド	$n\text{CdSe} \cdot \text{CdS}$	Cd, Se, S
紫青緑	コバルト紫	$\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2, \text{Co}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Co, P, O, H
	群青(ウルトラマリンブルー)	$\text{Na}_{6-8}\text{AlSi}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$	Na, Al, Si, S, O
	紺青(ミロリブルー)	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Fe, N, C, O, H
	コバルトブルー	$\text{CoO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$	Co, Al, O
	コバルトグリーン	$\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$	Co, Zn, O
	コバルトチタネイトグリーン	$\text{Co}_2\text{TiO}_4$	Co, Ti, O
	酸化クロム	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Cr, O
白	硫化華(ジnkオキンド)	$\text{ZnO}$	Zn, O
	硫化亜鉛	$\text{ZnS} \cdot \text{H}_2\text{O}$	Zn, S, H, O
	酸化チタン	$\text{TiO}_2$	Ti, O
黒	カーボンブラック	C	C
	鉄黒	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe, O
体質顔料	炭酸カルシウム	$\text{CaCO}_3$	Ca, C, O
	沈降性硫酸バリウム	$\text{BaSO}_4$	Ba, S, O
	クレー(カオリン)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Al, Si, O, H
	タルク	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mg, Si, O, H
	ホワイカーボン	$\text{SiO}_2, \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Si, O, H
蛍光	硫化亜鉛	$\text{ZnS}$	Zn, S
	ケイ酸亜鉛	$\text{Zn}_2\text{SiO}_4$	Zn, Si, O
	硫化カルシウム	$\text{CaS}$	Ca, S
金属粉	アルミニウム粉	Al	Al
	ブロンズ粉	$\text{Cu} + \text{Zn} + \text{Al}$	Cu, Zn, Al

ヘキサ、ヘプタ臭化ジフェニルエーテルは、2010年4月、第一種特定化学物質に規制され、製造・使用・輸入等は原則禁止されている。しかし臭素系難燃剤には種類も多く、臭素が10のデカ臭化ジフェニルエーテルなど、規制以外の他の臭素系難燃剤を含んだ製品が現在も製造・使用・廃棄されていて、自然界に排出されている可能性が極めて高い。

一方、我が国では1972年に生産・使用中止等の行政的指導を経て、1974年に製造及び輸入が法的に禁止されたポリ塩化ビフェニル(PCB)の場合には、それ以前に使用されたPCB含有製品(絶縁油を含むコンデンサーやトランスなど)の不適切な廃棄・保管・処



図VI.1 廃プラスチックのマイクロプラスチック化と汚染リスクの概念フロー

分や、防汚剤に使用された船底塗料(PCB含有)などから自然界に流出したPCBに加え、先の表VI.1aに示すように、着色用の有機顔料に含まれている微量な副生PCB(副生副産物として製造過程に生成される物質)が、市販の工業製品から検出されることも指摘されている。また最近の国機関の調査で、全国の鉄橋や水門はじめ幹線道路上の橋梁など、社会のインフラ施設の塗料にPCBが含まれていることが判明している。揮発したり剥がれ落ちたりしたPCBが河川から海に流出すれば、海洋生態系への影響リスクが懸念される。他にも種々の重金属類に加え、エポキシ樹脂やポリカーボネート樹脂の原料(モノマー)であるビスフェノールAや可塑剤として添加されるフタル酸エステル類などにも汚染リスクの高い化学物質が含まれている。

取り分け、マイクロプラスチックは微小なサイズ故に、海洋生物の摂食リスクを拡大することで、汚染リスクに拍車をかけることに繋がる。延いては小生物を餌とする大型海洋生物(海鳥、魚、海亀など)との食物連鎖の中で残留性の高い有害化学物質が濃縮され、海洋生態系をはじめ海産資源を介して、人への影響リスクが懸念されている。

最近、東京湾で捕獲されたカタクチイワシ64匹中、約77%に当たる49匹の消化管からマイクロプラスチックが見つかったと言う、ショッキングな記事がマスコミ紙でも公表されている。沖縄島嶼の砂浜・干潟・湿地などの海岸・沿岸水域に棲息するミナミスナ





(a)スナガニ(座間味島ニタ海岸, 2019.2.23 撮影)



(b)ヤドカリ(与那国島カタブル浜, 2015.4.3 撮影)



(c)ヤドカリ(宮古島保良漁港脇海岸北側, 2019.4.15 撮影)



(d)ヤシガニ(鳩間島 2006.4.3 撮影)

写真VI.1 砂浜や海岸に棲息する甲殻類の底生生物がマイクロプラスチックなどの微小プラを摂食するリスクが高い(沖縄春季調査)

ガニ、オオナキヤドカリ、ヤシガニなどの甲殻類の底生生物の体内からも(写真VI.1), 大きさ0.3~0.5mm程度の微小なプラスチック片が検出されたとの沖縄県による調査報告もある。マイクロプラスチックの摂食による身近な生体内への取り込みが危惧される学術的な指摘が増えつつある。

だが、現時点ではまだ、マイクロプラスチックを含めた廃プラスチックに由来する有害化学物質の影響で、微小プラスチックを取り込んだ海洋生物に奇形や異常など、生体的に異変・変質などが自然界で確認されたとの科学的な検証事例はない。

殊に、亜熱帯海洋性の稀少な動植物生態系が育まれている沖縄島嶼では、圧倒的な漂着量を示す中国製ゴミを主体とした近隣アジア諸国からの海洋越境ゴミが深刻である。遠距離漂流で劣化破碎を繰り返したマイクロプラスチックなどの微小プラスチックの漂着も多い。外来廃プラスチックの場合には、当然生産国(国籍)の製品規格や材質の違いによって、

有害化学物質の種類・添加量は異なっているはずである。汚染リスクを軽減・防止し、海洋・沿岸水域の自然環境を守り保全していくためにも、マイクロプラスチックを含めその発生素とである廃プラスチックからの有害化学物質の曝露の実態をはじめ、生体内への取り込み状況や摂食経路などに関して、学術的に検証し把握することが急がれている。

それ故に、廃プラスチックに由来する有害化学物質に関する科学的な解明は、危惧される海洋生態系への汚染リスクに対して強く警告を発する役割を担い、同時に廃プラスチックの滞留・放置の許されない迅速な回収除去の重要性を広く周知徹底させ、汚染リスクの軽減・防止対策の拡充を図る上で、まさに必須の切迫した取り組みであると言える。

## 2 身近なプラスチックの安全性の検証は

これまで説明したように「使い捨てプラ」など生活に身近なプラスチック(合成樹脂)類には、用途・機能等に応じて、製品の製造過程で着色剤、難燃剤、可塑剤、安定剤などの各種の添加剤や成形助剤などが添加されていて、それらの添加剤等には有害化学物質が含有されている場合が多い。

そのため、例えば食品に用いられる合成樹脂製の器具及び容器包装の場合には、安全性を担保するために、厚生労働省の食品衛生法(昭和22年法律第233号)では各種の規格基準が制定されている。当然、有毒な、若しくは有害な物質が含まれるなど人の健康を損なう恐れや、規格・基準に合わない器具又は容器包装の販売・製造等は禁止されている。

即ち、食品衛生法での合成樹脂製の器具・容器包装に関する規格・基準(表VI.1c)では、全ての合成樹脂に適用される一般規格に加え、個別規格が規定されている。個別規格では各樹脂の特質(材質)に応じた試験が設けられ、安全性への保障が図られている。

表VI.1c中で、材質試験は樹脂(プラスチック)に含有されている化学成分量を測定する試験で、また溶出試験は規定された溶出条件下で樹脂から溶出する量を測定する試験である。全ての合成樹脂製の器具又は容器包装では、一般規格によりカドミウム(Cd)と鉛(Pb)の含有量の測定(材質試験)に加え、他の重金属の溶出量と過マンガン酸カリウム消費量の測定(溶出試験)が基準化され、それぞれ規格値が設定されている。さらに個別規格では合成樹脂ごとに材質試験と溶出試験が基準化され、個々の材質に応じて有害な化学成分に関する規格値が定められている。

最近、厚生労働省では、新たな素材のものが次々と開発されていることや、国外からの輸入品が増加していることなどから、実態に即応できるように、規制の対象とする器具・容器包装の材質や使用できる物質などについて再検討し、食品衛生法での器具・容器包装の規制に関する制度を改めることで、安全性の強化を図る方針を打ち出している。

このように食品用の様々な材質のプラスチック器具や容器包装には、重金属類などの有害化学物質が含有されている場合のあることを予め考慮し、しかもこれらの有害化学物質がプラスチックから溶出することを念頭に置いて、健康への影響に配慮した科学的な安全基準値が設けられていることが分かる。やはり食品用のガラス、陶器、ホウロウ引き、金



表VI.1c 食品衛生法での合成樹脂製器具・容器包装またはこれらの原材料の材質別規格基準

規格	合成樹脂の種類	材質試験		溶出試験		備考
		分析成分	規格値 ( $\mu\text{g/g}$ )	分析成分	規格値 ( $\mu\text{g/ml}$ )	
一般規格	全合成樹脂 (下欄 16 樹脂)	カドミウム	100 以下	重金属	1 以下	有機物の溶出量
		鉛	100 以下	過マンガン酸カリウム消費量	10 以下	
個別規格	フェノール樹脂 (PF) メラミン樹脂 (MF) ユリア樹脂(UF)			フェノール	5 以下	
				ホルムアルデヒド	陰性	
				蒸発残留物	30 以下	
	ホルムアルデヒドを製造原料とする樹脂			ホルムアルデヒド	陰性	上記欄の 3 樹脂を除く
				蒸発残留物	30 以下	
	ポリ塩化ビニル (PVC)	ジブチルスズ化合物	50 以下	蒸発残留物	30 以下	ジブチルスズ化合物, グレゾールリン酸エステルは添加剤
		グレゾールリン酸エステル	1000 以下			
		塩化ビニル	1 以下			
	ポリエチレン(PE)			蒸発残留物	30 以下	
	ポリプロピレン (PP)			蒸発残留物	30 以下	
	ポリスチレン(PS)	揮発性物質	5000 以下	蒸発残留物	30 以下	熱湯では規格値 2000 $\mu\text{g/g}$
	ポリ塩化ビニリデン (PVDC)	バリウム	100 以下	蒸発残留物	30 以下	バリウムは添加剤
		塩化ビニリデン	6 以下			
	ポリエチレンテレフタレート (PET)			アンチモン	0.05 以下	アンチモン, ゲルマニウムは添加剤
				ゲルマニウム	0.1 以下	
				蒸発残留物	30 以下	
	ポリメタクリル酸メチル (PMMA)			メタクリル酸メチル	15 以下	
				蒸発残留物	30 以下	
	ナイロン(PA)			カプロラクタム	15 以下	
				蒸発残留物	30 以下	
ポリメチルペンテン (PMP)			蒸発残留物	30 以下		
ポリカーボネート (PC)	ビスフェノール A	500 以下	ビスフェノール A	2.5 以下	アミン類(トリエチルアミン及びトリブチルアミン)は添加剤	
	ジフェニルカーボネート	500 以下	蒸発残留物	30 以下		
	アミン類	1 以下				
ポリビニルアルコール (PVA)			蒸発残留物	30 以下		
ポリ乳酸			総乳酸	30 以下		
			蒸発残留物	30 以下		

注 1)溶出試験での蒸発残留物の規格値はヘプタン, 20%エタノール, 水, 4%酢酸溶液での測定値

注 2)溶出試験でのビスフェノール A の規格値はヘプタン, 20%エタノール, 水, 4%酢酸溶液での測定値

属缶, ゴム製の器具及び容器包装にも, 同様の基準が設けられている。また医療関連のプラスチック等の容器・器具類にも安全性に配慮した規格基準が制定されている。当然のことで適正な措置であると言える。

しかし, 海洋ゴミの大半を占める廃プラスチックは, 食品衛生法で人の健康への安全性が保障されている食品用の廃プラスチックに留まらない。食品用以外の容器・製品類をはじめとして漁業用浮子・ブイ・発泡スチロールなど, 多岐の種類・形態・材質の廃プラス



写真VI.2 沖縄島嶼では様々な小型浮子類が確認されるが、中でも青色樽型、青色棒型、橙色棒型浮子類の漂着が極めて多い（沖縄県西表島野原海岸，2014.4.28 撮影）

チックに至る。

以降では代表的な分析結果を提示して述べるが、例えば環境省のウェブサイトでは、着色剤として添加された青色の顔料より鉛(Pb)が高い濃度で検出されることで、特に沖縄島嶼で大量漂着を繰り返えず2種類の漁業用中国製浮子類(写真VI.2)に対して喚起を促している。

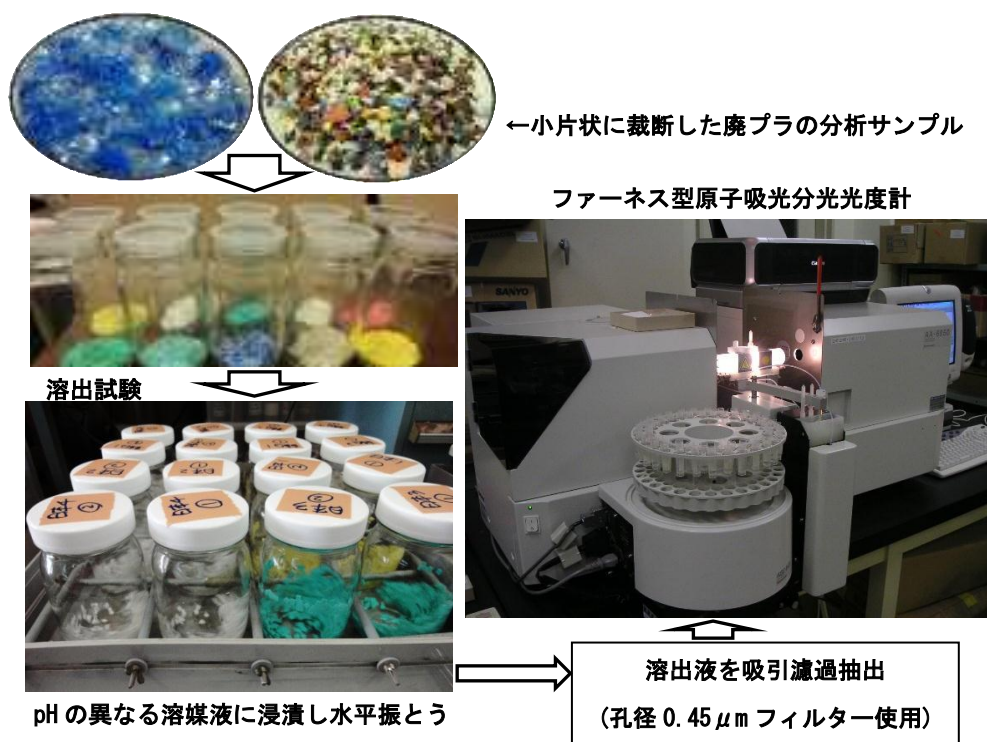
海洋廃プラスチックには有害化学物質の含有・溶出に関する安全性が、科学的に検証・保障されているとは言い難いものも多々混在している。しかも沖縄島嶼や日本海沿岸水域では、製品の素材や添加剤など、科学的に材質の安全性が把握できない近隣アジア諸国からの多岐に亘る膨大な量の廃プラスチックが打ち上がる。海岸・沿岸水域は素材や添加剤の不明な有害リスクの高い廃プラスチックやその破片群で覆い尽くされる場合も想定さる。水質・土壌汚染が懸念されると同時に、海洋生物が摂食した際には、マイクロプラスチックなどの微小プラスチックの生体内への取り込みに加え、重金属等の有害化学物質の溶出による汚染リスクが一段と高まることが危惧される。

そのため、上述したように、食品衛生法で規制されている人の健康被害への安全基準は、他の様々な種類・形態・材質の廃プラスチックをはじめ海洋生物の摂食リスクに対しても妥当なものであるのか否か、食物連鎖を考慮した科学的な究明が早急に問われている。

### 3 海洋廃プラスチックから溶出する有害元素の代表的な分析例

筆者は2005年から海洋ゴミに起因する有害化学物質の自然環境への汚染リスクを解明するための分析化学的研究にも取り組んできた。これまで生活・漁業系等の廃プラスチックを中心に様々な海洋ゴミを対象として、国籍(生産国)の相違による材質の影響や化学成分の含有・溶出特性などを把握するために、主に重金属類等を中心に土壌・水質基準等に規定されている無機系有害化学物質の分析評価を試みてきた。その主要な成果の一部は、





写真VI.3 原子吸光分析法による漂着廃プラスチックから溶出する重金属類等の有害元素成分の定量分析

既に平成26年度第2回沖縄県海岸漂着物対策推進協議会(2015年3月開催)での会議資料『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』(沖縄県HP参照)などで詳述している。

大型プラブイや浮子類をはじめ、発泡スチロールやペットボトル等の容器類を対象に、色調・タイプ・材質等の異なる数百サンプル以上の海洋廃プラスチックを国籍(生産国)やタイプ別に区分し、含有する有害元素や溶出する重金属類等の定量分析を試みている。特にプラスチック製品の製造過程で素材に混入・添加された有害元素の把握・評価に重点を置いている。空隙の多い発泡スチロール以外の廃プラスチックの海洋ゴミは、表面の汚れや吸着物質を取り除くために、予め入念に蒸留水等で洗浄したものをを用いている。成分分析での含有量は蛍光X線分析法で、有害元素の溶出量は原子吸光分析法でそれぞれ定量分析している。

ここではまず、代表的事例として廃プラスチック容器類、先の中国製小型浮子類、レジンペレット樹脂粒子、発泡スチロールの4種類の海洋ゴミを取り上げ、原子吸光分析による廃プラスチックから溶出する有害元素(重金属類等)について解説する。

分析では水質・土壌基準等に規定されている重金属類等を中心に鉛(Pb)、クロム(Cr)、亜鉛(Zn)、マンガン(Mn)などの13元素を対象としている。前処理の溶出試験では、細かく裁断した廃プラスチックサンプルを溶媒液に1か月間浸潤させ、その間1週間ごとに1時間の攪拌振とうし、廃プラスチックからの有害元素の溶出を図った(写真VI.3)。なお溶

媒液は、海洋生物の微小プラスチックの体内への取り込み(体液等の酸性度の影響)や酸性度に伴う重金属類等の溶出性の促進などを考慮して、酸性度(水素イオン指数pH)の異なる数種類の溶媒液を用いた。有害元素の溶出量は廃プラスチックの質量1kg当たりから溶出する量( $\mu\text{g}$  : マイクログラム)として表示している。

## ■ 廃プラスチック容器類

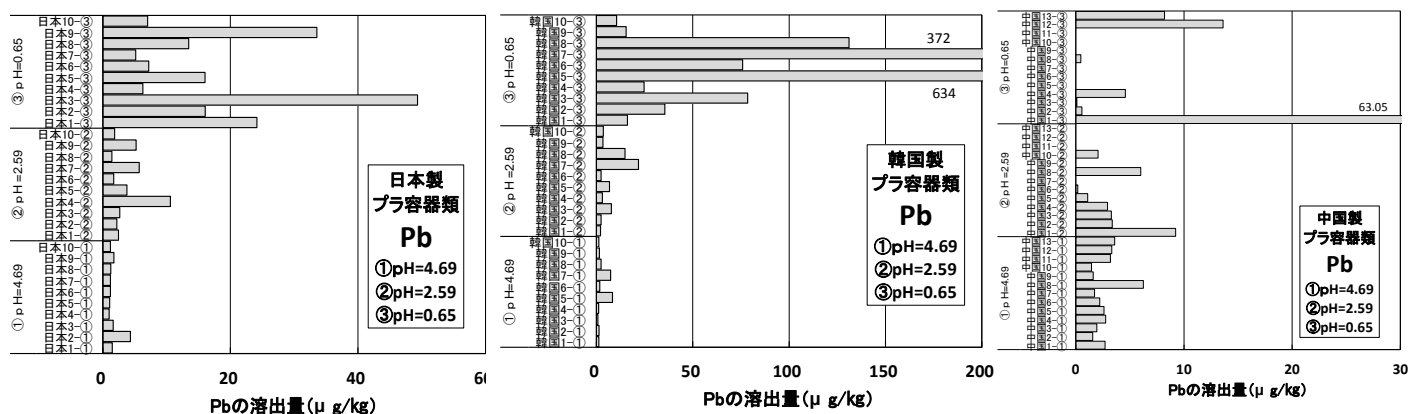
我が国では、沖縄島嶼や日本海沿岸・離島では近隣アジア諸国からの外来廃プラスチックの漂着が深刻なことから、海岸・沿岸水域でランダムに採取した廃プラスチック容器類を日本製、中国製、台湾製、韓国製、他外国製の5つの国籍に区分し(写真VI.4)、国籍ごとにそれぞれ十数個の容器類について単体ごとに分析している。



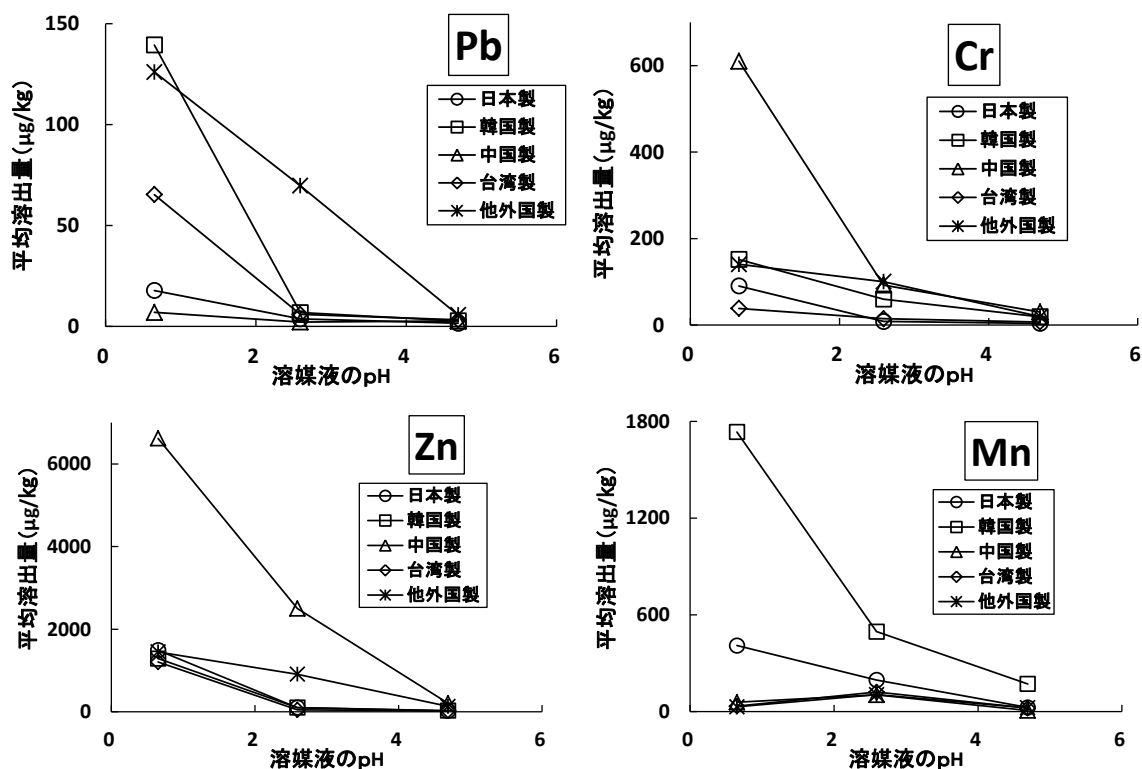
写真VI.4 溶出分析に準備した廃プラ容器類(外国製サンプルの例)

まず図VI.2には、鉛(Pb)の場合について、日本製、中国製、韓国製のそれぞれの廃プラスチック容器類からの溶出量を例示している。溶媒液の酸性度(pH)が同じでも、プラスチック単体ごとに添加剤や材質等に差異があるため、溶出量にかなり相違が認められる場合もある。だが概ね、酸性度が高く(pHが小値)になると、いずれの国籍の廃プラスチック容器類でも溶出量は高くなる傾向にあることが分かる。しかし溶出量とpHとの関係は国籍によってかなり異なっていることから、便宜的に各pHでの溶出量の平均値を求め、Pbに加えCr, Zn, Mnの分析例について国籍による違いを見たのが図VI.3である。重金属類等の有害元素の溶出性は国籍によって製造過程での添加剤や成形助剤の成分・濃度や材質の規格・基準などによってかなり異なっているものと推察される。特に酸性度の高い(p





図VI.2 日本製，韓国製，中国製の廃プラスチック容器類からの鉛(Pb)の溶出量

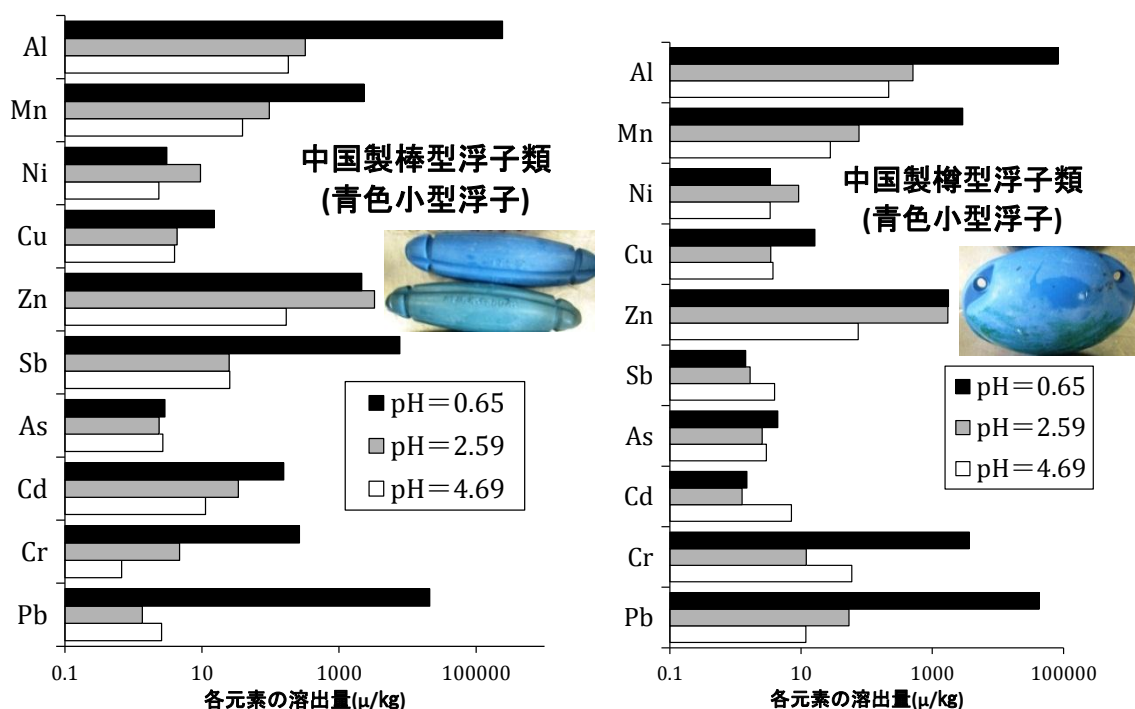


図VI.3 廃プラスチック容器類からの有害元素の溶出性は 浸潤する溶媒液の酸性度が高くなる(pHが小値)と高まる傾向がある

Hが小値)溶媒液に浸潤させた場合には、有害元素で程度の差はあるが、いずれの国籍の廃プラスチック容器類からも高い溶出性が検証される。このような傾向は、分析した他の9種類の有害元素(砒素(A s), カドミウム(C d), 銅(C u), アルミニウム(A l), ニッケル(N i), 錫(S n), アンチモン(S b), チタン(T i), バリウム(B a))においても概ね検証される。そのためマイクロプラスチックなどの微小プラが海洋生物の体内に取り込まれた際には、酸性度の高い体液等で溶解性が高まり、有害リスクに拍車の掛かることが懸念される。

## ■ 中国製小型浮子類

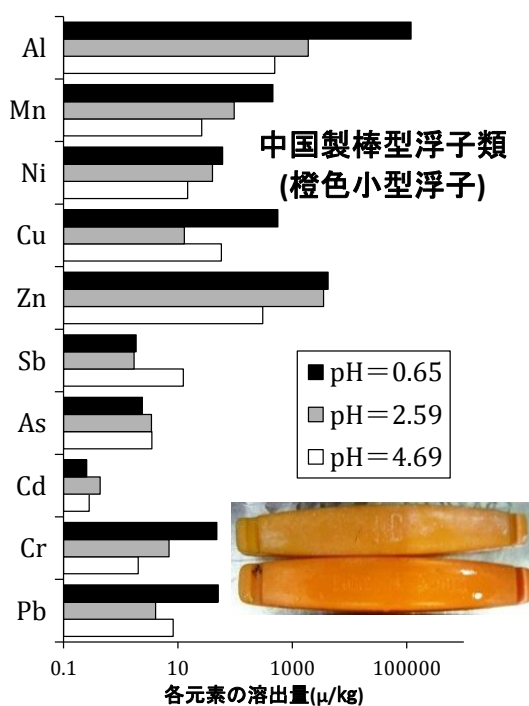
先のⅢの2項で特異な廃プラスチック漁具類の一つとして取り上げた、中国製の棒型と樽型の小型浮子類は(写真Ⅵ.2参照)、特に中国大陸に近い東シナ海上の八重山・宮古諸島の



図Ⅵ.4 中国製青色棒型・樽型浮子類からの重金属類等の有害元素の溶出性

島嶼では、毎年、島岸線を埋め尽くすように万個単位の大量漂着を繰り返している。中でも棒型と樽型の両青色浮子類は、着色剤として使用された顔料から高濃度の鉛(Pb)が検出され、有害リスクの高い廃プラスチック海洋ゴミとして環境省ホームページでも警告が発せられている。

図Ⅵ.4には、両浮子類について、鉛(Pb)に加え、10種類の有害元素の溶出分析の結果を例示している。PbのみならずCr, Cd, Sb, Zn, Mn, Alなど、大半の分析元素で高い溶出性が検出される。特にAl, Mn, Znの溶出性はかなり高い傾向にある。しかも、やはり殆どの有害元素では、溶媒液の酸性度(pH)が増すほど(pHが小値)溶出性が非常に高まる傾向にあることが分かる。両浮子類での分析元素の溶出性は、かなり類



図Ⅵ.5 中国製橙色棒型浮子類からの重金属類等の有害元素の溶出性

似した傾向を示しているが、棒型ではC dとS b，樽型ではP bとC rで高い溶出性が窺われる。

なお参考までに，両青色小型浮子類と同様に，大量に打ち上がる中国製の橙色棒型浮子類の状況を図VI.5に示している。有害元素の溶出傾向は，全体的にどちらかと言えば，樽型浮子類の場合にかなり近似していることが分かる。

以上の分析結果から，橙色小型浮子類を含め中国製の両青色小型浮子類からは，鉛(P b)のみならず，多種類の有害な重金属類等の溶出リスクが高く，危険な浮子類であることが改めて明らかとなった。

### ■ レジンペレット樹脂粒子

レジンペレットは直径数mm程度の細かい粒子状の樹脂で，主にプラスチック製品を造るために使用される中間材料である(写真VI.5)。溶融して用途に応じて着色し，添加剤を混入し加圧してプラスチック容器類に加工されている。

1970年代初頭より，海鳥・魚類等の海洋生物の消化器官などの体内からの検出報告が頻繁になされるようになった。当時から既に，ポリ塩化ビフェニル(PCB)などの有害化学物質を表面に吸着し，添加剤の有害化学物質が溶け出す性質のあることが指摘されている。汚染物質を広く運搬・拡散させる役割を担うことから，レジンペレット樹脂粒子は深



東京湾の海岸・沿岸水域一帯で採取

沖縄県座間味島チシ海岸で採取

写真VI.5 海岸域に漂着したレジンペレット樹脂粒子

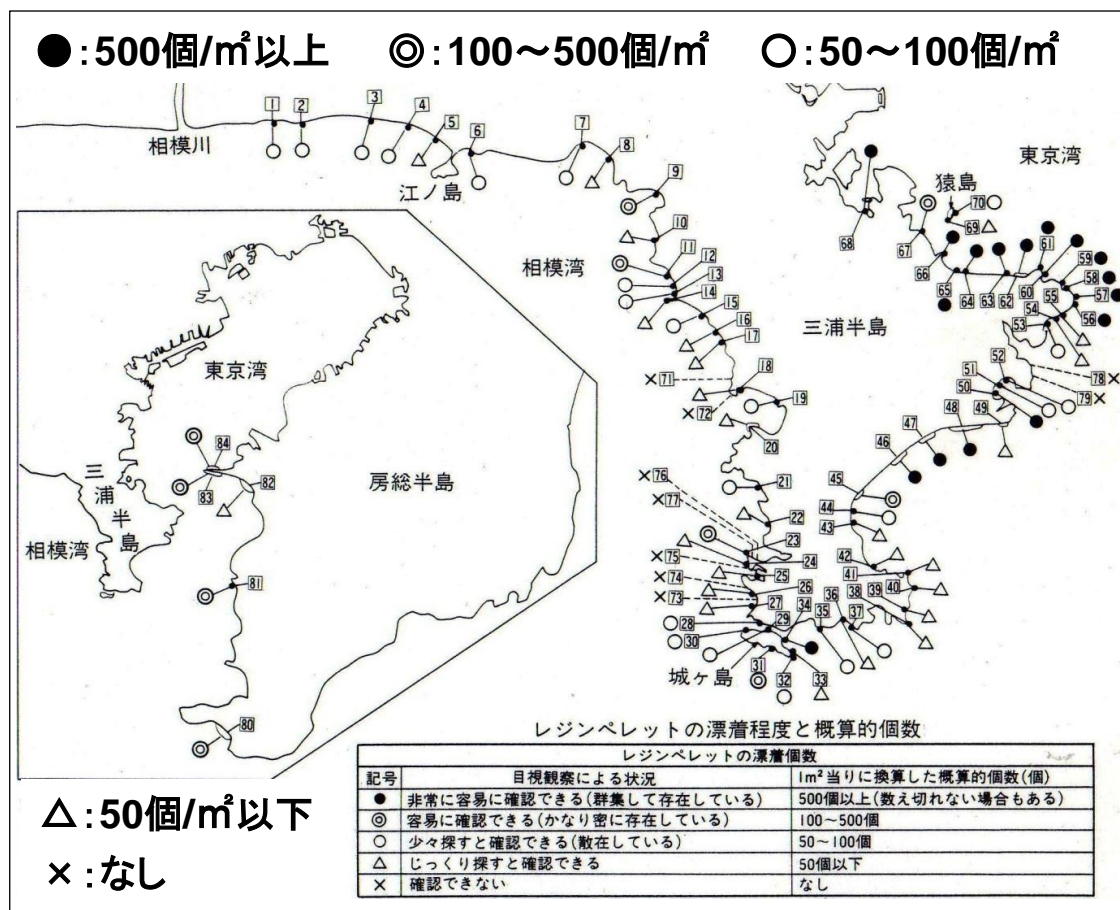
刻な事態を齎す海洋汚染因子として，世界的に警告がなされてきた。

漂着物研究で著名な石井忠氏(故人)は著書『漂着物事典(海鳥社)』の中で，“1972年1月中旬，福岡県花見から津屋崎町浜にかけて，丁度アラレが降ったように白い小さな粒が打ち上がっていた”と，福岡県の玄界灘に面する海岸踏査で初めて観た様子を綴っている。また当時，北海道大学教授の小城春雄先生による北海道室蘭沖噴火湾周辺での調査で



は、洋上1平方km当たり最大で1万個以上漂流・浮遊していることが、初めてマスコミ紙上で取り上げられ(1998年3月)、社会的に大きな反響を与えた。

筆者は、今から20年ほど前の1997年7月～1998年4月に掛けて、東京湾・相模湾沿岸域(神奈川県・千葉県)の84か所の砂浜海岸で、レジンペレット樹脂粒子の漂着状況の把握調査を試みた経緯がある。当時の調査で、漂着の確認された海岸数は84か所中75か所に上り、ほぼ9割の海岸に達していた(図VI.6a)。うち16か所の海岸では1m四



図VI.6a 東京湾・相模湾沿岸水域でのレジンペレット樹脂粒子の海岸漂着量調査  
(1997年7月～1998年4月調べ)

方当たり500個以上検出され、東京湾口に至る浦賀水道に面した神奈川県三浦半島沿岸域では、漂着密度の極めて高い砂浜海岸が集中している傾向が認められた。だが今なお、浦賀水道沿岸域では、1千個あるいは6千個近く漂着混在している海岸のあることが、2016～2018年に実施したマイクロプラスチック調査で確認している(図VI.6b)。

レジンペレット樹脂粒子の海洋への流出・海岸への漂着の主因は、プラスチック成型工場からの排出・流出、船舶等での荷揚げ・荷下ろしや車両等での運搬・輸送時の散落・漏出などによると考えられてきた。特に我が国では大量のレジンペレット樹脂粒子を東南アジア諸国から輸入しており、東京湾などでは貨物船舶等による港湾施設での荷下ろし時の散落・漏出が主要な原因とみられてきた。