

## 5. 漂着発泡スチロール群による海岸汚染の化学的評価

### 5.1 深刻化する白帯汚染

発泡スチロールブイやその破片群の大量漂着は、海岸線を白色に染め上げる白帯化汚染を誘発し、海岸線の景観・自然環境の破壊・汚染に拍車をかける重大な要因となっている(写真 5.1)。軽量なため一端海岸に漂着した発泡スチロール類のゴミは、風等で容易に内陸部に吹き上げられ、貴重な海岸植物や防潮風林などに食い込み、植物生態系にも深刻な打撃を与えている。また軽量ではあるが容積が大きくかさばり、清掃運搬や処理処分が非常に厄介で、全国的に対処に苦慮している漂着ゴミである。大きいものは直径 1m を超え、長さ 2~3m にも及ぶ円柱状のブイもよく打ち上がっている(写真 5.2)。発泡スチロールが漁具類用ブイとして加工・利用されるのは、ガラス製やプラスチック製ブイよりも極めて安価で軽量成形し易いためである。しかしガラス製やプラスチック製ブイに比較して、材料強度や構造的には極めて軟弱であることから、高波や強風の波風力によって、容易に破碎・破損し夥しい数の破片状漂着ゴミとなって海岸に打ち上がり、深刻な海岸汚染を引き起こす原因となっている。利用する場合には、構造的改善や技術的裏付けに基づく使用許可の認定制度などを導入していく対策・工夫が求められる。

漂着発泡スチロールブイが漁具類ゴミの 8 割以上を占める沖縄県八重山諸島では、マングローブ群落や海浜植生帯が夥しい数の発泡スチロール片で埋め尽くされている光景に遭遇する(写真 5.3)、亜熱帯海岸域の貴重な動植物の生態系や湿地・干潟環境に深刻な打撃を与えている。このように発泡スチロールブイやその破片群の大量漂着は、沖縄県島嶼のみならず、長崎県対馬や新潟県佐渡島などを始め、全国的に離島・沿岸域で深刻な汚染問題となっている。

さらにこのような発泡スチロールブイやその破片群は、一端海に出ると延々と海洋を漂流・浮遊し、越境移動して他国の海岸に漂着する可能性が非常に高い。そのため遠距離漂流・浮遊中に、多孔質な構造を有する発泡スチロール類のゴミは、海洋で汚染物質を吸着・付着(溶出)して、運搬・拡散・移動させる「運びや(トランスポーター)」としての役割を担っているのではないかという疑念を、以前から抱いていた。

そこで「漂着ゴミ汚染と有害化学物質の評価究明」という観点から、「大量漂着する発泡スチロールブイやその破片群が、海洋を漂流・浮遊中に有害化学物質、特に重金属類等の化学物質を吸着・付着(溶出)して海岸に打ち上がり、海岸汚染を誘発する危険性はないのか」という懸念性を広域的に検証・実証することに駆られた。発泡スチロール片の漂着した海岸域やその海岸域が面する海洋・海域などの地勢・水質、漂流・漂着の経路・期間などの複雑な要因によって、吸着する化学物質もまた当然異なるものと推察されることから、全国的調査が求められる。その一環として、沖縄県宮古島での分析事例を提示し、漂着発泡スチロール片の有害



写真 5.1 埋め尽くす発泡スチロール群の漂着



写真 5.2 大型発泡スチロールブイの漂着



写真 5.3 マングローブ群落に入り込み堆積する発泡スチロール群

物質の「運びや」としての危険性を実証することを試みた。

## 5. 2 発泡スチロールの化学構造と特性の概説

発泡スチロールとは、ポリスチレンを微細な泡で発泡させ硬化させた合成樹脂素材で、基本的には炭素(C)と水素(H)からなる炭化水素の化学構造を有している(図 5.1)。即ち気泡を含ませたポリスチレンのことで、発泡ポリスチレン、発泡スチレン、ポリスチレンフォーム、スチレンフォームの別称がある。製法によって、①ビーズ法発泡スチロール(EPS)、②ポリスチレンペーパー(PSP)、③押出ポリスチレン(XPS)の3種類のタイプがあり、化学的性質・構造はほぼ同じであるが、形状や気泡の特性が異なるため、用途も異なっている。最初に開発されたEPSは用途も広く、狭義の意味で発泡スチロールと称される場合もある。EPSの漂着ブイを破断するとビーズと呼ばれるポリスチレンの粒を発泡させた小粒子が融着した状態となっているのがよくわかる(写真 5.4)。この発泡小粒子は直径1mm程度のポリスチレンビーズに炭化水素ガスを吸収させ、100℃以上の高温蒸気を当てて樹脂を軟化させると共に、圧力を加えて発泡させたものである。発泡の際、ビーズは互いに融着し、冷却時に様々な形状になって硬化して、発泡スチロールの樹脂となる。

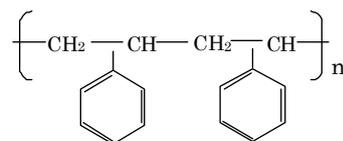


図 5.1 発泡スチロールの化学構造

漁具類のブイに使用されている発泡スチロールの大半はEPSである。軽量で加工し易く耐衝撃性が高い。しかしその特性上、海岸域において齎す功罪も大きく、発泡スチロールは漂流・漂着過程で波風や岩礁への衝撃力等により、大半のものは粉碎して小片化する。さらに碎片化した発泡スチロール片はビーズ状となり拡散し、回収不可能な状況を引き起こす。調査時には、細片化した発泡スチロールの小片が海浜土壌と混ざり合い、堆積層を形成している状況に何度も遭遇する。さらに劣化した発泡スチロールは粉粒状に散乱して、小片化したプラスチックゴミと同様に残存し続ける。また、空隙の多い多孔質な材質であることから、漂流・浮遊過程で有害化学物質を吸着・運搬・拡散させる特性を有していると共に、条件によっては、スチレンダイマーやスチレントリマーの汚染物質である有機化学成分が溶け出す可能性が指摘されている。



写真 5.4 発泡ビーズの粒子形状

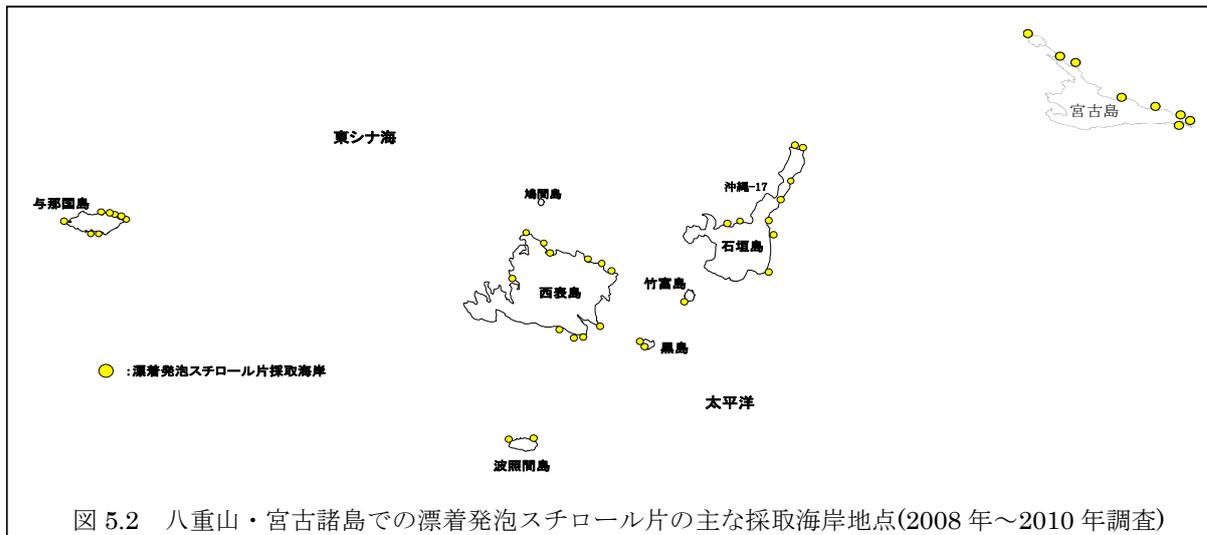
漂着発泡スチロール片は軽量ではあるが、容積が膨大となるため、回収・除去作業や搬送・運搬が非常に厄介な漂着ゴミの一つとなっている。最近では、漂着発泡スチロール片を油化するリサイクル技術が開発されつつあるが、まだ全国的な普及段階には至っていない。

## 5. 3 調査海岸域とサンプリング

### 5. 3. 1 調査海岸域

漂着発泡スチロールやその破片群が、広域的に有害物質の「運び屋」としての役割を果たしている可能性が高いとすれば、当然、海洋・海域や漂流漂着経路によって発泡スチロール片に吸着(溶出)・運搬される有害物質の種類や濃度の異なることが想定される。そのため漂着海岸や海域などの地勢的特徴を考慮して、沖縄県では、2008年頃から、八重山・宮古諸島を中心に10島延35海岸で55サンプルの発泡スチロール片を採取している(図5.2)。海岸長の長い海岸では、1海岸で複数のサンプルを採取している。

なおここでは、分析データの整理が済んだ、宮古島での採取サンプルを用い、漂着発泡スチロール片の主要含有元素成分について提示する。



### 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

海岸に打ち上がった漂着発泡スチロール類のゴミは、漁具類のブイとして使用されたものが大半を占めている。直径1m・長さ2mを超える円柱の大型発泡スチロールブイもよく見かけるが、多くは海洋を漂流・浮遊中に破損・破断して、種々の形状・大きさの破片状となって漂着したものが多い。海岸を代表するサンプルの採取を図ることから、漂着発泡スチロール片のサンプリングに際しては、下記の事項に留意した(写真5.5)。

① 海岸で特定の場所に集積している発泡スチロール片をサンプリングするのではなく、できる限り海岸全長に亘って、万遍なくサンプリングを行うことに努めた。

② 長期間海洋を漂流浮遊していたと思われる発泡スチロール片を採取するために、波に揉まれて磨耗し角張りの削れた丸形状の小片をサンプリングすることに努めた。

③ できるだけ多くの発泡スチロール片を破碎して収集し、一つのサンプルとすることに努めた。

④ 大型の発泡スチロールブイなどは、部分的に表面の小片をむしり・剥ぎとって、サンプルの一部とした。

⑤ 明らかに漁具類以外の容器や緩衝材に使用されたとと思われる発泡スチロール片は除外した。

⑥ 海浜砂に埋もれた発泡スチロール片や、漂着後長期間経過し土砂などを被り劣化・変色した発泡スチロール片は除外した。

⑦ 海水を含んで濡れているもの、貝・海藻類やタール状廃油等の異物で覆われている発泡スチロール片は除外した。

⑧ サンプリングする発泡スチロール片の1サンプルの量は、40cm四方ポリ袋に入る程度とした。

⑨ 海岸長や発泡スチロール片の漂着状況を適宜考慮して、海岸によっては複数個のサンプルを採取した。

⑩ 採取した発泡スチロール片は、吸着された汚れ等を洗浄することなく、室内でそのまま空気乾燥し分析サンプルとして準備した。



写真 5.5 丸形状の漂着発泡スチロール片

#### 5. 4 漂着発泡スチロール片の主要元素成分組成の評価

まず漂着発泡スチロール片に含有されている主要な元素成分組成について説明する。分析サンプルは沖縄県宮古島の海岸で採取（2010年10月）した10サンプル（外観上、著しく砂や藻等汚れが付着していないもの）を用いている。また測定値のバックグラウンド値として用い、比較するために通常緩衝材に使用されている発泡スチロール片を非漂着発泡スチロール片（以下、「ダミー発泡」と呼称）として5サンプル準備した。成分分析に際しては、直径3cm程度の薄膜状に加工成形し(写真5.6)、蛍光X線分析法によって分析した(写真2.7参照)。



写真 5.6 薄膜状に加工成形した発泡スチロール片の分析サンプル

なお分析サンプルの成分分析では、漂流中に吸着した物質と発泡スチロール片に添加された物質(添加剤等)に含まれている両元素成分を測定することになる。

宮古島の海岸で採取した漂着発泡スチロール片についての代表的な10サンプル(漂着発泡①-1~5と漂着発泡②-1~5)の主要な含有元素成分の状況を図5.3~5.5に示している。ここでは海洋を漂流し海岸に漂着するまでに吸着(あるいは溶出)したと思われる元素成分を検証するために、緩衝材として用いられたダミー発泡スチロール片(非漂着)の5サンプル

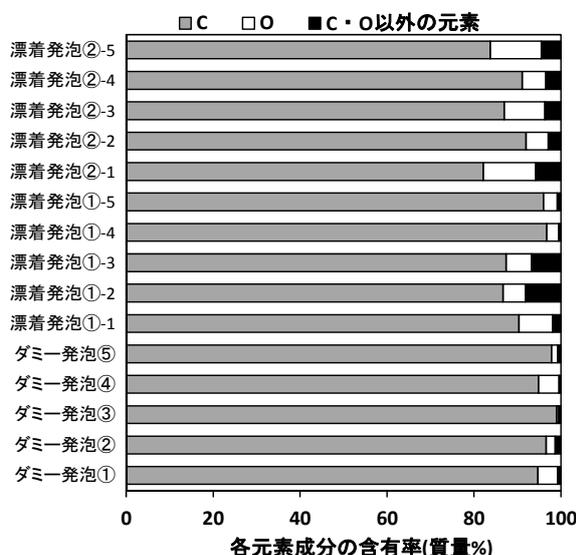


図 5.3 発泡スチロール片の C と O の含有率

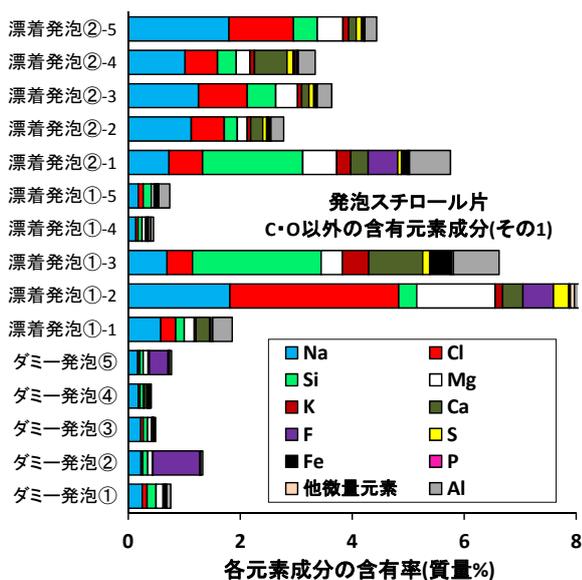


図 5.4 発泡スチロール片の C・O 以外の元素成分の含有率(その1: ほぼ含有率 0.01%以上の元素成分)

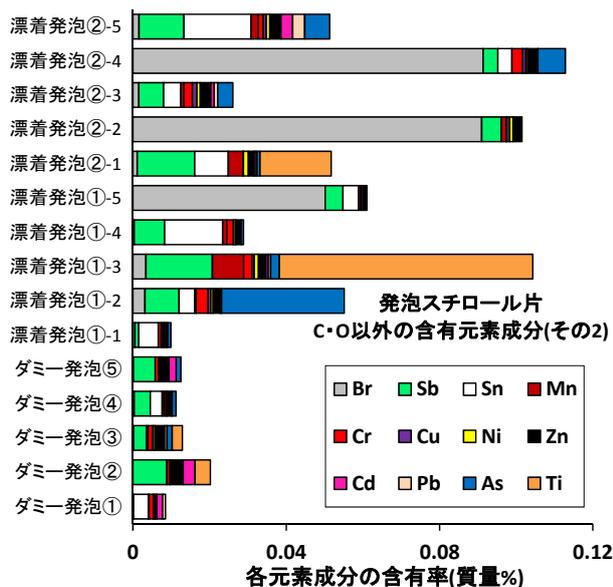


図 5.5 発泡スチロール片の C・O 以外の元素成分の含有率(その2: 主に有害元素成分など)

図 5.6 各元素成分における漂着発泡とダミー発泡スチロール片との含有率の比較(その 1)

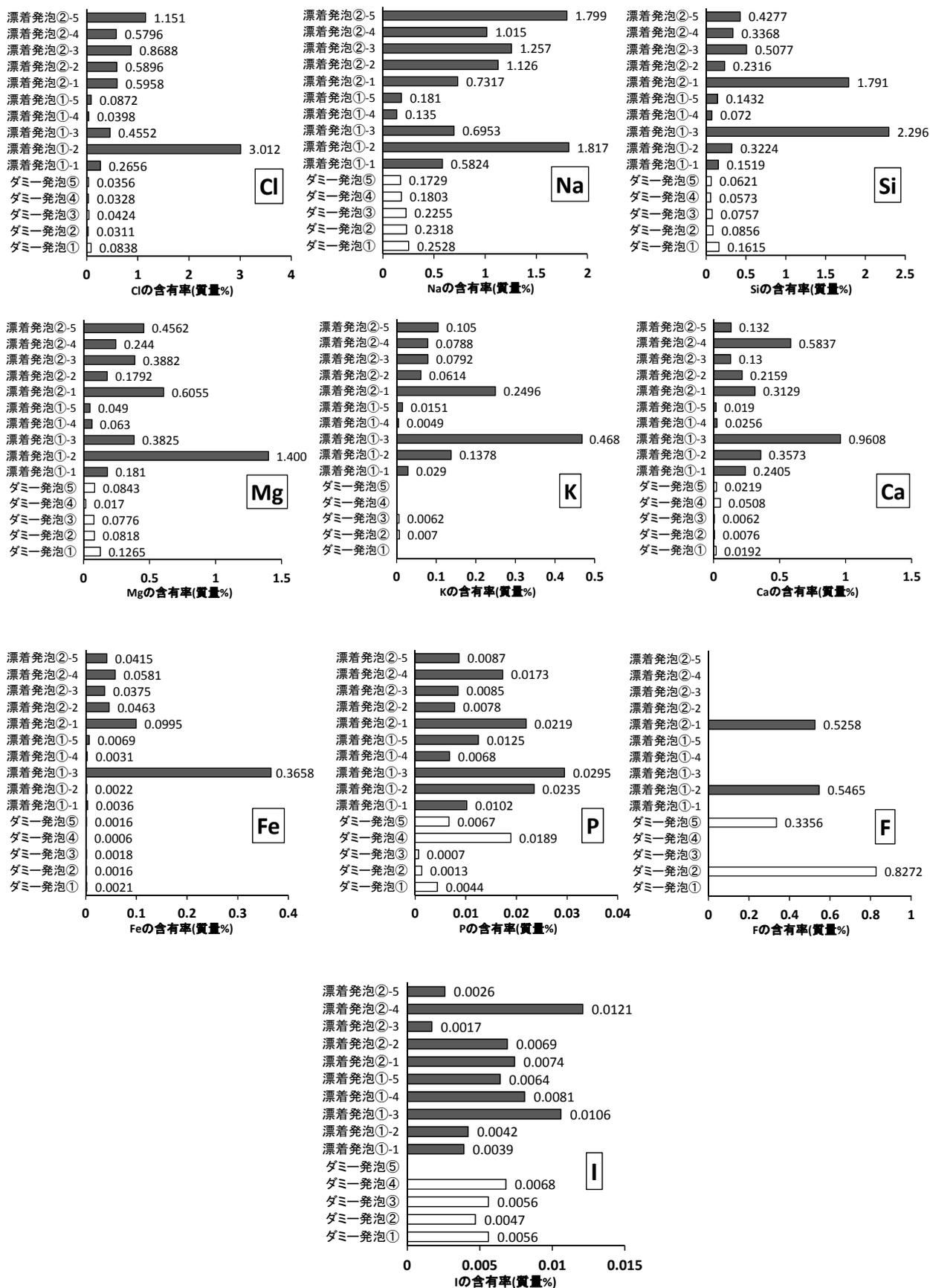
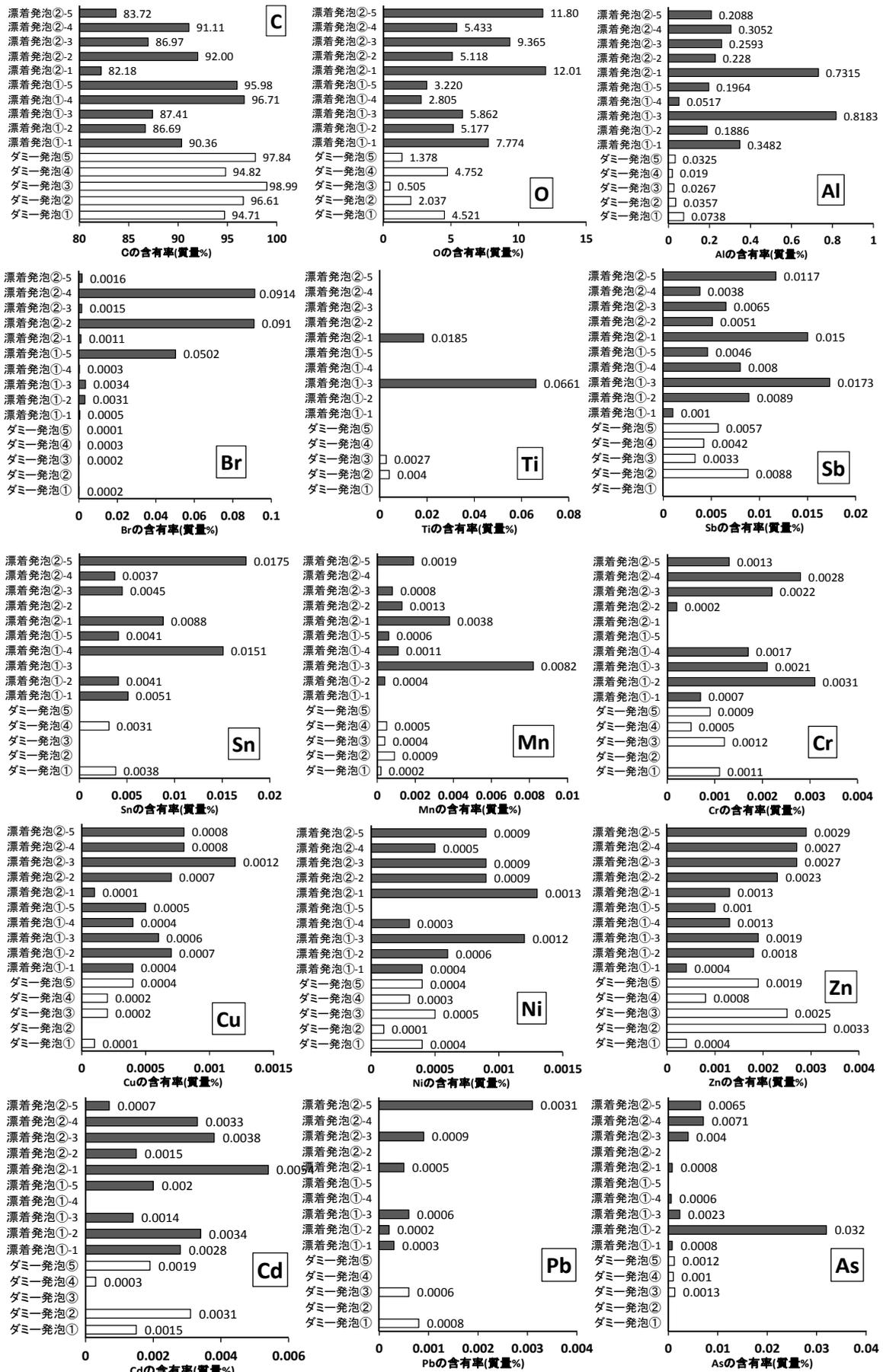


図 5.7 各元素成分における漂着発泡とダミー発泡スチロール片との含有率の比較(その 2)



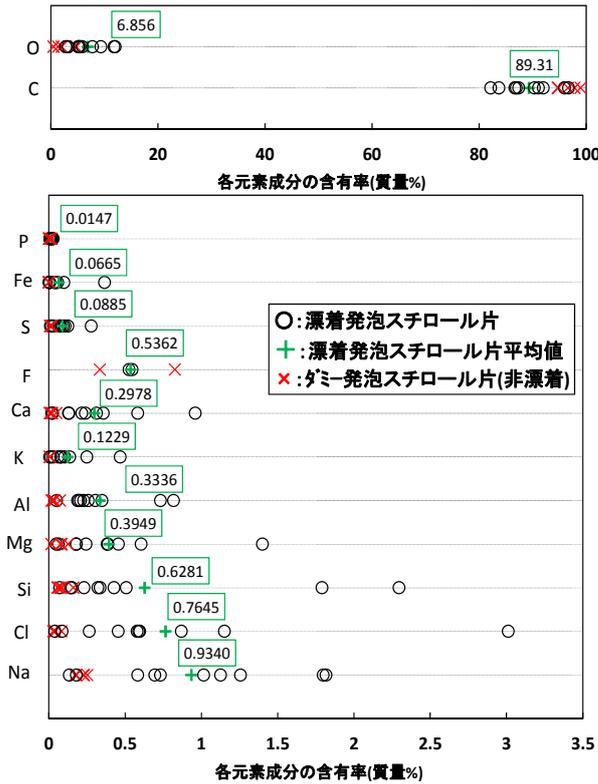


図 5.8 両発泡ステロール片における検出元素成分の含有率のばらつき

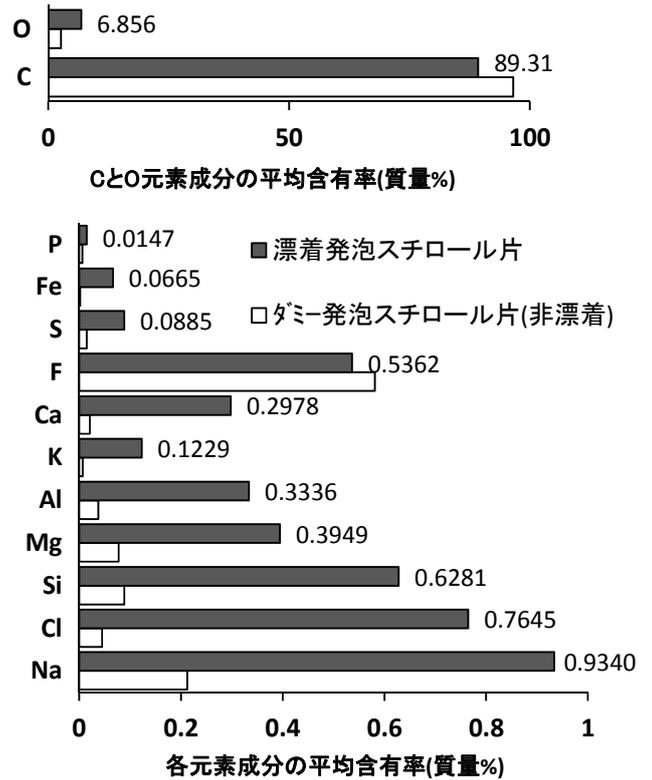


図 5.9 両発泡ステロール片での検出元素成分における平均含有率の比較

ル(ダミー発泡①～⑤)の結果も併記されている。これらの図から明らかなように、サンプル間で含有率はそれぞれ異なっているが、発泡ステロール片においては C と O 以外にも、20 種類以上の元素成分が検出される。含有率の 80～90%以上は主成分の C で、O を加えると 95%以上の含有率となっている(図 5.3)。しかし漂着発泡とダミー発泡での両元素の含有率を比較すると、明らかに漂着発泡では十数%低値となっている。その分、漂着発泡が他の元素成分を吸着していることを意味している。このことは、図 5.4 と図 5.5 に示す C・O

以外の元素成分の含有状況から明らかである。図 5.4 には含有率が概ね 0.01%以上の元素成分を、図 5.5 には有害な元素成分を主体にまとめている。非漂着のダミー発泡での C・O 以外の元素成分は添加剤としてあるいは製造過程で混入された物質からのものと判断される。これに対して漂着発泡ではダミー発泡と比較して、これらの元素成分の含有率が概ね総じて高い傾向にある。特に Na, Cl, Si, Fe や Br, Ti, As でそのような傾向が窺われる。

そこで、元素ごとに漂着発泡とダミー発泡での含有率を比較したのが、それぞれ図 5.6 と図 5.7 である。Ti, F, Pb, As の場合には検出されるサンプル数は少ないが、他の元素成分についてはほとんどのサンプルで検出される。また両者間の発泡スチロール片に明瞭な差異が認められ、C と O 以外の元素成分では、漂着発泡の場合に、いずれの元素成分においても明らかに含有率の高いことが理解できる。上述した Na, Cl, Si, Fe, Ti に加え、Al, Mg, K, Ca, Fe, Mn, Ni, Cu の含有率も高い。有害元素である Cr, Pb, As の場合も、非検出サンプルもあるが、高い含有率を呈している。各元素成分の起源を推定することは難しいが、Na, Cl, K, Mg, Ca は海塩成分、Fe, Al, Si, Ti は微細土粒子成分、Ca, Mg, P, S, K は微細石灰成分、Br, Mg, P は微細海藻・藻成分の吸着・混入によるものと推察される。

さらに図 5.8 では、各元素成分の含有率におけるサンプル間のばらつきを両発泡スチロール片で比較している。漂着発泡の場合、各元素成分の含有率のばらつきが大きいのは、漂流中の吸着物質の成分が含まれていることから、漂流・漂着経路や漂流・浮遊期間などの複雑な要因に困っているものと思われる。図中に示す各元素成分での含有率の平均値を求め、両発泡スチロール片で比較したのが図 5.9 である。この結果からも漂着発泡スチロール片は、有害元素も含め漂流中に多種類の元素成分を吸着していることが容易にわかる。

このように漂着発泡とダミー発泡スチロール片では明らかに元素成分組成と各元素の含有状況に大きな相違のあることが理解できる。

なおここでは、沖縄県宮古島で採取した漂着発泡スチロール片の分析事例を提示した。当然、発泡スチロール片の漂着経路や漂流期間等で洋上での吸着物質が異なることから、漂着発泡スチロール片の元素成分組成は海岸域によって異なることが予想される。

以上の結果から、海洋を漂流・浮遊して海岸に打ち上がった漂着発泡スチロール片はダミー発泡に比して、いずれの元素成分においても非常に高い含有率を有していることが理解できた。即ち、多孔質な発泡スチロール片は漂流浮遊過程で多種類の元素成分を吸着し、運搬・拡散させる役割を担っていることが科学的に検証された。

## 5.5 まとめ

沖縄県宮古島の海岸で採取した漂着発泡スチロール片の分析事例を提示し、漂着発泡スチロール片が有害化学物質を吸着・付着して運搬・拡散・移動する「運び屋」としてリスクの高いことを科学的に実証した。発泡スチロール片には、有害元素成分も含め少量・微量であるが多種類の元素成分が含有されていることがわかった。また緩衝材として利用されている非漂着のダミー発泡スチロール片との比較検証から、漂着発泡スチロール片の場合には、これらの少量・微量元素成分は総じて高い含有率を呈していた。その供給起源は海洋・沿岸域への人為的負荷の影響が反映されているものと判断される。

以上、大量に海岸に打ち上がり白帯化汚染を誘発している漂着発泡スチロール片は有害化学物質を運搬・拡散・移動させる「運び屋」としてのリスクがクローズアップされた。

★ 本章の知見に関する重要ポイント

- ① 漂着発泡スチロール片は多種類の有害化学物質を吸着(溶出)して運搬・移動・拡散させる汚染物質の「運び屋」の役割を担っている。
- ② 漂着発泡スチロール片の含有元素成分組成は、漂流・漂着経路や漂流期間等の影響を受けるものと推察され、漂着する海岸域によってかなり異なるものと思われる。

## 6. 大量漂着ゴミの「堆積放置」と「浜焼き」による汚染リスクの化学的評価

### 6.1 はじめに

海岸漂着ゴミの中で、処理処分が厄介で対処に極めて苦慮する発泡スチロール類ゴミなどのプラスチック類ゴミは、漂着ゴミのほぼ9割を占めており、日本列島の多くの海岸線に大量に打ち上がっている。そのような海岸では、漂着ゴミの堆積層が広がり、海岸を埋め尽くしている光景をよく目にする(写真 6.1)。また調査時に偶発的に遭遇する機会が多いが、今なお漂着ゴミを焼却したと思われる痕跡の砂浜がみうけられる。



写真 6.1 大量漂着ゴミに覆われた海浜砂

そこで本章では、大量漂着ゴミに被覆された海浜砂と漂着ゴミの浜焼きで焼却灰が混合した海浜砂を取り上げ、主要な化学成分組成の評価に加え、重金属類等の有害化学物質の含有性や溶出性について考察する。

### 6.2 海浜砂のサンプリング

漂着ゴミの堆積効果と浜焼き行為による海浜砂への悪影響を科学的に検証するため、次の3種類の海浜砂を採取した。漂着ゴミで被覆された海浜砂(以下、「ゴミ下砂」と呼称(写真 6.2))、漂着ゴミを浜焼きした焼却痕跡のある海浜砂(以下、「浜焼き砂」と呼称(写真 6.3))、常時、漂着ゴミの被覆の影響を受けていないと思われる波打ち際付近の海浜砂(以下、「浜砂」あるいは「非ゴミ下砂」と呼称)、である。なお漂着ゴミの被覆と浜焼きの影響を受けていない波打ち際の海浜砂は、両影響を被った海浜砂に対するバックグラウンド的なサンプルとして採取した。

ゴミ下砂に関しては、2001年～2007年にかけて、沖縄県に加え、長崎県、新潟県の3県21海岸で採取した161サンプルを分析した(図 6.1, 表 6.1)。

浜焼き砂に関しては、2001年～2010年にかけて、沖縄県を始め、長崎県、愛知県、新潟県、千葉県等の5県17海岸で採取した63サンプルを分析した(図 6.2, 表 6.2)。なおゴミ下砂と浜焼き砂の採取時には、同一海岸で同時に非ゴミ下砂(浜砂)も採取している。



写真 6.2 漂着ゴミに埋もれたゴミ下



写真 6.3 漂着ゴミ焼却後の海浜砂

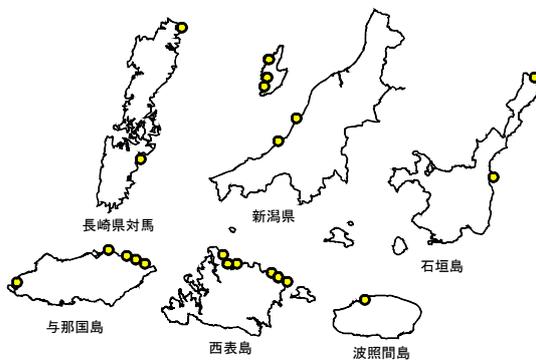


図 6.1 ゴミ下砂を採取した調査海岸域

表 6.1 各海岸域でのサンプリング状況

調査海岸域	調査海岸数	採取サンプル数 ゴミ下砂
新潟県佐渡島	3	21
新潟県北陸沿岸	2	20
長崎県対馬	2	10
沖縄県石垣島	2	19
沖縄県西表島	6	47
沖縄県波照間島	1	8
沖縄県与那国島	5	36
合計	21	161

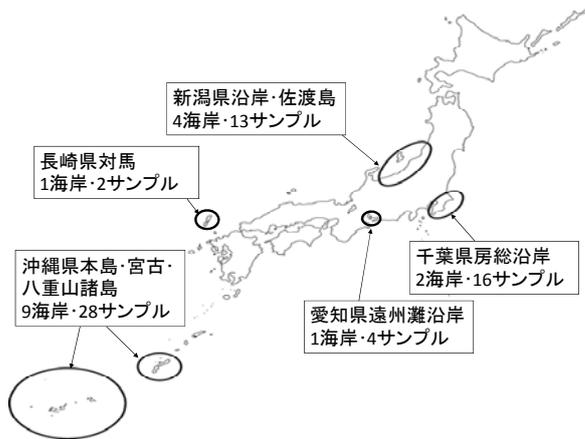


図 6.2 浜焼き砂を採取した調査海岸域

表 6.2 各海岸域でのサンプリング状況

調査海岸域	調査海岸数	採取サンプル数 浜焼き砂
新潟県北陸沿岸	2	4
新潟県佐渡島	2	9
千葉県房総沿岸	2	16
愛知県遠州灘沿岸	1	4
長崎県対馬	1	2
沖縄県本島	2	11
沖縄県宮古島	1	3
沖縄県石垣島	1	1
沖縄県竹富島	1	7
沖縄県西表島	1	1
沖縄県波照間島	1	1
沖縄県与那国島	2	4
合計	17	63

ゴミ下砂と浜焼き砂のサンプリングに際しては、下記の事項に留意した。

1) ゴミ下砂

- ① 漂着ゴミが散在している砂浜において、漂着ゴミに激しく覆われた海岸地点を選び、漂着ゴミと接触している地表面から深さ 5cm 程度までの表層部の浜砂を、1つのサンプルが 40cm 四方のポリエチレン製の袋に約 200g 程度になるように、プラスチック製シャベルを使用して採取した。
- ② その際、1つの海岸の全長にわたり、偏りが無いよう万遍なく複数サンプルを採取するようにした。

2) 浜焼き砂

- ① 焼却痕跡が残る海浜砂の地表面から深さ 5cm 程度までの表層の浜砂を、1つのサンプルが 40cm 四方のポリエチレン製の袋に約 200g 程度になるように、プラスチック製シャベルを使用して採取した。
- ② なお未焼却物やガラス片及び大きな礫や石等は予め除去した。

3) 非ゴミ下砂・非浜焼き砂 (浜砂)

- ①地表面から深さ 5cm 程度までの表層部の浜砂を、1つのサンプルが 40cm 四方のポリエチレン製の袋に約 200g 程度になるように、プラスチック製シャベルを使用して採取した。
- ②その際、調査した海岸の全長に亘って採取するように (特定地点のみの採取に偏らない)、各地点での浜砂を適量に混合させながら、1つのサンプルを採取するよう心掛けた。
- ③漂着ゴミの被覆効果及び浜焼きの影響を受けていないと思われる波打ち際付近のクリーンな浜砂を採取した。

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

殊に近年、深刻化する漂着ゴミ問題に関する国民的関心は高く、国・県や市町村等の地方自治体始め、多くの NPO、NGO 等が組織化され、また学校、町内会、個人などが参加して、各種の規模の海岸清掃活動が普及・展開され、清掃痕跡が認められる海岸に遭遇する機会が多い。しかし全国的には島嶼や過疎地の海岸域などでは、大量漂着ゴミの除去回収が難しく、未だに海岸が廃棄場と化していることも多い。特に黒潮海流沿いの沖縄県八重山・宮古諸島及び、対馬海流沿いの長崎県対馬・日本海沿岸域での海洋越境ゴミの漂着実態には、全く歯止めは掛かっておらず、年々その深刻度を増しているのが実情である。

ほぼ毎年春先に実施する八重山諸島始め、対馬、新潟県北陸沿岸・佐渡島での調査では、海洋越境ゴミなどで埋め尽くされている海岸に遭遇する機会が多い。

前節で説明したように、そのような海岸を対象として、取り分け漂着ゴミに激しく覆われた海岸地点を選び、漂着ゴミと直接接触している地表面から深さ 5 cm 程度までの表層の浜砂を「ゴミ下砂」としてサンプルリングした。ここでは、表 6.1 に示した沖縄県に加え、長崎県と新潟県の 3 件 21 海岸で総計 161 サンプルのゴミ下砂について、有害元素分析を実施した。1 海岸で複数のサンプルを採取した「ゴミ下砂」と同時に、比較検証のために漂着ゴミの影響を受けていない浪打ち際付近の「浜砂」も分析した。

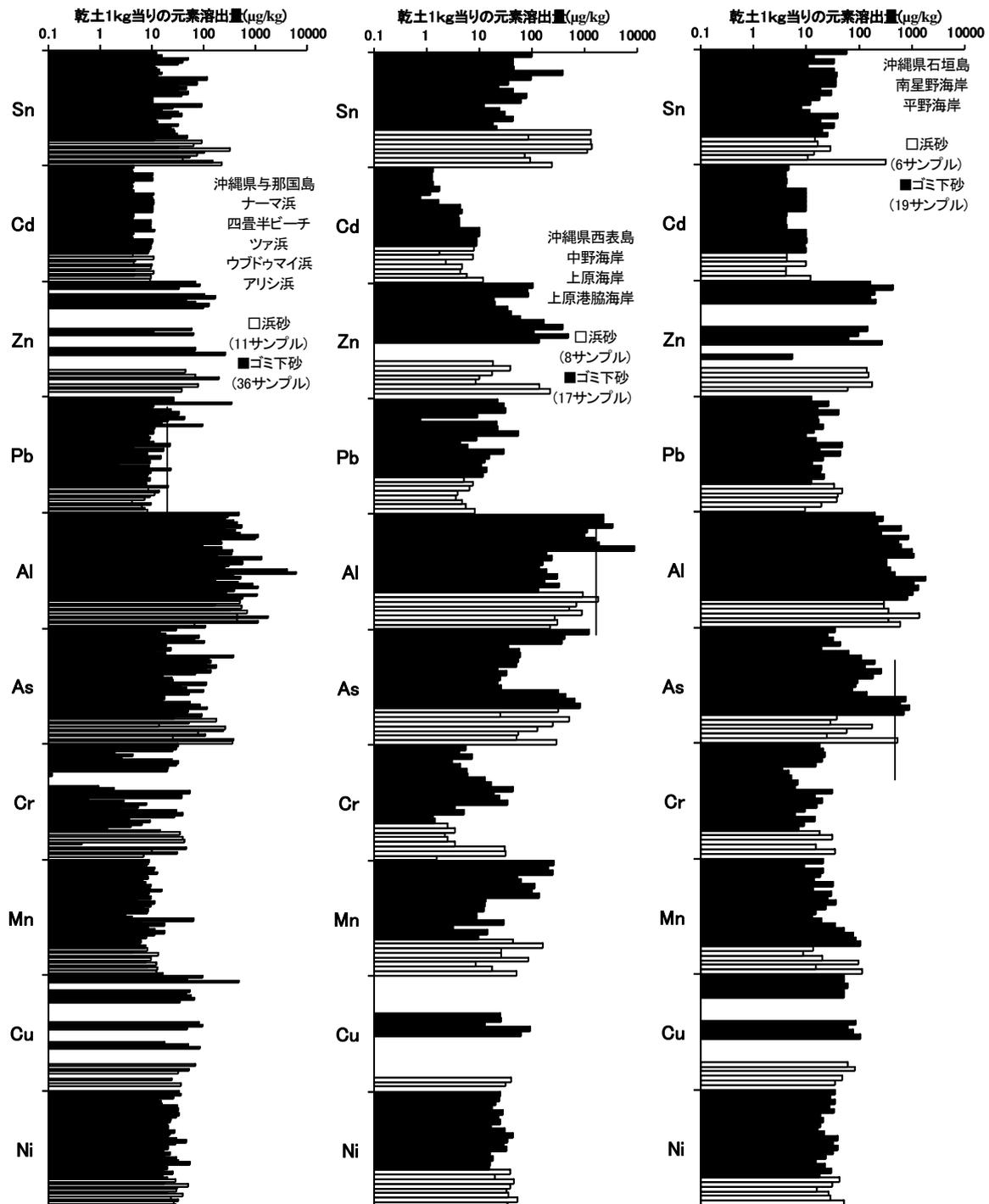


図 6.3(a) ゴミ下砂から溶出する重金属類等元素



図 6.3(b) ゴミ下砂から溶出する重金属類等元素

乾燥質量で約 50g のゴミ下砂に脱イオン水を 500ml 添加し 6 時間攪拌振とうした後、吸引濾過(孔隙 0.45 ミクロフィルター)して濾液を抽出し、砂から溶出した重金属類等の有害元素を原子吸光分光法で分析した(詳細は 2 章参照)。分析した有害元素は、As, Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, Al, Ni, Sn, Mn の 10 種類で、水質・土壌汚染に関する環境基準に規定されているものを主体に、いずれも人を含め生態系などの自然環境に悪影響を及ぼすとされる元素である。なお各有害元素の溶出量は砂の単位乾燥質量(1 kg)当りからの溶出量( $\mu\text{g}$ )として表示する。

表 6.1 に示した大量漂着ゴミで被覆された 161 サンプルのゴミ下砂(■印)からの有害元素の溶出量を、被覆されていない浪打際の浜砂(□印)との対比で、図 6.3(a)と図 6.3(b)に分析結果の代表例を示している。ゴミ下砂からの各元素の溶出量には、サンプル間でもかなり差異が認められる。その主要な原因としては、①ゴミ下砂上に堆積している漂着ゴミの量と種類、②堆積している漂着ゴミの腐食・分解状況、③②と関連するが

漂着ゴミの放置堆積期間が挙げられる。①項については、海岸域での漂着ゴミの量・種類調査から概ね推察できるが、②と③項については、サンプリング時での定量的な評価は難しい。

分析結果では、いずれのゴミ下砂の場合にも、環境基準値を超える有害元素の溶出量は検出されなかった。しかし漂着ゴミの堆積負荷効果を便宜的に評価するために、各有害元素において、浜砂での溶出量の最大値と比較し、その値を超えるゴミ下砂のサンプル数を各調査域で算定した。

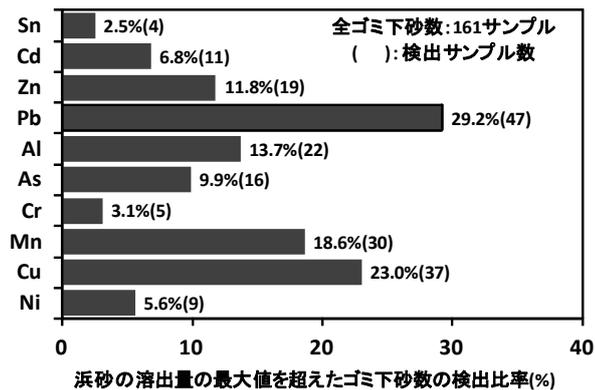


図 6.4 ゴミ下砂が浜砂の最大溶出量を超える検出比率(%)

この結果では Pb と Cu の検出比率が 20% 台と高く、他の元素は 10% 台以下の検出比率となっている。

このようにゴミ下砂ではいずれの有害元素においても高い溶出量が検出される比率が高くなる傾向から判断すると、有害化学物質が混入された種々雑多なプラスチック類などからなる大量漂着ゴミの除去回収の停滞・放置は、海浜砂への有害化学物質の混入・蓄積を招く危険性のあることがわかる。迅速な回収除去事業を推進することの重要性が指摘される。

#### 6. 4 大量漂着ゴミの危険な「浜焼き」行為禁止の周知・徹底

漂着ゴミの「浜焼き」行為による焼却痕跡は、1998年~2003年当時の調査では、調査海岸数 718 箇所内の、実に 6 割以上の海岸で確認している。漂着ゴミの 8 割以上が生活廃棄物や漁具類などのプラスチック類ゴミであり、しかも外国製ゴミの 8~9 割がプラスチック類ゴミであった。



写真 6.4 大量のプラスチック類ゴミの浜焼き跡

有害元素を含むプラスチック類ゴミが大半を占める漂着ゴミの「浜焼き」行為はゴミ焼却施設でのダイオキシン類発生問題以上に危険性を孕んでいる。特に大量のプラスチック類が混在する漂着ゴミの「浜焼き」後の焼却灰中には、ポリ塩化ジベンゾフランを主体としたダイオキシン類が生成される可能性が高い。また船底塗料や漁網の防汚剤として使用されていた有機スズ、ポリカーボネイト樹脂やエポキシ樹脂のプラスチック製品の原料であるビスフェノール A、プラスチック製品の可塑剤であるフタル酸エステルなどの有害な有機化合物も漂着ゴミと密接に関連している。



写真 6.5 未だに行われている漂着ゴミの浜焼き

法規上、漂着ゴミの海岸域での焼却処分（浜焼き）行為は、原則的には禁止されている。しかし全国的に

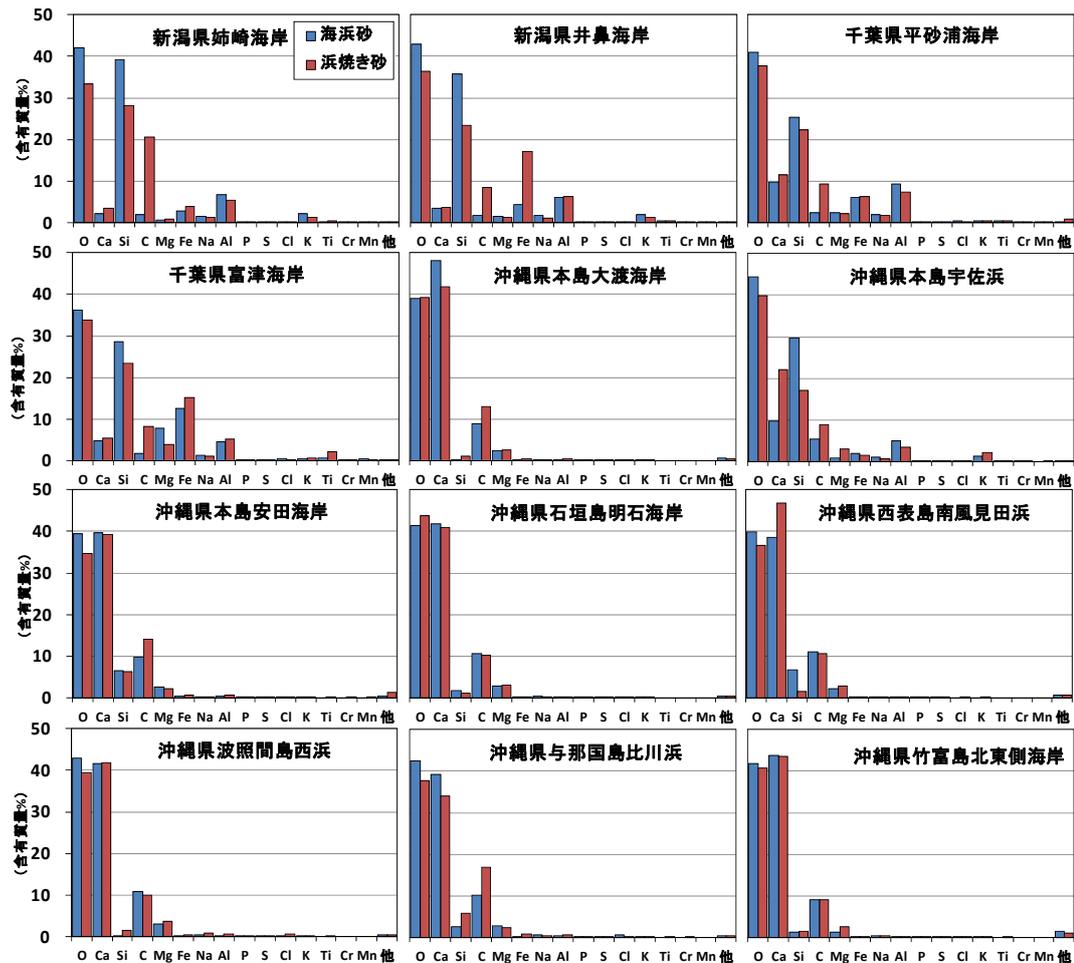


図 6.5 海岸別にみる浜焼き砂と海浜砂（非浜焼き砂）の含有質量%の比較

しも周知・徹底されておらず、未だに「浜焼き」された痕跡が確認される海岸に遭遇する機会が多い（写真 6.4 と写真 6.5）。沖縄県での近年の調査でも、宮古島、石垣島、竹富島、西表島、与那国島などの数箇所の海岸で浜焼き痕跡に遭遇している。漂着ゴミの大量焼却処分の痕跡が確認され、焼却灰が混在した浜砂を、著者は「浜焼き砂」と呼んでいる。浜焼き行為は有害化学物質を海岸域に直接曝露する危険な行為であり、禁止の周知・徹底を図っていく意味からも、科学的に検証することには重要な意義がある。

図 6.5 には、海岸での大量漂着ゴミの焼却によって灰が混入した浜焼き砂の化学成分組成を蛍光 X 線回折法によって分析し、通常の浜砂と比較した一例を示している。

砂浜で漂着ゴミを大量に焼却すると、当然、浜砂には炭化物が混入するため黒色に変色する。そのため化学成分組成的には、特に、炭素（C）は増加、酸素（O）は減少と、炭素と酸素の成分量に大きな変化が生じる。浜焼きで生成された炭化物は異物となって混入するため、例えば学術的に貴重な星砂の浜（沖縄県西表島・竹富島の海岸など）や鳴き砂の浜（山陰地方の海岸に多い）などでは、敏感な砂浜汚染のバロメーターともなる。また沖縄のサンゴ砂浜や石英鉱物粒子を主体とする白砂浜などでは、白砂浜を黒砂浜に変貌させ

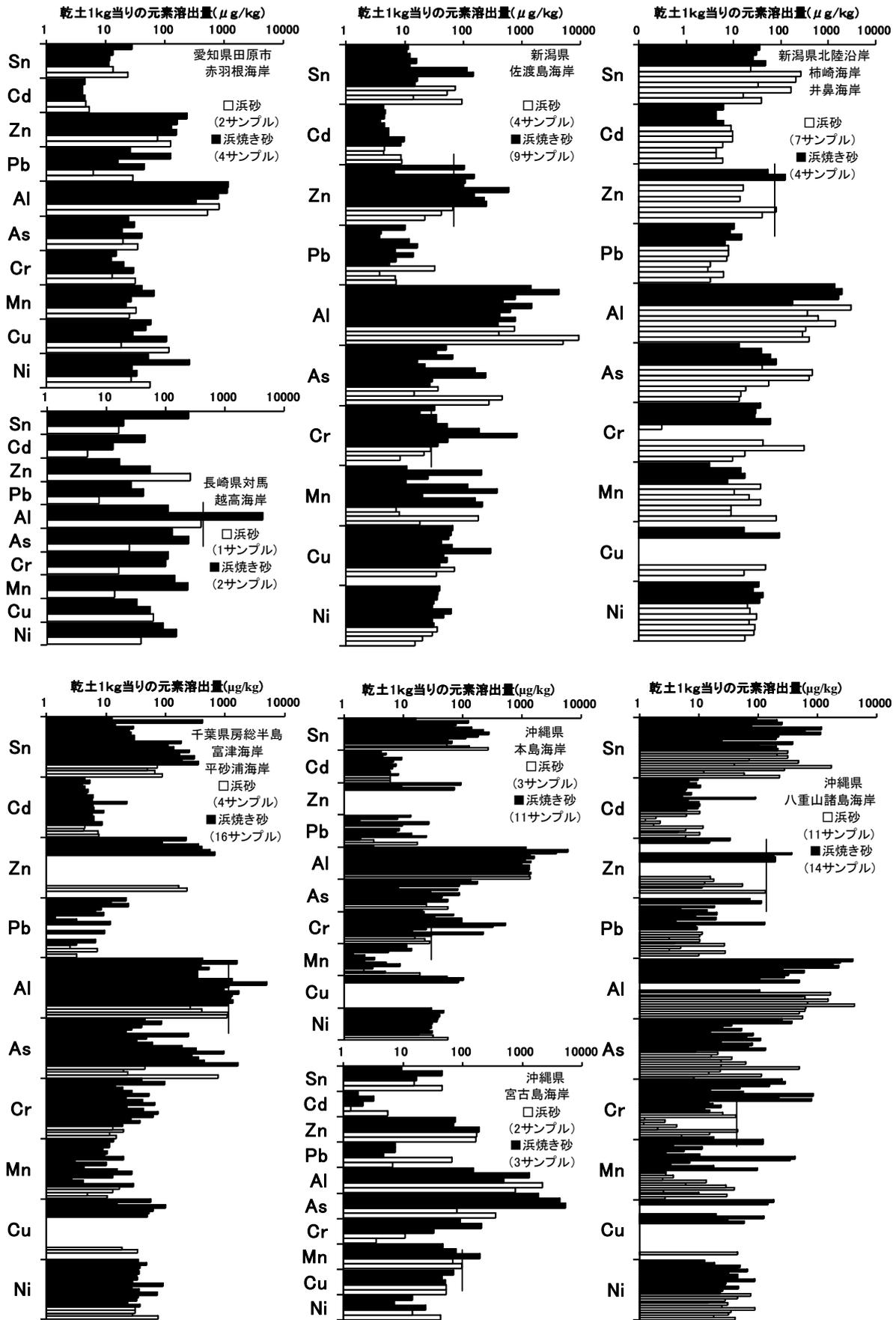


図 6.6(a) 浜焼き砂から溶出する重金属類等元素

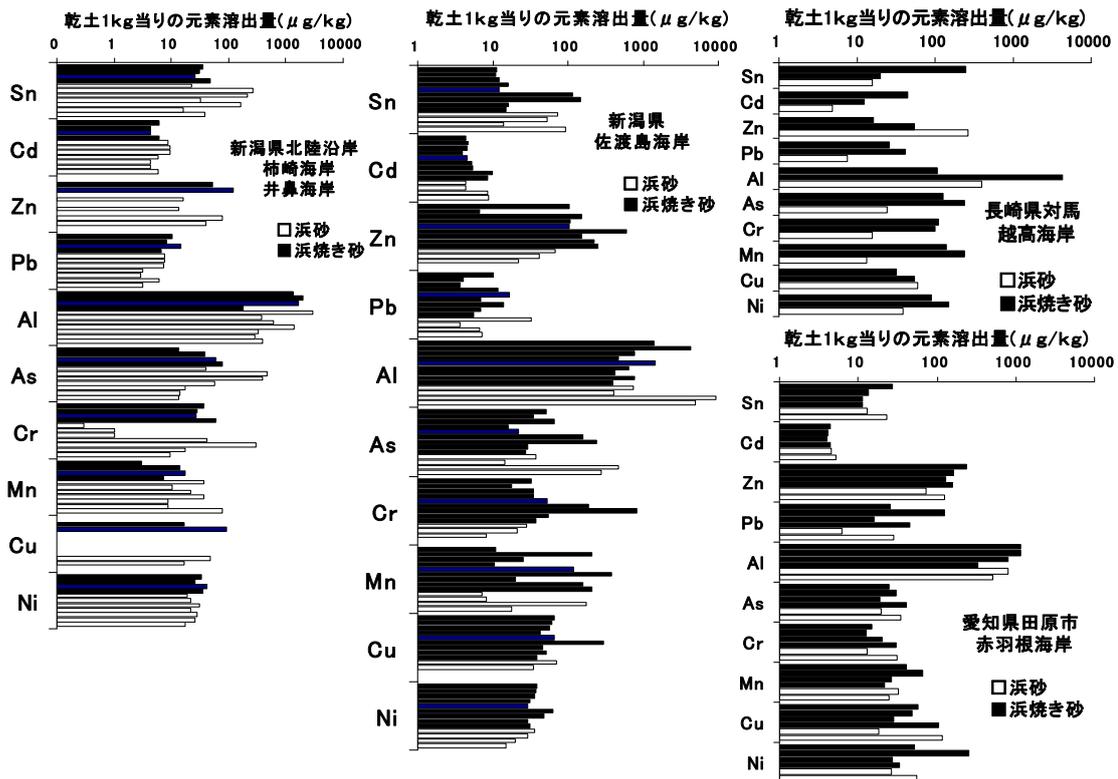


図 6.6(b) 浜焼き砂から溶出する重金属類等元素

る重大な環境汚染行為となる。公共的に厳しく禁止していくことが必要である。

さらに漂着ゴミの焼却によって有害物質を含んだ灰が砂浜に混入することで、浜焼き砂からは有害化学物質の溶出性が、当然、高くなることが予想される。

沖縄県に加え調査で廻った長崎県・愛知県・新潟県・千葉県 の 12 調査域 17 海岸で採取した 63 サンプルの浜焼き砂 (■印) について(表 6.2 参照)、「ゴミ下砂」の場合と同様に、有害元素の溶出量を原子吸光分光法で分析した。通常の浜砂の結果 (□印) と対比して、図 6.6(a)と図 6.6(b)にその一例を示す。いずれの

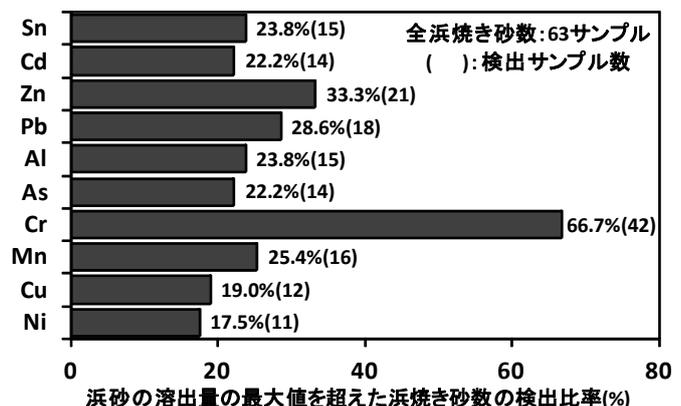


図 6.7 浜焼き砂が浜砂の最大溶出量を超える検出比率(%)

調査海岸域においても、各元素での溶出量は、サンプル間でかなりの差異が認められる。こ

の主要な理由は、①浜焼き行為の際の焼却された漂着ゴミの量と構成 (種類)、②採取時の浜焼き砂に含まれている焼却灰等の焼却残渣物の混入状況、③浜焼き行為後から浜焼き砂を採取するまでの期間、の相違によるものと推察される。しかし調査の際、現地踏査で偶然的に遭遇する浜焼き痕跡からは、いずれの事項の情報についても窺い知ることは難しい。今後は、海岸漂着ゴミを専門に焼却処分する施設から漂着ゴミの焼却残渣物を入手して、ゴミの種類や量等との関連に関する詳細な解明に取り組むことが求められる。

ここでは、ゴミ下砂の場合と同様に、漂着ゴミの浜焼き行為の負荷効果を便宜的に検証するために、各有害元素において、浜砂(焼却灰を含んでいない通常の浜砂で検出された溶出量の最大値と比較し、その値を超えた浜焼き砂のサンプル数を調査海岸域ごとに求め総計した。図 6.7 には、有害元素ごとにその検出比率を示している。各元素において浜砂の溶出量の最大値を超える浜焼き砂のサンプル数は調査海岸域によって異なっていたが、総計的には、Cr の検出比率が最も高く 66.7%で、他の 9 元素では概ね 20%前後となっており、漂着ゴミの被覆効果よりも有害性が高いことが分かる。このような結果は、当然、焼却された漂着ゴミの量と種類に大きく依存するものと推察されるが、漂着ゴミの大半が石油製品を主体とした化学物質で生成されていることを鑑みると、漂着ゴミの浜焼き行為は自然界への有害化学物質の直接的な曝露の危険性を孕んでいる。漂着ゴミの浜焼き行為の全面禁止を周知・徹底していくことの重要性が科学的にも実証されたとと言える。

## 6. 5 まとめ

本章では、全国的視点に立ち、沖縄県を主体に全国各地の海岸を対象に、漂着ゴミに被覆された浜砂(ゴミ下砂)と漂着ゴミの浜焼きで灰を含んだ浜砂(浜焼き砂)について、主要な化学成分組成の評価に加え、重金属類等の有害物質の溶出性について論述した。得られた主要な知見を下記に要約する。

- (1) 大量漂着ゴミの被覆放置下にある浜砂(ゴミ下砂)では、石油化学製品を主体とした漂着ゴミの腐食・劣化の進行に伴って破碎・細粒化が進展し、有害化学物質が混入・溶解する可能性が指摘された。ゴミ下砂の有害元素成分の溶出性は、被覆漂着ゴミの腐食・分解状況や漂着ゴミの種類・滞留期間などの影響を受けるものと推察される。特に、Pb や Cu などの有害元素成分の検出比率が高いことから、迅速な回収除去と徹底的な清掃事情の持続が重要である。
- (2) 大量漂着ゴミの浜焼き行為によって灰が混在した浜砂(浜焼き砂)は、炭化物が混入し黒色に変色汚染されるに留まらず、Cr などの有害化学物質の検出比率が非常に高くなることが科学的に実証された。当然、焼却される漂着ゴミの種類と量によって混入する灰の量と質もまた影響を受けることから、漂着ゴミの浜焼き行為は有害化学物質を自然環境へ曝露する汚染行為に匹敵する。浜焼き行為の全面的禁止を周知・徹底していくことが強く求められる。

### ★ 本章の知見に関する重要ポイント

- ① Cr や Pb などの有害化学物質の曝露による汚染リスクの増大。
- ② 迅速・持続的な漂着ゴミの回収除去の重要性。
- ③ 漂着ゴミの「浜焼き」行為禁止の周知徹底。

## 7. おわりに～まとめにかえて

沖縄の海岸域にはサンゴ白砂浜やマングローブ湿地・干潟が多く、世界的にも貴重な亜熱帯海洋性動植物生態系が育まれており、野趣豊かな自然景観や独特の自然環境が形成されている。また、沖縄の島岸線や沿岸域は、昨今特に、経済的視点から重要視する観光資源としての場であるばかりではなく、昔からの伝統的な海食資源の宝庫であると同時に、沖縄特有の「ニライカナイ」などの民俗的土着信仰と融合し、沖縄の歴史・文化の発展史を古代から見詰め続けてきた敬虔な地でもある。琉球古人のDNAが濃縮された発展史の恩恵を受ける現世代人は、島岸線や沿岸域の健全な自然景観・環境を子々孫々に継承することが、沖縄の発展史を支えることに繋がる民俗的伝承の責務といえる。

そのような沖縄の海岸線への羨望から、今後の漂着ゴミの動向と課題等について展望する。

### (1) 特異な海生動植物生態系への汚染リスクの高まり

#### ① 有害化学物質の曝露によるリスク

海浜景観の破壊による観光資源としての価値の低下に加え、特に、海と陸の水質・生態系を守り、自然の環境保全バリアの役割を果たしているマングローブ群落や海浜植物の衰退・後退が発生し、海浜域の動植物生態系へのダメージや水質・土壌汚染のリスクが高まる。

即ち、多種類のプラスチック類ゴミや大量の発泡スチロール片が山のように堆積することで、砂浜・干潟・湿地の土壌汚染や水質汚染が懸念される。漂着ゴミの大半を占めるプラスチック類ゴミなどには、用途・機能に応じて可塑剤・絶縁剤・難燃剤・遮光剤などの添加剤や顔料・染料などの着色剤が添加・混合されており、これらの添加・混合剤には、微量ではあるが重金属類等の有害化学物質が含まれている。回収除去の停滞や大量漂着ゴミの放置によって、プラスチック類ゴミなどの劣化・細片化や腐食・分解が進行し、漂着ゴミから混入・溶出する有害化学物質が水質・土壌汚染を齎すリスクが高まる。さらには砂浜・湿地・干潟に棲息する底生小生物への汚染に発展し、さらには小生物を餌とする大型生物(鳥・魚など)の体内に濃縮されるという、食物連鎖のリスクが高まる。

特に、近い将来、世界自然遺産登録を目指す、独特の生態系が育まれている西表島をはじめとした多くの島々においては、漂着ゴミ問題を最優先課題と位置づけて、取組みを持続していくことが必要不可欠である。

その意味において、今後、底生生物や海亀・海鳥などの海生生物の体内に取り込まれた有害化学物質の検証を重点的に実施し、漂着ゴミが誘発される有害化学物質との因果関係に関する解明に向け、精力的に取り組む必要がある。

#### ② 海浜植生帯の荒廃・衰退のリスク

海岸保全の公的且つ持続的な財源や人材不足、人口の少ない島嶼におけるボランティア不足とNPO・NGO組織の未熟さなどにより、大量漂着ゴミの回収除去作業の不能と停滞が大きな要因となって、漂着ゴミの被覆・絡み付きや落下種子の発芽阻害による海浜植生帯の荒廃が発生し、植物の衰退・立ち枯れなどが海浜域の動植物生態系に悪影響を及ぼすリスクが高まる。

即ち、海浜域の植生帯は防潮風林としての自然的な役割を担っており、台風・高潮などの海からの負荷効果に対して陸域に棲息する動植物の保全バリアの役割を果たしている。それが大量漂着ゴミで衰退・後退することで保全バリアの役割が消失し、内陸部に棲息する動植物生態系にとって大きな打撃となり、海浜域の環境破壊の要因に繋がるリスクが高まる。

### (2) 激増する中国からの海洋越境ゴミの脅威

経済最優先の中国では、自然環境の保全や環境対策は後手に回っており、排気ガス・工場煤煙などの大気汚染物質(酸性雨・PM2.5など)をはじめ、工場排水の垂れ流し、ゴミの不法投棄などは、日常茶飯事的状況にある。中国から沖縄への海洋越境ゴミの大量漂着は、巨大人口を抱える中国の大量消費・大量廃棄社会から吐き出された膨大なゴミの河川・沿岸域・海洋への故意の投棄によるものと考えられ、黒潮海流に乗り北・北西風に運ばれてその襲来を繰り返しているものと推察される。

沖縄の漂着ゴミは、島からのものは3%程度で、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のが特徴である。1998年から2013年までの16年間に亘る沖縄での漂着ゴミの調査(漂着ゴミ2,497,723個の分析)では、日本製ゴミは3.2%、外国製ゴミが23.6%、不明ゴミが73.2%であった。沖縄の場合には、7割以上は判別不能な不明ゴミとなっている。不明ゴミはラベルや表記文字等が消失していて、国籍判別のできない漂着ゴミであることから、長期間・遠距離漂流した漂着ゴミほど不明ゴミとなる可能性が高くなることから、外国製ゴミの漂着が圧倒的に高い沖縄の不明ゴミには、近隣アジア諸国からの外国製ゴミがかなり含まれているものと考えている。国籍が判別された外国製ゴミでは、中国製ゴミが61.0%、台湾製ゴミが15.8%、韓国製ゴミが16.3%、他外国製ゴミが5.9%で、外国製ゴミの6割以上は中国製ゴミが占めていた。経年的な分析では、沖縄の漂着ゴミ量は16年間で約8.3

倍に増大しており、そのうち中国製ゴミは27.3倍に激増していた。即ち、近年の沖縄の漂着ゴミの増大は、中国製海洋越境ゴミの急増が大きな要因となっている。

上海、広州などの巨大人口を抱える大都市が中国大陸沿岸域に集中し、爆発的な経済成長下での大量消費・大量廃棄は一層加速され、中国の経済成長から吐き出された海洋越境ゴミによる沖縄の広域海岸汚染は、益々、深刻化するものと考えられる。漂着ゴミに対する海岸保全の現状の最も有効で実践的な対策は、持続的且つ迅速な回収除去にあることから、これからも何よりも増して財源・人材の確保が一層必要不可欠となる。

### (3) 発生源抑制対策への積極的な取り組み

#### ① 国機関への要望

国は我が国の深刻な海岸漂着ゴミ問題に対処するために、平成18年4月に初めて「漂流漂着ゴミ対策に関する関係省庁会議」を設置し、平成18年度末までに具体的な削減対策の提言を確約している。

それに基づいて、平成19・20年度に「第1期漂流漂着ゴミ国内削減方策モデル調査(7県11海岸選定)」を実施しており、沖縄では石垣島と西表島の海岸が選定されている。平成21・22年には「第2期漂流漂着ゴミ国内削減方策モデル調査(1道8県10海岸選定)」を実施し、沖縄では宮古島と西表島の海岸が選定されている。なおその間、平成21年度には「重点海岸クリーンアップ事業対策」が実施され、沖縄では石垣島、宮古島、多良間島、座間味島、久米島の海岸が選定されている。

これらの一連の事業成果に基づき、国は、我が国の深刻な漂着ゴミ問題を推進するために、処理処分対策、発生源対策、財源支援、普及啓発活動の促進などを図るために、平成21年7月に「海岸漂着物処理推進法」を施行し、積極的に取り組む姿勢を明らかにしている。

国の第1期・第2期モデル調査からも明らかになったように、沖縄では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な海岸汚染を広域的に誘発している。海岸景観・自然環境の破壊に加え、漂着ゴミからの有害化学物質による動植物生態系への影響や水質・土壌汚染などが懸念されていることから、第一に「海岸漂着物処理推進法」に基づいた持続的且つ迅速な財源・人材の支援が求められる。

また沖縄の漂着ゴミの大半は、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という地域的な特徴を有している。漂着ゴミの軽減・防止対策を推進するためにも、日本海、黄海に加え東シナ海をも含めた、近隣アジア諸国との広域的な協議の場を継続的に設け、国は発生源対策について積極的に話し合う必要がある。

#### ② 沖縄県市町村への要望

★ 沖縄県が主導して沖縄の漂着ゴミ問題に取り組んだのは、国からの地域グリーンニューディール基金の支援を受け、平成21～23年度の「海岸漂着物処理対策協議会」の設置からであり、つい最近のことである。漂着ゴミ問題は長期的な問題になることから、国との交渉連携、継続的財源確保、列島での漂着ゴミ実態の把握調査、島々における海岸清掃計画や処理処分計画、島々の市町村等との連携作業、清掃ボランティアの普及啓発活動などに関する重要な業務が集積することから、県をはじめ各島の市町村等には「漂着ゴミ専門」の部署の設立が不可欠である。また県主導・自治体連携の「漂着ゴミ問題」に専属に取り組む機関設立が望まれる。

★ 長期的問題となる漂着ゴミ問題で、財源を全て国ばかりに頼るのには限界があるように思われる。県や市町村では、定期的にある程度の財源を独自に捻出できる対策に向けて知恵を絞る必要がある。既に実施している市町村(島)もあるが、入島税などの検討に値する島や市町村もあるように思われる。

★ 沖縄は古くから中国や台湾との交流があることから、漂着ゴミの発生源対策を国だけに頼らずに、県・市町村レベルでの姉妹都市や友好都市などでの交流を生かして、近隣諸国からの深刻な漂着ゴミの実態などについて直接知ってもらう方策を立案・企画し実践していくことが、漂着ゴミの軽減防止対策に繋がるものと期待される。近隣国都市との画策は、沖縄の漂着ゴミ問題にとっては有益と考えられる。

最後に

**壮大な民族浪漫に心が躍る椰子の実は歓迎するが  
ゴミはいらない**

以上  
2015. 2. 23

## 2.2 資料「海岸漂着物の生態系に及ぼす影響評価調査報告書」（藤田喜久）

### 海岸漂着物の生態系に及ぼす影響評価調査報告書

藤田喜久

#### 1. はじめに

沖縄県はサンゴ礁やマングローブ干潟などに代表される独特の沿岸生態系を有しており、希少な動植物の生息地であるばかりでなく、それらを生かした観光資源としても重要視されている。現在、沖縄県における海岸自然環境については、開発などの影響が大きく、状況は悪化しているとされる。一方、近年、海岸域に漂着する人工物などが生物個体や沿岸生態系に及ぼす影響について問題視されるようになってきている。しかし、沖縄県において海岸漂着物が沿岸生態系に及ぼす影響に関する情報は極めて乏しいのが現状である。そこで本調査では、海岸漂着ゴミ（海ゴミ）が沿岸生態系および生物へ与える影響についての懸念事項の整理と、沖縄県における現況に関する予備的な調査を実施した。

#### 2. 方法

##### 2-1. 文献情報の整理

海岸漂着物が沿岸生態系および生物へ与える影響についての懸念事項の整理を行うため、既存の文献等を調査した。文献は、インターネットや学術論文検索サービスを利用して検索・入手し、内容を精査した。

##### 2-2. 海岸性生物の胃内容物調査

沖縄県の海岸域に生息する生物に関する海岸漂着物の影響を評価するため、海浜環境に生息する十脚甲殻類（カニ類、オカヤドカリ類）を採集し、胃内容物の観察を行った。生物採取は、宮古諸島の伊良部島および多良間島において採集を行った。伊良部島では、オオナキオカヤドカリ、多良間島ではオオナキオカヤドカリ、ムラサキオカヤドカリ、ナキオカヤドカリ、ミナミスナガニ、ミナミイワガニを採集した。採集した甲殻類は、直ちに75%エタノールで固定保存し、研究室に持ち帰った。その後、各種十脚甲殻類を解剖し、胃および消化管を摘出したのち、内容物を水を張ったシャーレにいれて実体顕微鏡下にて観察した。プラスチック片と思われる小片が見いだされた場合、断片を熱して溶かすことでプラスチックであることを確認した。観察に用いた十脚甲殻類は、ミナミスナガニ3個体（甲幅34.6～35.9mm）、ミナミイワガニ2個体（甲幅37.2～38.9mm）、オオナキオカヤドカリ5個体（シールド長17.6～19.6mm）、ムラサキオカヤドカリ3個体（シールド長20.4～22.6mm）、ナキオカヤドカリ3個体（シールド長15.1～15.3mm）であった。なお、オカヤドカリ類は国指定の文化財（天然記念物）であるため、文化財保護法（昭和25年法律第214号）第125条第1項の規定による現状変更許可を得た後に調査を実施した。

### 3. 海岸漂着物が海岸生態系および生物へ与える影響についての懸念事項の整理と現況

#### 3-1. 既存文献について

インターネットや学術論文検索サービスを検索すると膨大な数の学術論文や書籍を見ることができる。特に、「Marine Pollution Bulletin」誌、「Environmental Science & Technology」誌、「Marine Pollution Bulletin」誌では、海洋漂流物と生物との関係についての論文が多数出版されている。また、近年では、海岸漂着物（海岸漂流物）の個別の話題に関するレビュー論文や報告書も出版されており、それらから既知情報や調査研究のトレンドを見ることができる。特に近年では、微小プラスチック片（microplastic debris）に関する研究（生物の胃内容物分析や体内に蓄積した化学物質の分析など）が盛んであり、重大な懸念事項であると理解することができる。以下に、重要なレビュー論文を挙げておく。なお、これらはすべてフリーでダウンロードできるものである。

#### 1) 海洋プラスチックゴミに関する重要な総説など

Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC, Galgani F, Ryan RG, and Reisser, J., 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. PLoS ONE, 9(12): e111913.

Browne, MA, Crump P, Niven, SJ, Teuten E, Tonkin A, Galloway T, & Thompson R, 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. Environmental Science & Technology, 45(21): 9175-9179.

#### 2) 微小プラスチックゴミが生物および生態系に与える影響に関する総説

Wright SL, Thompson RC, & Galloway TS, 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution, 178: 483-492.

Ivar do Sul JA, & Costa MF, 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. Environmental Pollution, 185 : 352-364.

#### 3) 海洋ゴミと生物多様性および生態系に関する総説および報告書

Gregory MR, 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526): 2013-2025.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity and the Scientific and Technical Advisory Panel-GEF, 2012. Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions. CBD Technical Series No. 67, 61pp.

\* 今回の沖縄事業にも関わりの深い内容を含んだ特に重要な報告書で、過去の文献情報の整理等も詳細に行われている。

### 3-2. 海岸漂着物が沖縄県の海岸生態系に及ぼす影響についての考察

海岸漂着物（海洋漂流ゴミ）が生態系に及ぼす影響については、過去に数多くの研究知見がある（Browne et al., 2011; Wright et al., 2013; Ivar do Sul et al., 2014）。最も有名な事例としては、海洋漂流ゴミが、海産のほ乳類、鳥類、ウミガメ類、魚類などに摂食されることや、漁具やロープなどの「からみつき」による死亡などが挙げられる（例えば、Verlis et al., 2013; Baulch & Perry, 2014）。また、海岸漂着物（海洋漂流ゴミ）による外来生物の侵入についても問題視されている（Barnes, 2002）。近年では、海岸漂着物（海洋漂流ゴミ）に含まれる内分泌攪乱作用や毒性を有する化学物質が生物に与える影響についても懸念されている（Gassel et al., 2013; Rochman et al., 2013）。

ここでは、海岸漂着物が沖縄の海岸生態系に及ぼす影響についてまとめた。

#### 3-1-1. サンゴ礁海岸環境

沖縄県は島の周辺をサンゴ礁（裾礁）が取り巻いており、海岸線は、石灰岩岩礁や砂浜が続く（図1）。海岸は、生態学的にはエコトーン（移行帯）として捉えられており、浅海、砂浜、飛沫転石帯、海岸林などの微環境が複雑に繋がり、それらを生息場所とする多様な生物が存在している重要な場所である。以下に、砂浜、飛沫転石帯、ビーチロックの海浜環境をとりあげ、海岸漂着物が各環境において与える影響について考察する。

##### 1) 砂浜環境

砂浜環境および同生態系における海岸漂着物の影響としては、ウミガメ類の産卵行動阻害や、孵化幼体の帰海阻害が代表例の一つとして挙げられる（Gregor, 2009; Schuyler et al., 2014）。ただし、沖縄県においては、海岸漂着物量と産卵上陸数との関係性を調べた研究は見当たらなかった。

ウミガメ類の他にも、砂浜海岸には、ミナミスナガニやツノメガニのように砂浜に巣穴を掘って生息する動物や、波打ち際（砂浜碎波帯）にはスナホリガニ類やリュウキュウナミノコガイ（およびフジノハナガイ類）などの小型の動物が生息している。また、オカヤドカリ類やヤシガニ類なども摂餌や吸水（塩分・浸透圧調整）のために砂浜環境を利用している。したがって、これらの動物が海岸漂着物から何かしらの影響を受けている可能性がある。最も有名な事例は、オカヤドカリ類が海岸漂着物のプラスチック製蓋などを宿貝の代わりに利用することかもしれない（図2）。通常、この事例は海岸漂着物問題に関するネガティブなイメージとして扱われることが多いが（環境教育の場面でもそのように発信されることが多い）、このことが直接的にオカヤドカリ類にどのような影響を与えているかの調査研究例は無い。通常、オカヤドカリ類の宿貝資源量は潜在的に少ないと考えられており、むしろ、海岸漂着物があることで、一時的に殻無しの危険な状態をしのげている可能性も考えられる。似た様な事例として、外来種のアフリカマイマイが移入している島では、大きな貝殻があるので、オカヤドカリ類の体サイズ



図1. 沖縄のサンゴ礁海岸（大度海岸）



図2. プラスチックの蓋に入ったオカヤドカリ類

が大型化する傾向があることが知られている。貝殻の代替品という視点では、オカヤドカリ類が海岸漂着物を旨く利用していることを示す事例かもしれない。

一方、これらの甲殻類は、海岸に打ち上げられた生物の屍骸を食べる「掃除屋」としての役割を持ち、砂浜生態系を考える上で重要な動物である。したがって、これらの甲殻類が、海岸漂着物を誤って摂餌する可能性も考えられる。実際に今回、オカヤドカリ類とミナミスナガニ

について胃内容物を調査した結果では、オオナキオカヤドカリ、ナキオカヤドカリ、ミナミスナガニから微小プラスチック片が確認された（図3～4）。近年、微小プラスチック片は、それ自身が消化管などを傷つけるだけでなく、有害化学物質が含まれていることが明らかになっているため、生物個体への影響が懸念される。今後、対象地や対象種を拡げて、より詳細な調査研究を実施する必要があると考えられる。特に、海岸部に生息し、かつ食用として沖縄県にて広く利用されているヤシガニについては、今後の詳細な調査研究が求められる。

海岸漂着物に関連した有害化学物質については、防衛大学名誉教授の山口先生らの一連の調査が詳しい。また、国外では、プラスチックと関係した多環芳香族炭化水素(PAHs)について、砂浜海岸における濃度分布を調べた研究例などもあり (Fisner et al., 2013)、情報は次第に集まっている。今後は、これらの物質がいかに海岸生物に影響を与えているか（生物体内に蓄積しているなど）についての具体的な調査研究が求められる。海岸には、先に述べたオカヤドカリ類などだけでなく、甲殻類（ヨコエビ類）や昆虫類などの微小な動物や、様々な海浜植物が生息しているが、こうした生物が有害化学物質を蓄積している可能性も考えられる。例えば、浅海域には、ヨコエビ類と同じ動物分類群（端脚目）に属するワレカラ類という小型甲殻類が生息しているが、これらワレカラ類は、有機スズ化合物を高濃度に蓄積していることが知られる (Takahashi et al., 1999)。有機スズ化合物は、食物連鎖網中の比較的低位に位置する植物プランクトンないしワレカラ類(甲殻綱端脚目)の間で高い生物濃縮を示すが、それより上位の魚類からほ乳類間の生物濃縮は低いと推定されている (Takahashi et al., 1999)。有害化学物質については、通常、食物連鎖の上位に位置する大型魚類やほ乳類（ヒトも含む）への影響（生物濃縮）について注目されることが多いが、化学物質の種類によって影響を及ぼす範囲は異なるため、多様な視点で調査研究や対策に取り組む必要があると思われる。

## 2) 飛沫転石帯

沖縄の砂浜海岸を注視すると、潮上帯の上部と海岸林の境部周辺に、大小様々な大きさの死サンゴ塊や石灰岩片が集積した場所がわずかに（幅2～3m程度）存在する（図5）。この微環境を「飛沫転石帯」と呼ぶ。飛沫転石帯環境には、微小な貝類、昆虫類、カニ類などが生息しており、このわずかな海岸環境に依存する種も少なくない。また、幼生期を海域で過ごし、成長とともに陸域に移動するような生活史を持つ動物にとって、飛沫転石帯は幼少期を過ごす「ナーサリーゾーン」と

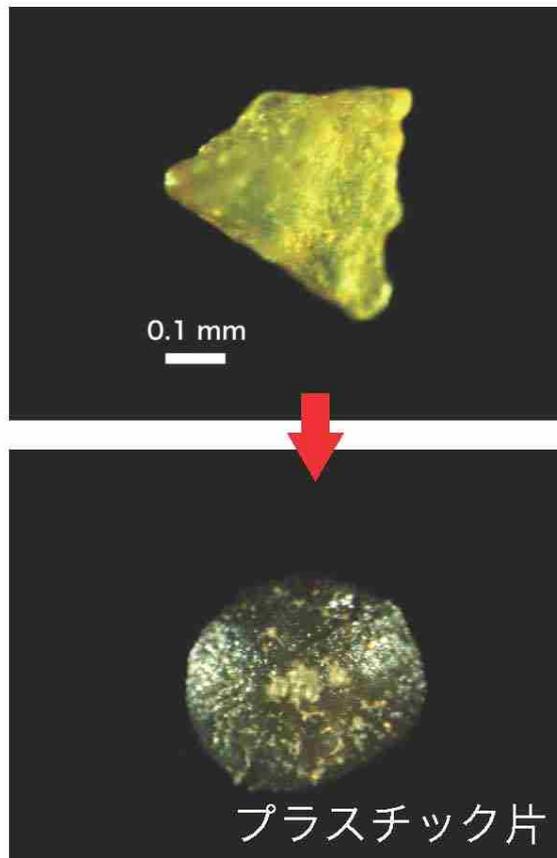
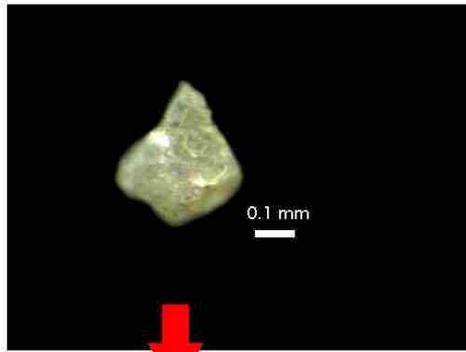


図3. ミナミナガニの胃内容物中から見つかったプラスチック片.



胃内容物の様子



ガラス片？（多良間産）



プラスチック片

図4. オオナキオカヤドカリの胃内容物中から見つかったプラスチック片.

可能性が考えられる。また、漂着物等が長期間留まった場合、胎生実生（胎生芽）の着生場所の減少や、若木の生育を阻害するなどの懸念も考えられる。一方で、流木などの漂着物については、マングローブ生態系の攪乱要素となる反面、適量であれば腐敗分解を通じての栄養供給などの利点も考えられる（Krauss et al., 2005）。しかし、いずれにおいても具体的な影響を評価するに足る調査研究例は乏しい。沖縄県から記録されている7種のマングローブは、そ



図7. マングローブ域に投棄されたゴミ（伊良部島）

のほとんどが分布の北限であることから世界的にも重要なものである。現時点でも、一部マングローブ植物においては漂着物等による個体レベルでの影響を受けているようであるが、マングローブ植物の特殊な繁殖様式を考慮すると、個体レベルでの影響についてはさほど大きな問題とならない可能性が高い（ただし、ニッパヤシ、マヤブシギ、ヒルギモドキのような稀少樹種については問題となりうる）。今後は、個体群（群集）レベルでの影響評価を実施することが強く望まれる。

## 2) 動物の生息地への影響

マングローブ域には、貝類、昆虫類、甲殻類、魚類、鳥類など様々な動物が生息している。これらの動物は、マングローブ植物の樹冠や、植物周辺に存在する林床、タイドプール、転石帯など様々な微小環境を生息域として利用している。また、沖縄から記録されている7種のマングローブは、それぞれの樹種が嗜好する（適応的である）土壌や潮位などの環境が異なっており、樹種によって帯状に分布すること（ゾーネーション）が知られるが、マングローブ周辺に依存して生息する動物でも同様に帯状分布を示すことがある。したがって、マングローブ域に漂着物等が長期間留まった場合、その場所を棲家とする動物の生息が妨げられる可能性がある。特に、マングローブ干潟に巣穴を掘って生息するシオマネキ類などでは、漂着物等の存在によって巣穴をつくるための林床面積が減り、生息数を減らす可能性が考えられる。一方で、元来転石下などに潜んでいるような種（ミナミアシハラガニや貝類など）や、移動能力の高い種については、漂着物が存在する（かつ長期間滞留する）場合、漂着物自体が生息場所の一部となることも考えられる。

## 3) 生物個体に及ぼす影響

マングローブ域では、マングローブリター（落葉）、河川流下有機物、海起源有機物を起源とする食物連鎖網が存在する。よって、同環境に生息する動物が、断片化したプラスチック片などの漂着物等を摂食することで、消化管へのダメージや、残留性有機汚染物質および非イオン界面活性剤を取り込む等の影響が考えられる。国外では、実際に、河口域に生息する魚類がプラスチック片を摂食していたことも報告されている（Possatto et al., 2011）。沖縄県のマングローブ域には水産上重要種（ノコギリガザミ類や魚類など）が生息しており、それらの動物が有害化学物質に汚染されることで、最終的に人間に影響を及ぼす可能性も考えられる。また、漂着物からの有害化学物質が、土壌を汚染し、マングローブ植物や周辺に生息する動物に影響を及ぼす可能性も考えられる。

### 3-1-3. その他の影響

#### 1) 外来生物

沖縄の海岸漂着物には、国外を起源とするプラスチックなどが多く含まれている。海洋生物の中には、他の基底に固着して生活するものがあり、特にフジツボ類やコケムシ類などでは、流木などの海洋漂流物に付着して分布域を拡げることが知られている。また、流れ藻のような漂流物にも小型魚類や甲殻類などが多数すみ付き、流れ着いた先まで分布を拡げることもある。こうした生物が、プラスチックゴミなどの難分解性の基盤に取り付き、本来生息しない海域に進出する、つまり外来生物となることも報告されている (Barnes, 2002)。

現在、震災漂流物が北太平洋の各所に漂着するようになっており、沖縄県でも確認されている。県内で確認された震災漂着物がどのような経路を辿ってきたのかを知ることは極めて困難であるが、場合によっては、北太平洋の中部～東部などを通過してきている可能性も考えられる。大量の漂流物が存在した場合、本来（流れ藻や少量の流木など）では沖縄近海にまで達することができなかった分類群が辿りついている可能性も考えられる。今後、震災漂流物については、外来生物の観点からも調査を行うべきであると思われる。



図8. ゴミを体に付着させるシラヒゲウニ

#### 2) サンゴ礁浅海域への影響

海岸漂着物は、砂浜などの海岸に漂着した後、再度、海域に流出することがある。その場合、サンゴ礁生態系に影響を及ぼす可能性も考えられる。海洋で投棄あるいは廃棄した漁具がサンゴ礁域の固着性生物（サンゴを含む）については報告があるものの (Chiappone et al., 2005)、海岸漂着物がサンゴ礁域の生物多様性や生態系に与える影響についての研究は現在までにほとんど知られていない。

個体レベルでの影響の可能性であれば、ウニ類がカモフラージュのためにタバコの吸い殻やプラスチックゴミを体に付着させる事例 (図8) や、サンゴにゴミが絡み付いて死亡する事例 (図9) などは観察されている (藤田, 未発表データ)。また、サンゴ礁浅海域の海底洞窟内には、大量のプラスチックゴミが入り込み、長期間留まっているようである (図10)。通



図9. サンゴにからみついた袋



図10. 海底鍾乳洞で見られたプラスチックゴミ (宮古諸島下地島)

常、水面上に浮くプラスチックがどのようにして海底洞窟に入りこむのかは定かではないが、台風などの荒海況時に入り込んでしまうのではないかと推察される。

近年では、海洋生物（有用水産生物を含む）が微小プラスチック片を摂食して体内に取り込んでしまう問題と、それに伴う体内への有害化学物質の蓄積などが懸念されているが、沖縄県ではサンゴ礁浅海域に生息する生物を水産資源として多数利用しているため、今後、こうした問題に取り組む必要があると思われる。

### 3) 海鳥の繁殖に与える影響

仲の神島（竹富町）やフデ岩（宮古島市）などの無人島は、海鳥の重要な繁殖地になっている。海鳥類が海洋漂流物を直接的に摂食することは多くの文献で明らかとなっているが、さらに近年では、親鳥が雛にプラスチック片を与えることも明らかとなっており、色（白色や緑色）や大きさ（平均10mm前後）の嗜好性についても情報がある（Verlis et al., 2013）。沖縄県の海鳥繁殖地において同様の問題が起こっているかは不明であり、今後の調査研究が待たれる。こうした問題は、無人島においても海岸漂着物の処理対策を行う必要があることの一つの根拠になりうるものと思われる。

## 4. 引用文献

- Aliani S, & Molcard A., 2003. Hitch-hiking on floating marine debris: macrobenthic species in the Western Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 503: 59-67.
- Barnes D.K.A., 2002. Invasion by marine life on plastic debris. In: *Nature* 416, 808-809.
- Baulch S, & Perry C, 2014. Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans. In: *Marine Pollution Bulletin* 80, 210-221.
- Browne, MA, Crump P, Niven, SJ, Teuten E, Tonkin A, Galloway T, & Thompson R, 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21): 9175-9179.
- Chiappone M, Dienes H, Dione W, Swanson DW, & Miller SL, 2005. Impacts of lost fishing gear on coral reef sessile invertebrates in the Florida Keys National Marine Sanctuary. *Biological Conservation*, 122(1): 221-230.
- Choy, C. A. Drazen, J. C., 2013. Plastic for dinner? Observations of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the central North Pacific. In: *Marine Ecology Progress Series*, 485: 155-163.
- Corcoran PL, Moore CJ, & Jazvac K, 2014. An anthropogenic marker horizon in the future rock record. *GSA Today*, 24: 1-8.
- Debrot AO, Meesters HWG, Bron PS, de León R, 2013. Marine debris in mangroves and on the seabed: Largely-neglected litter problems. *Marine Pollution Bulletin*, 72 :1.
- Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC, Galgani F, Ryan RG, and Reisser, J., 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12): e1111913.

- Fisner M, Taniguchi S, Moreira F, Bicego MC, Turra A, 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: Variability in the concentration and composition at different sediment depths in a sandy beach, *Marine Pollution Bulletin*, 70: 219–226.
- Gassel M, Harwani S, Park J-S, & Jahn A, 2013. Detection of nonylphenol and persistent organic pollutants in fish from the North Pacific Central Gyre, *Marine Pollution Bulletin*, 72: 231-242.
- Gregory MR, 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526): 2013–2025.
- Ivar do Sul JA, & Costa MF, 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 185 : 352-364.
- Ivar do Sul JA, Costa MF, Silva-Cavalcanti JS, & Araújo MCB, 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 185: 352-364.
- Krauss, KW, Doyle TW, Twilley RR, Smith III TJ, Whelan KRT, & Sullican JK, 2005. Woody Debris in the Mangrove Forests of South Florida. *BIOTROPICA* 37(1): 9–15 2005
- Lesley A. Jantz, Carey L. Morishige, Gregory L. Bruland, Christopher A. Lepczyk, Ingestion of plastic marine debris by longnose lancetfish (*Alepisaurus ferox*) in the North Pacific Ocean, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 69: 97–104
- Moore CJ, Moore SL, Leecaster MK, & Weisberg SB, 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 1297-1300.
- Possatto EF, Mário Barletta M, Costa MF, Ivar do Sul JA, Dantas DV, 2011. Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 1098–1102.
- Rochman, C.M. Hoh, E. Kurobe, T. Teh, S.J., 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Nature, Scientific Reports* 3: 3263.
- Schuyler QA, Hardesty BD, Wilcox C, & Townsend K, 2014. Global analysis of anthropogenic debris ingestion by sea turtles. *Conservation Biology*, 28(1): 128-139.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity and the Scientific and Technical Advisory Panel-GEF, 2012. Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions. CBD Technical Series No. 67, 61pp.
- Takeuchi S, Takahashi S, Tanabe S, & Miyazaki N, 2001. Caprella watch: a new approach for monitoring butyltin residues in the ocean. *Marine Environmental Research*, 52: 97–113.
- Verlis KM, Campbell ML, & Wilson SP, 2013. Ingestion of marine debris plastic by the wedge-tailed shearwater *Ardeanna pacifica* in the Great Barrier Reef, Australia, *Marine Pollution Bulletin*, 72: 244-249.
- Wright SL, Thompson RC, & Galloway TS, 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178: 483-492.