

2020.2.21

有害化学物質の評価モデル調査報告

海岸漂着ゴミから溶出する有害化学物質の
潜在的ポテンシャルの評価
～定量的広域評価モデルの適用方針～

防衛大学校名誉教授 山口 晴幸

hareyuki@oregano.ocn.ne.jp

1. はじめに

漂流・漂着ゴミによる海洋・海岸汚染問題が地球規模的に深刻度を増す中、漂流・漂着ゴミの大半を占める廃プラスチックによる海洋生態系への汚染リスクが顕在化しつつある。炭素・水素・酸素を主成分とした高分子化合物である廃プラスチックからは、漂流中に吸着した有害化学物質のみならず、着色剤・難燃剤・可塑剤などとして製造過程に添加された化学成分にも有害化学物質が含有されていることで、廃プラスチックの漂流・漂着ゴミは海生生態系にとって化学的リスクの極めて高い汚染因子となっている。

さらに、昨今特に、回収が殆ど絶望的で、しかも海生生物の摂食リスクが一段と高まる大きさ 5mm 以下の微小プラスチック『マイクロプラスチック』による海洋汚染問題に世界的な目が注がれている。亜熱帯海洋性気候に属し、廃プラスチックの劣化に対して厳しい気象条件(強い紫外線と高い気温)下に曝されている沖縄島嶼では、海岸マイクロプラスチックの発生や海洋への排出性が極めて高いことが明らかとなっており、オカヤドカリ、スナガニ、イソハマグリなどの底生生物の体内からの海岸マイクロプラスチックの検出事例が増えつつある。

沖縄島嶼では、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の膨大な量の漂着が繰り返されており、砂浜・干潟・湿地水域の動植物生態系にとって甚大なダメージとなっている。

定量的広域評価モデルは、多種類の漂着ゴミを大別・数量化し、種類ごとに算定した有害化学物質の潜在的な溶出量を累積することで、漂着ゴミからの有害化学物質の溶出性をトータル的に評価し、海岸等有する有害化学物質に関する潜在的な溶出ポテンシャルを科学的に判定するのに役立つ。

図 1 には、定量的広域評価モデルの概念フローを示している。まず、海岸を単位として調査海岸域(通常、島単位)あるいは調査範囲等(通常、諸島・列島単位)の調査対象区域が設定され、漂着ゴミ量を個数評価法によって種類・国籍別に数量集計される。必要に応じて種類・国籍ごとに平均的質量換算係数を用いて数量は質量に換算され、潜在的溶出係数を導入して有害化学物質の溶出量が算定される。種類・国籍ごとに累積算定された有害化学物質の潜在的溶出量を総計し、調査海岸、調査海岸域、調査範囲に拡大して、各調査対象区域に対応した有害化

定量的広域評価モデルの概念フロー

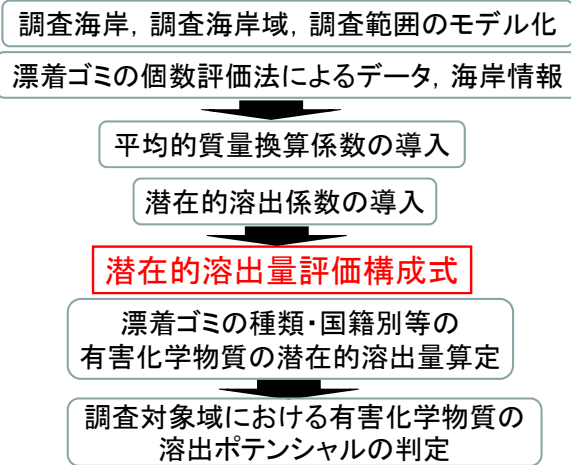


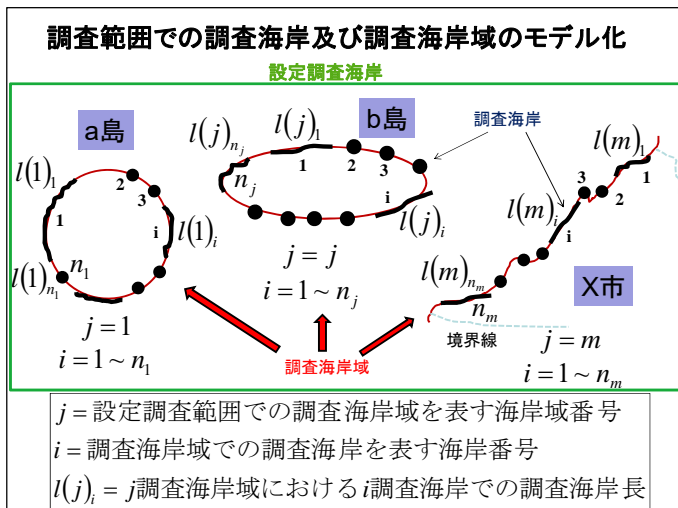
図 1 調査対象区域における有害化学物質の潜在的溶出ポテンシャルの判定フロー

学物質の潜在的な溶出ポテンシャルを評価することができる。

2. 定量的広域評価モデルの概説

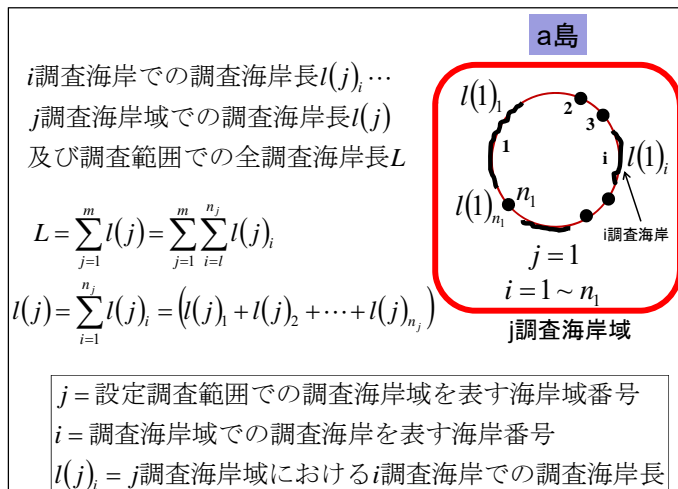
上述したように、海岸に打ち上がる漂着ゴミの数量、種類、国籍などを考慮し、漂着ゴミに起因する種々の有害化学物質の潜在的な溶出性をトータル的に定量評価する本モデルは、調査海岸を一単位として、海岸を累積することで、海岸域(例えば、島単位)や調査範囲(例えば、諸島単位)などでの推定が可能な構成式となっており、潜在的な溶出ポテンシャルを広域的に検討するのに有効となる。以下に本評価モデルの主要な構成ステップについて概説する。

ステップ①：調査対象区域のモデル化



- ・調査対象とする海岸、海岸域、調査範囲を設定し、調査海岸を番号表示する。
- ・調査海岸：調査区域の単位
- ・海岸域：複数の海岸から構成(例えば、島・沿岸域)
- ・調査範囲：複数の海岸域から構成(例えば、諸島・列島)

ステップ②：調査対象区域の海岸長の算定



- ・調査海岸の海岸長を設定して、海岸域や調査範囲の海岸長を累積算定する。

ステップ③：漂着ゴミの国籍別集計

ゴミ種類	漂着数(個)	国籍別内訳(個)
T_α	$p(j)_i$	$p(j)_i^J, p(j)_i^C, p(j)_i^K, p(j)_i^T, p(j)_i^R, p(j)_i^O, p(j)_i^U$
T_β	$q(j)_i$	$q(j)_i^J, q(j)_i^C, q(j)_i^K, q(j)_i^T, q(j)_i^R, q(j)_i^O, q(j)_i^U$
T_γ	$r(j)_i$	$r(j)_i^J, r(j)_i^C, r(j)_i^K, r(j)_i^T, r(j)_i^R, r(j)_i^O, r(j)_i^U$
T_δ	$s(j)_i$	$s(j)_i^J, s(j)_i^C, s(j)_i^K, s(j)_i^T, s(j)_i^R, s(j)_i^O, s(j)_i^U$
T_ϵ	$t(j)_i$	$t(j)_i^J, t(j)_i^C, t(j)_i^K, t(j)_i^T, t(j)_i^R, t(j)_i^O, t(j)_i^U$
\vdots	\vdots	\vdots
T_ω	$z(j)_i$	$z(j)_i^J, z(j)_i^C, z(j)_i^K, z(j)_i^T, z(j)_i^R, z(j)_i^O, z(j)_i^U$

J = 日本製, C = 中国製, K = 韓国製, T = 台湾製,
 R = ロシア製, O = 他外国製, U = (国籍)不明

- ・漂着ゴミの種類ごとに、国籍区分して数量を集計する。
- ・国籍は、日本製、中国製、韓国製、台湾製、ロシア製、他外国製、(国籍)不明に区分する。
- ・6種類の主要な漂着ゴミ(プラスチック類、発泡スチロールブイ類、大型プラスチックブイ、ビン類(金属製キャップ)、電球類(電球・蛍光灯管)金属部分)を対象とする(写真1)。



写真1 対象とした主要な漂着ゴミの種類

ステップ④：質量換算係数と溶出係数の導入

1) 平均的質量換算係数 m (kg/個)

一般式 m_α^X (kg/個)

2) 潜在的溶出係数 α ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

一般式 $\alpha^{A(X)}(j)_i$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

A: 元素名(Pb, Cd, Al...)

X: 国籍名(J: 日本, C: 中国, K: 韓国...)

ギリシャ文字: ゴミの種類(α, β, γ ...)

ゴミの種類に応じて国籍・海岸を考慮

- ・平均的質量換算係数は数量を質量に換算する係数で、プラスチック類とビン類(金属製キャップ)の場合には、国籍を考慮して算定される(表1左)。
- ・潜在的溶出係数は、各種類の漂着ゴミにおいて、複数のサンプルで得られた有害化学物質の溶出量の平均値として算定される。なおプラスチック類、大型プラスチックブイ類、ビン類(金属製キャップ)については、国籍を考慮して算定される(表1右)。
- ・有害化学物質としては、約10種類の重金属類等の元素成分を対象とする。

表1 漂着ゴミの主要な種類に応じて算定される平均的質量換算係数(左)と潜在的溶出係数(右)

漂着ゴミの種類 T_Y		平均的質量換算係数 m_Y^X (g/個)or(kg/個)		漂着ゴミの種類 T_Y		潜在的溶出係数($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
						一般的表示	具体的表示
プラスチック類ゴミ T_α ($Y=\alpha$)		m_α^J	: 日本製($X=J$)	プラスチック類ゴミ T_α		$\alpha^{A(X)}(j)_i$	$\alpha^{A(J)}$
		m_α^C	: 中国製($X=C$)				$\alpha^{A(C)}$
		m_α^K	: 韓国製($X=K$)				$\alpha^{A(K)}$
		m_α^T	: 台湾製($X=T$)				$\alpha^{A(T)}$
		m_α^R	: ロシア製($X=R$)				$\alpha^{A(R)}$
		m_α^O	: 他外国製($X=O$)				$\alpha^{A(O)}$
		$m(j)_\alpha^U$: 不明($X=U$)				
発泡スチロールプイ T_β ($Y=\beta$)		m_β	(定値)	発泡スチロールプイ T_β		$\beta^{A(X)}(j)_i$	$\beta^A(j)_i$
プラスチックプイ T_γ ($Y=\gamma$)		m_γ	(定値)	プラスチックプイ T_γ		$\gamma^{A(X)}(j)_i$	$\gamma^{A(J)}$ $\gamma^{A(C)}$ $\gamma^{A(K)}$ $\gamma^{A(T)}$ $\gamma^{A(R)}$ $\gamma^{A(O)}$
球管類ゴミ (金属部分) T_δ ($Y=\delta$)	電球類 $T_{\delta 1}$	$m_{\delta 1}$	(定値)	球管類ゴミ (金属部分) T_δ	電球類 $T_{\delta 1}$	$\delta_1^{A(X)}(j)_i$	δ_1^A
	蛍光灯管類 $T_{\delta 2}$	$m_{\delta 2}$	(定値)		蛍光灯管類 $T_{\delta 2}$	$\delta_2^{A(X)}(j)_i$	δ_2^A
ビン類ゴミ (金属製キャップ) T_ϵ ($Y=\epsilon$)		m_ϵ^J	: 日本製($X=J$)	ビン類ゴミ (金属製キャップ) T_ϵ		$\epsilon^{A(X)}(j)_i$	$\epsilon^{A(J)}$
		$m_\epsilon^{C \cdot T}$: 中国・台湾製 ($X=C \cdot T$)				$\epsilon^{A(C \cdot T)}$
		m_ϵ^K	: 韓国製($X=K$)				$\epsilon^{A(K)}$
		m_ϵ^R	: ロシア製($X=R$)				$\epsilon^{A(R)}$
		m_ϵ^O	: 他外国製($X=O$)				$\epsilon^{A(O)}$
		$m(j)_\epsilon^U$: 不明($X=U$)				



ステップ 5: 評価モデルでの各種パラメータの設定

パラメータ			
j 調査海岸域の i 調査海岸での算定パラメータの一般表示			
漂着ゴミの種類	潜在的溶出係数	原着係数	平均的質量換算係数
T_α	$\alpha^{A(X)}(j)_i$	$p(j)_i^X$	$m_\alpha(j)_i^X$
T_β	$\beta^{A(X)}(j)_i$	$q(j)_i^X$	$m_\beta(j)_i^X$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
T_ω	$\omega^{A(X)}(j)_i$	$z(j)_i^X$	$m_\omega(j)_i^X$
	($\mu\text{g}/\text{kg}$)	(個)	($\text{kg}/\text{個}$)

・調査海岸における漂着ゴミの種類に応じて、潜在的溶出係数、漂着数量、平均的質量換算係数を設定する。

ステップ 6 : A 元素の潜在的溶出量の算定

j 調査海岸域での有害元素成分Aに関する潜在的溶出量

$$d^A(j)_T : \text{潜在的溶出量} (\mu\text{g}) = \text{溶出係数} (\mu\text{g/kg}) \times \text{個数} (\text{個}) \times \text{質量換算係数} (\text{kg/個})$$

漂着ゴミの種類別の溶出量

$$\begin{cases} T_\alpha : d^A(j)_\alpha = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{X=J}^U \alpha^{A(X)}(j)_i \cdot p(j)_i^X \cdot m_\alpha(j)_i^X \\ T_\beta : d^A(j)_\beta = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{X=J}^U \beta^{A(X)}(j)_i \cdot q(j)_i^X \cdot m_\beta(j)_i^X \\ \vdots \\ T_\omega : d^A(j)_\omega = \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{X=J}^U \omega^{A(X)}(j)_i \cdot z(j)_i^X \cdot m_\omega(j)_i^X \end{cases}$$

- 任意の調査海岸域での、漂着ゴミの種類ごとに溶出する有害化学物質の潜在的溶出量を算定する。



ステップ 7 : A 元素の潜在的溶出ポテンシャルの評価

調査海岸域 $d^A(j)_T$ A: 元素名, T: 総量
ギリシャ文字: ゴミの種類

$$d^A(j)_T = d^A(j)_\alpha + d^A(j)_\beta + \dots + d^A(j)_\omega + \dots \quad (\mu\text{g})$$

調査範囲 $D^A|_T$

$$D^A|_T = \sum_{j=1}^m d^A(j)_T = \sum_{j=1}^m \{d^A(j)_\alpha + d^A(j)_\beta + \dots + d^A(j)_\omega + \dots\} \quad (\mu\text{g})$$

単位調査海岸長当たりの潜在的溶出量

調査海岸域 * $d^A(j)_T = d^A(j)_T / \sum_{i=1}^{n_j} l(j)_i \quad (\mu\text{g/km})$

調査範囲 * $D^A|_T = D^A|_T / \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} l(j)_i \quad (\mu\text{g/km})$

- 調査海岸域(島一帯)や調査範囲(諸島全域)に拡張することで、トータル的な漂着ゴミ量から有害化学物質の潜在的溶出量が推定でき、調査対象区域での溶出ポテンシャルが判定される。海浜域の動植物生態系へのリスク評価に役立てられる。

3. 定量的広域評価モデルの適用事例

本評価モデルを、調査対象区域として、2009年春季調査を実施した八重山・宮古諸島(7島 32 海岸)の漂着ゴミデータに適用した事例について紹介する。図 2 に示すように、ここでの調査範囲は八重山・宮古諸島とし、調査海岸域(j)を島に設定し 7 島で構成されている。調査海岸域の番号は、西方から与那国島(j=1)、西表島(j=2)、波照間島(j=3)、黒島(j=4)、竹富島(j=5)、石垣島(j=6)、宮古島(j=7)の順に付している。さらに各調査海岸域における調査海岸(i)の地点番号を図中に示すように付している。調査海岸数は与那国島(j=1)で 8 海岸、西表島(j=2)で 10 海岸、波照間島(j=3)で 2 海岸、黒島(j=4)と竹富島(j=5)でそれぞれ 1 海岸、石垣島(j=6)で 6 海岸、宮古島(j=7)で 4 海岸となっている。

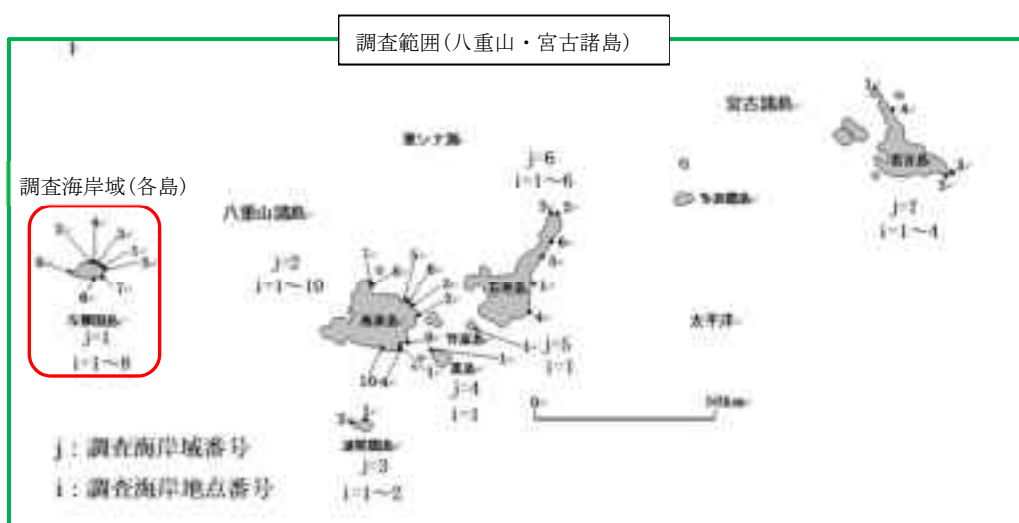


図 2 調査範囲とした八重山・宮古諸島での調査海岸・調査海岸域の設定

プラスチック類ゴミ、発泡スチロールブイ、プラスチックブイ、球管類ゴミ(金属部分)の電球類と蛍光灯管類、ビン類ゴミ(金属部分)の 6 種類の漂着ゴミを対象として、評価モデル

式を適用して算定した、調査範囲(八重山・宮古諸島)でのトータルの漂着ゴミからの潜在的溶出量の推定値を図 3 に示している。各元素成分の潜在的溶出量は調査海岸長 1km 当りの溶出量 (mg: ミリグラム) として表示

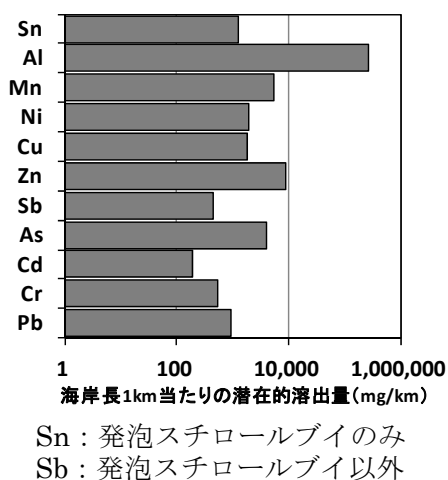


図 3 単位海岸長表示での潜在的溶出量

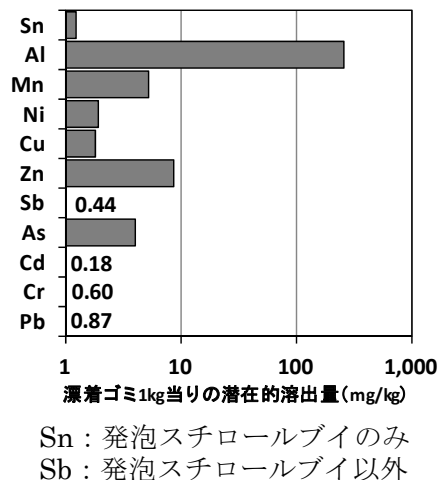


図 4 単位質量表示での潜在的溶出量

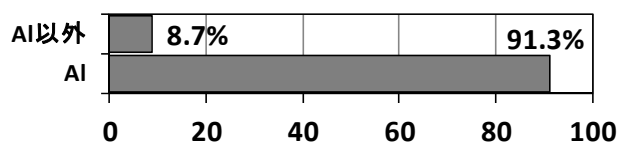
している。なお 11 元素成分の内、錫(Sn)は発泡スチロールブイのみ、アンチモン(Sb)は発泡スチロールブイ以外の 5 種類の漂着ゴミからの溶出量としてそれぞれ算定している。八重山・宮古諸島の調査範囲で、最も潜在的溶出量の高い元素成分は Al で、突出した値となっていることがわかる。次いで Zn, Mn, As も他の元素成分に比して比較的高い傾向にある。

同様に図 4 には、調査範囲での漂着ゴミの総量(質量)で各元素成分の潜在的溶出量を除し、漂着ゴミ 1kg 当たりの溶出量として再度整理している。当然、この結果は、図 3 での単位海岸長での傾向と類似している。Al は 100mg/kg を超えているが、Mn, Zn, As, Cu, Ni は 1~10mg/kg 範囲で、Pb, Cr, Cd, Sb はそれぞれ 1mg/kg 以下の潜在的溶出量となっている。なお、図 3 と図 4 の両結果からも推察できるが、対象とした 11 種類の元素成分の潜在的溶出量の総量に占める各元素成分の比率を表示したのが図 5(a) と(b)である。上述したように、高い潜在的溶出性を呈する Al は総量の 91.3% を占めており、他の 10 元素成分の占める溶出量は 8.7% となっている。この 8.7% を 100% として、各元素成分の溶出量比率を求めると、円グラフで表示するように下記の大小関係となっている。

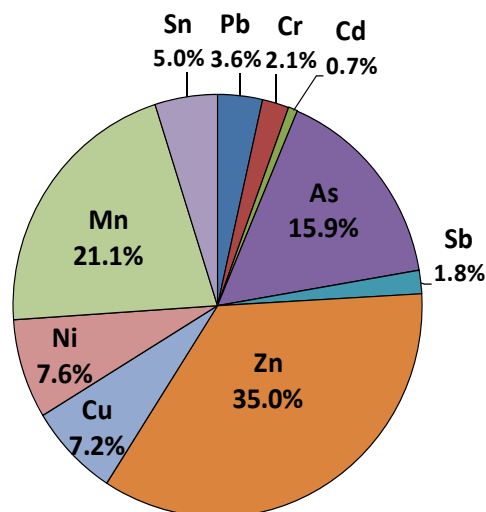
Zn(35.0)>Mn(21.1)>As(15.9)>Ni(7.6)・Cu(7.2)>Sn(5.0)>Pb(3.6)>Cr(2.1)>Sb(1.8)>Cd(0.7)

但し()内の値は Al 以外の 10 元素成分について潜在的溶出量の比率を 100% とした場合の各元素成分の溶出量比率(%)である。

さらに、各元素成分の溶出供給源を漂着ゴミの種類ごとに区分して表示したのが、図 6 である。まず漂着ゴミの種類から潜在的供給源をみると、発泡スチロールブイは他の種類の漂着ゴミに比較して、対象としたいずれの元素成分においても、卓越した潜在的溶出性(多孔質性で吸着性が極めて高い)を有していることが理解できる。特に、Pb, As, Ni, Al の潜在的溶出量では、いずれの元素成分でも 97% 以上を占めているのは発泡スチロールブイで、主要な供給源となっていることがわかる。Cr, Cd, Zn, Cu, Mn では多少他の種類の漂着ゴミからの供給もあるが、いずれもその関与の程度は発泡スチロールブイに比較すると極めて低い。ちなみにプラスチックブイでは Cd で 19.1%, Mn で 8.3%, Zn と Cu では



(a) 調査範囲での潜在的溶出量に占める Al の比率



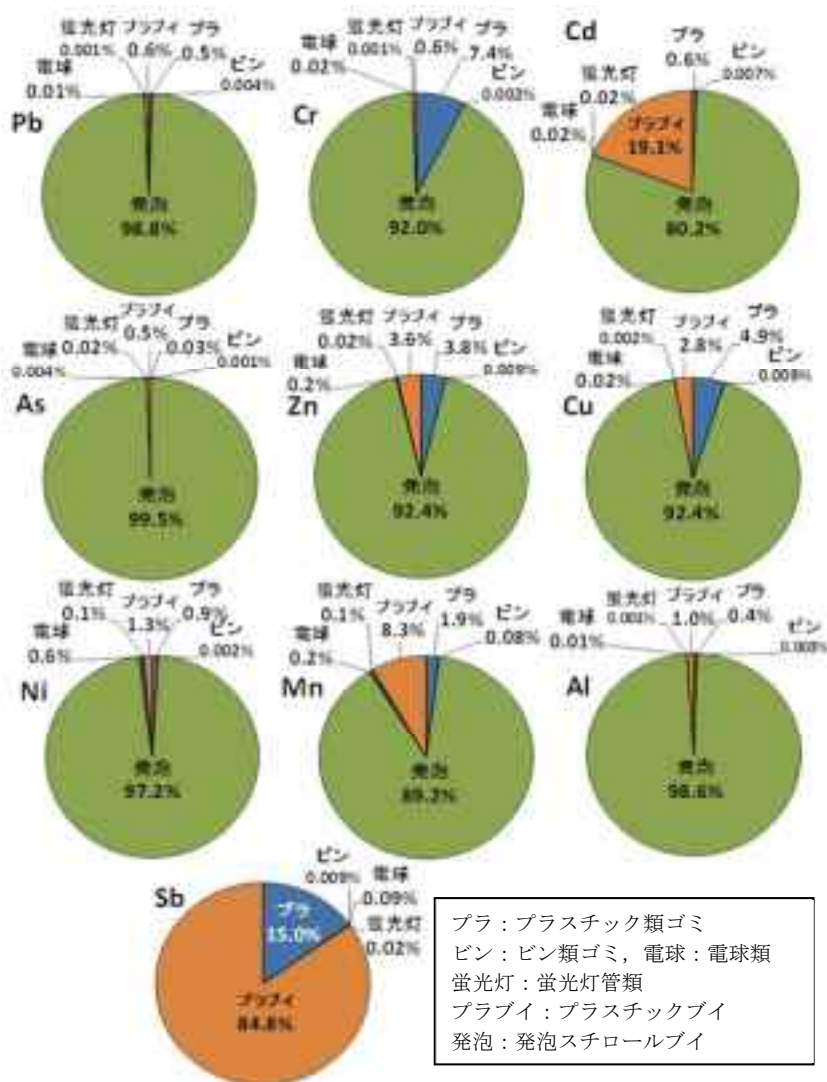
(b) 潜在的溶出量に占める Al 以外の元素成分の比率

図 5 調査範囲での潜在的溶出量に占める各元素成分の比率

数%程度、またプラスチック類ゴミではCrで7.4%、Cuで4.9%、Znで3.8%、Mnで1.8%程度の潜在的溶出量を有している。なお発泡スチロールビを除外して推定したアンチモン(Sb)の場合には、プラスチックビが主要な供給源(84.8%)となっており、プラスチック類ゴミ(15.0%)を含めると供給源のほとんどはプラスチック系の漂着ゴミからなっていることがわかる。

次に、プラスチック類ゴミの場合について、国籍別に区分して潜在的溶出量について例示する。

図7と図8に示すように、いずれの元素成分においても、国籍判別不能な不明ゴミからの供給量が非常に高く、潜在的溶出量の70%以上を占めていることがわかる。これは両種類の漂着ゴミでは、やはり不明ゴミが約60~70%と総量の半数以上を占めていることが要因と思われる。しかし



(但し Sb は発泡スチロールビ以外からの溶出量として算定)

図6 調査範囲での単位海岸長当りの各元素成分の潜在的溶出量に関する種類別比率

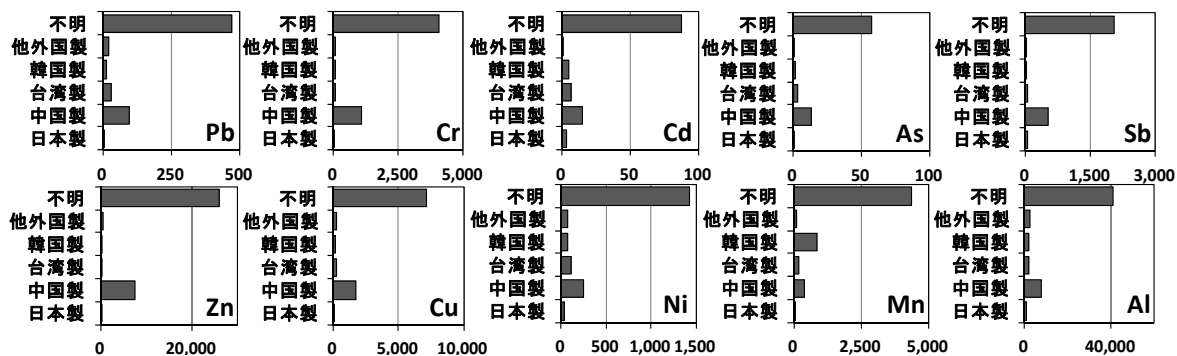


図7 プラスチック類ゴミの1km当りの国籍別潜在的溶出量(µg/km)

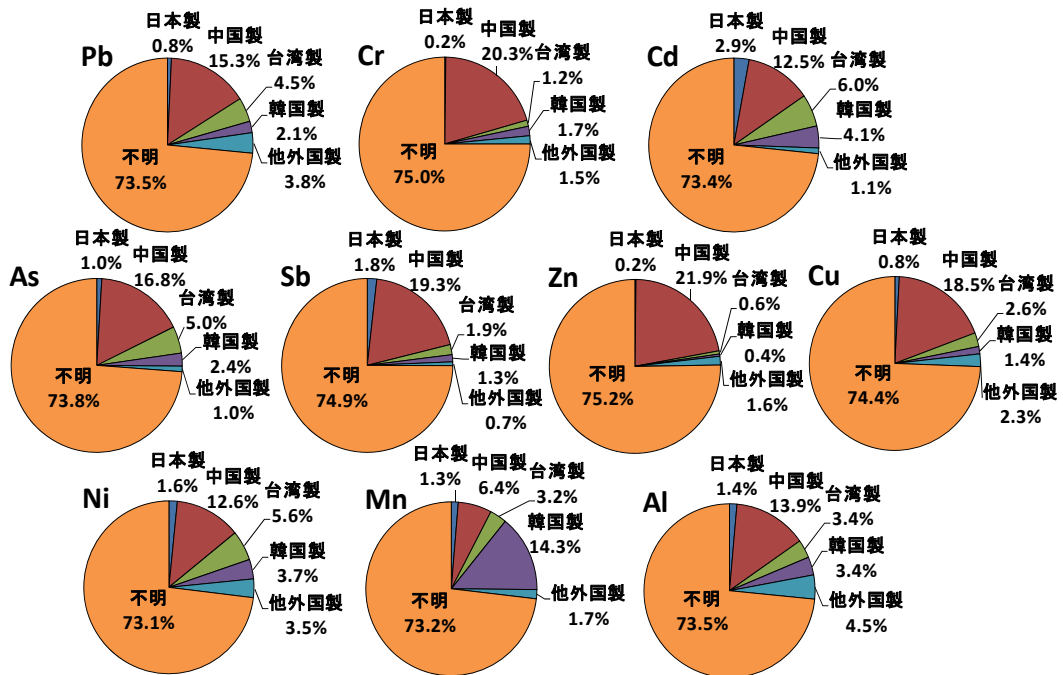


図8 プラスチック類ゴミの場合の各元素成分における国籍別比率

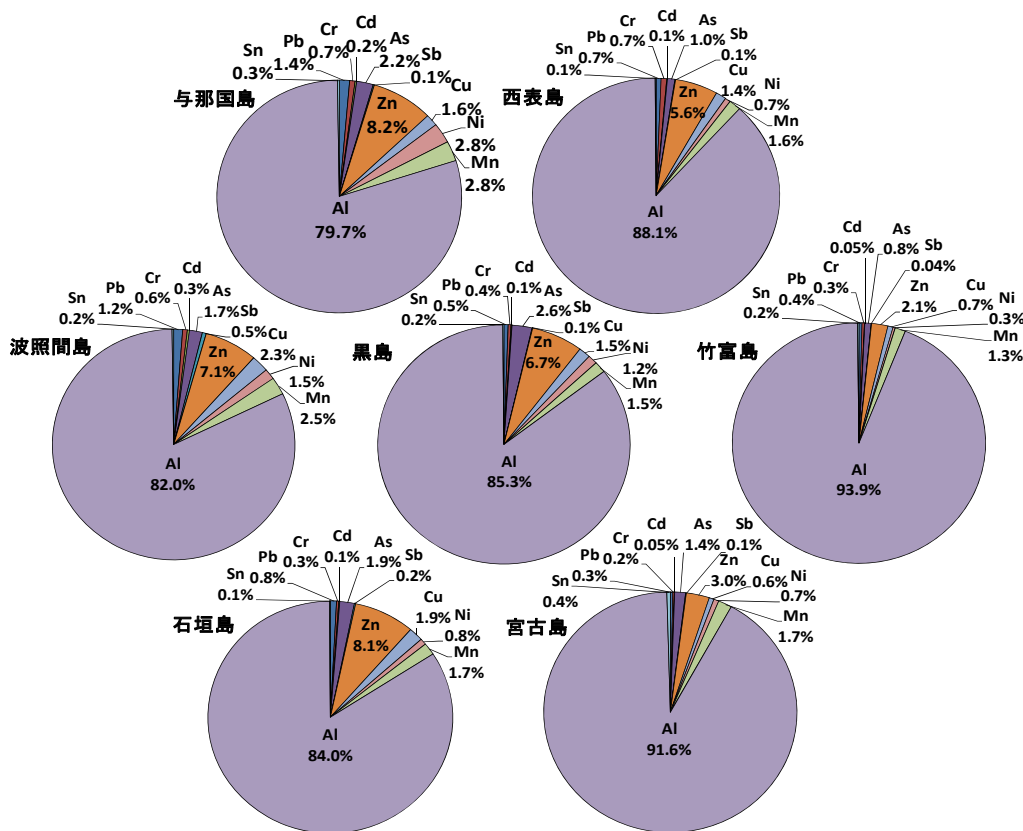


図9 各島での各元素成分が占める潜在的溶出量の比率構成

中国製ゴミからの供給量も比較的高く、多種類の元素成分において、概ね10～30%台の潜在的溶出量を呈している。なおマンガン(Mn)の場合には、韓国製ゴミが14.3%を占めているのが、特徴的な事項と言える。

さらに、島ごとに各元素成分が占める潜在的溶出量の比率状況を比較したのが図9である。各島での漂着ゴミの総量(質量)や種類別の数量(質量)は異なっているが、国籍別・種類別の個数比率が島間でほとんど類似していることから、図9に示すように、各元素成分が占める潜在的溶出量の比率構成もまた、類似する傾向が得られたものと言える。各島での漂着ゴミでは、やはりAlの溶出量比率が突出して高く、いずれも約80%以上で、次いでZnが約2～8%を占め、他の元素成分の大半は1%台以下の値となっている。このような各島での結果は、当然、先の図5でのこれらの島から構成される調査範囲における潜在的溶

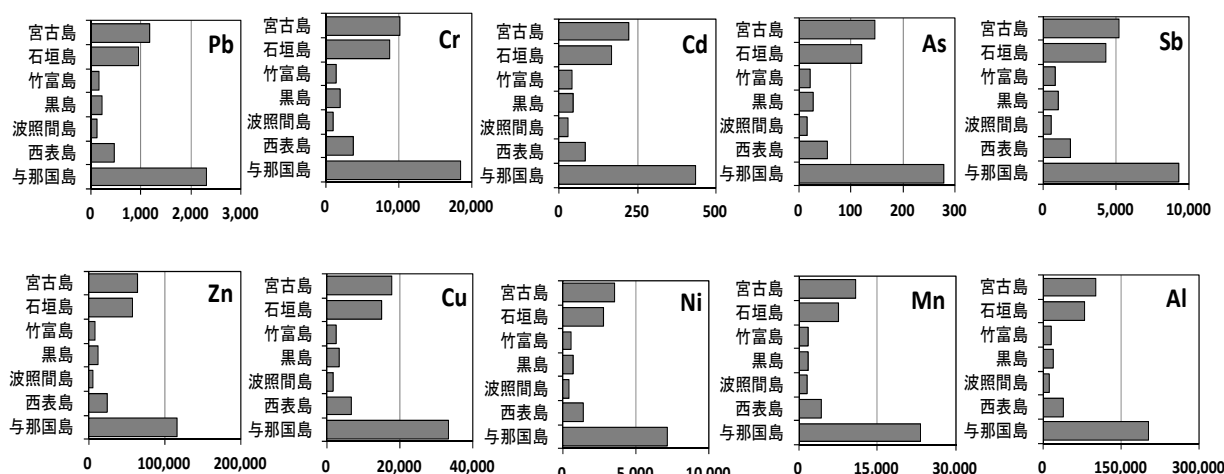


図10 プラスチック類ゴミの場合での単位調査海岸域長当りの潜在的溶出量(µg/km)の状況

出量の元素成分比率に反映されている。

次に、プラスチック類ゴミの場合を例として、元素成分ごとに島間での比較を示したのが、それぞれ図10である。単位海岸域長で表示すると、溶出量の推定値は漂着ゴミ量に比例することから、通常、漂着ゴミ量の多い与那国島、西表島、石垣島、宮古島では、いずれの元素成分でもその潜在的溶出量は高い推定量となっている。

以上、このように、調査対象区域での有害化学物質の潜在的な溶出ポテンシャルを広域的に、しかもトータルのに定量化することで、動植物生態系への影響リスクを科学的に検討する際に役立てられる。

4. 座間味島及び西表島での調査対象区域への適用方針

4. 1 海岸の漂着ゴミ状況

①座間味島

座間味島の北側は、概ね断崖絶壁の海岸地形を形成しており、ニタ海岸、チシ海岸、ユヒナ海岸以外には、容易に海岸に降り踏査可能な海岸域は殆どない(図11)。座間味島の北

側に面する海岸域は廃プラスチック等の漂着ゴミが多く、また地形的に回収除去も停滞しがちであるため、両海岸域では一部清掃痕跡も窺われたが、かなりの漂着ゴミが滞留・集積しており、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深刻な状況にあった。一方、古座間味ビーチ、ウハマ等の島南側の海岸域では、漂着ゴミの打ち上がりが比較的少なく、しかも観光ビーチや海水浴海岸が多いため、漂着ゴミの回収除去が定期的になされている海岸が多く、調査時には漂着ゴミや微小プラスチックなどは殆ど目に付かなかった(写真2, 写真3)。



図 11 座間味島での調査海岸地点



① ウハマ

②ニタ 海岸西側

③チシ 海岸西側

写真 2 調査海岸域の漂着ゴミの状況



① ウハマ

②ニタ 海岸東側

③チシ 海岸西側

写真 3 調査海岸域の微小プラスチックの漂着・混在状況

②西表島

西表島は、前出の座間味島と同様に、高那、野原崎等の北～北東側に面する海岸域は廃プラスチック等の漂着ゴミが多く、また地形的に回収除去も停滞しがちな海岸が多いため、かなりの漂着ゴミが滞留・集積しており、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深刻な状況にあった。一方、南風見田の浜等の南側の海岸域では、漂着ゴミの打ち上がりが比較的少なく、漂着ゴミや微小プラスチックなどは殆ど目に付かなかった(図 12, 写真 4, 写真 5)。



図 12 西表島での調査海岸地点



① 南風見田

②野原崎

③高那

写真 4 調査海岸域の漂着ゴミの状況



① 南風見田

②野原崎

③高那

写真 5 調査海岸域の微小プラスチックの漂着・混在状況

4. 2 座間味島及び西表島での動植物生態系に関する専門家調査

沖縄県内における漂着ゴミからの有害化学物質と海浜域の動植物生態系に及ぼす影響リスクとの因果関係を検討するために、沖縄県海岸漂着物等対策推進事業による専門家会議の委員等により、2019年9月に座間味島、10月に西表島での海浜調査が実施された。島内一円で海浜踏査を行い、漂着ゴミの実態状況、海浜底生生物の棲息状況、海浜植生の生育・繁茂状況などから、海浜域での人為的活動や動植物生態系のかく乱なども殆どなく、自然環境が保全されている座間味島のニタ海岸及び西表島の野原崎が海浜生態系への漂着ゴミからの有害化学物質の影響リスクを検討するのに、適切な調査海岸として選定された。

海浜域では、マイクロプラスチックなどの微小プラスチックの小生物体内への取り込みや、小生物の内臓や植生からの有害化学物質を検証するために、棲息するオカヤドカリ類、スナガニ類、イソハマグリなどの底生小生物及び、自生するグンバイヒルガオ、クサトベラ、モンパノキなどの海浜植生を採取している。

4. 3 本評価モデルの座間味島及び西表島の海岸への適用方針

上述したように、2019年9・10月の調査において、座間味島のニタ海岸及び西表島の野原崎が海浜動植物への有害化学物質によるリスク評価のための海岸に選定されたが、これらの海岸においては、これまで漂着ゴミのモニタリング調査は行われていない。そこで、座間味島ではニタ海岸と同様に島北側に位置し、漂着ゴミの実態状況がほぼ類似するチシ海岸(写真2参照)、西表島では野原崎と同様に島北東側に位置する高那(写真4参照)それぞれの漂着ゴミデータを引用し、本評価モデルによる解析を行う。座間味島のチシ海岸、西表島の高那の海岸共に、2019年12月～2020年2月の間の漂着量調査(2ヶ月間の漂着量調査)が行われており、この時期は冬期の季節風の影響により1年で最も漂着量が多いと考えられる。

昨年度は、本業務において、上述と同様に、チシ海岸における2013年11月～2014年11月までの年間漂着量を、ニタ海岸に適用し、海岸漂着ゴミから溶出する有害化学物質の潜在的ポテンシャルの評価を実施している(表2)。

本評価モデルの適用に際して、下記のこと留意した。

①対象とする漂着ゴミの種類は、前章での評価モデル適用事例で採用した(写真1参照)、プラスチック類ゴミ、発泡スチロールブイ(漁業用大型トレイ等含む)、大型プラスチックブイ、球管類ゴミ(電球類と蛍光灯管類)の端部・芯部金属部分、ビン類ゴミの金属製キャップの6種類とした。

表2 *座間味島ニタ海岸(調査海岸長 0.5km)での主要な漂着ゴミデータ
(平成30年度において本評価モデルによるニタ海岸の評価に適用したデータ)

対象とした漂着ゴミの種類		国籍区分	質量(kg)	備考
プラスチック類ゴミ		日本製	274	・当初のデータに含まれていたゴム類(質量で約6.6%)を含む ・プラスチック類ゴミの質量区分はペットボトルの国籍別比率によっている
		中国製	3640	
		韓国製	55	
		台湾製	256	
		他外国製	55	
		不明	1427	
発泡スチロールブイ		国籍区分無し	226	大型の漁業用トレイなども含む
大型プラスチックブイ		日本製	23	直径約20cm以上の大型のもの対象としている
		中国製	222	
		韓国製	12	
		台湾製	0	
		他外国製	0	
		不明	560	
球管類ゴミ(金属部分)	電球類	国籍区分無し	0.56	検出個数(6個)から平均的質量換算係数を用いて金属部分の質量算定
	蛍光灯管類		0.28	検出個数(4個)から平均的質量換算係数を用いて金属部分の質量算定
ビン類ゴミ(金属製キャップ)		日本製 中国・台湾製 韓国製 他外国製 不明	データ検討中	ガラス・陶器類として集計されており、現状、ビン類の金属製キャップは検討中

注)*印：チシ海岸(調査海岸長 0.05 km)の漂着ゴミデータをニタ海岸(海岸長 0.5km)に拡張(10倍)

②対象とした有害化学物質は、前章と同様に、人を含め生態系に好ましくない10種類程度の重金属類等(Pb, Cr, Cd, As, Sb, Zn, Cu, Ni, Mn, Al, Sn)の元素成分とした。

③実測されたチシ海岸でのモニタリングの海岸長は0.05kmであったので、調査海岸長0.5kmのニタ海岸にチシ海岸の漂着ゴミデータを適用する場合には、各種類の漂着ゴミ量(質量)は10倍にして用いた。

④チシ海岸でのモニタリングデータは漂着ゴミの分類方法等が異なり、本評価モデルに直接適用できないので、上記①項での6種類の漂着ゴミデータ以外は除外している。だが、6種類の漂着ゴミの累計質量は、流木を除いたモニタリング漂着ゴミの総質量の82%に当たり、大半を占めていた。

⑤プラスチック類ゴミには質量で約6.6%のゴム類も含まれている。またプラスチック類ゴミの国籍別質量は、ペットボトル数量の国籍別比率で配分した。

⑥発泡スチロールブイは主に大きさ約20~30cm以上のものを対象にしており、大型の漁業用トレイ等も含めている。

⑦電球類と蛍光灯管類の端部・芯部の金属部分は、数量から平均的質量換算係数を用いて質量を算定している。

⑧金属製キャップを対象とするビン類ゴミの場合には、モニタリングデータがガラス・

陶器類ゴミの総量として集計されているため、ビン類ゴミ単独での数量あるいはその金属製キャップの質量の算出が可能か否かを検討中である。

上記の漂着ゴミデータに関する留意事項を考慮し、本評価モデルに導入する各種パラメータは、下記の事項に基づいて算定されている。

①本評価モデルでは、各種の漂着ゴミの量は、個数をベースとして、平均的質量換算係数を乗じて質量に換算するシステムとなっている。だが、各種の漂着ゴミのモニタリングデータは直接質量を算定しているため、その質量をそのまま導入することにする。

②プラスチック類ゴミと大型プラスチックブイの場合には、表面に付着・吸着した汚れを予め入念に蒸留水で洗浄(水洗い後、超音波洗浄)したサンプル片を分析し、潜在的溶出係数を算定しているため、算出される潜在的溶出量は、元々プラスチックに含有されている元素成分からの溶出量と解釈される(前章での適用事例の場合も同様である)。

③プラスチック類ゴミ、大型プラスチックブイ、ビン類ゴミ(金属製キャップ)の場合には国籍別の分析に基づいて潜在的溶出係数が算出されているが、国籍の不明ゴミに対しては、本来は、各国籍での漂着ゴミの数量を考慮し、潜在的溶出係数を加重平均することで算定している。ここでは、質量を考慮した加重平均で不明ゴミの潜在的溶出係数を求めることにする。

④本評価モデルでは、発泡スチロールブイの潜在的溶出係数は、多孔質であることから漂流中の吸着性を考慮して、漂着したものをそのまま使用(洗浄しない)して分析し、海岸ごとに算定している。しかし座間味島での発泡スチロールブイに関する分析は行っていないので、近海沖



写真4 座間味島近海沖合の栗国島筆ん崎下海岸一帯

合の栗国島での分析から求めた潜在的溶出係数を代用することにする。分析用の発泡スチロールブイを採取した栗国島の筆ん崎下一帯の海岸域は(写真4)、座間味島のニタ海岸やチシ海岸と同様に(写真2参照)、常時、大量の漂着ゴミが海岸を覆い尽くしている状況にある。

なお、表3(整理中、省略)には対象とした漂着ゴミの種類ごとにまとめた、潜在的溶出係数の一覧を表示する予定である。

5. おわりに～今後の方向性

本評価モデルにより、漂着ゴミから誘発される有害化学物質の潜在的溶出ポテンシャルを広域的に、しかもトータル的に把握することが可能となる。今後、海浜域に棲息・繁茂する動植物に対する有害化学物質の検証結果と対照・精査することで、微小プラを含めたマイクロプラスチックなどの廃プラスチックゴミによる海岸域の汚染リスクの度合を科学

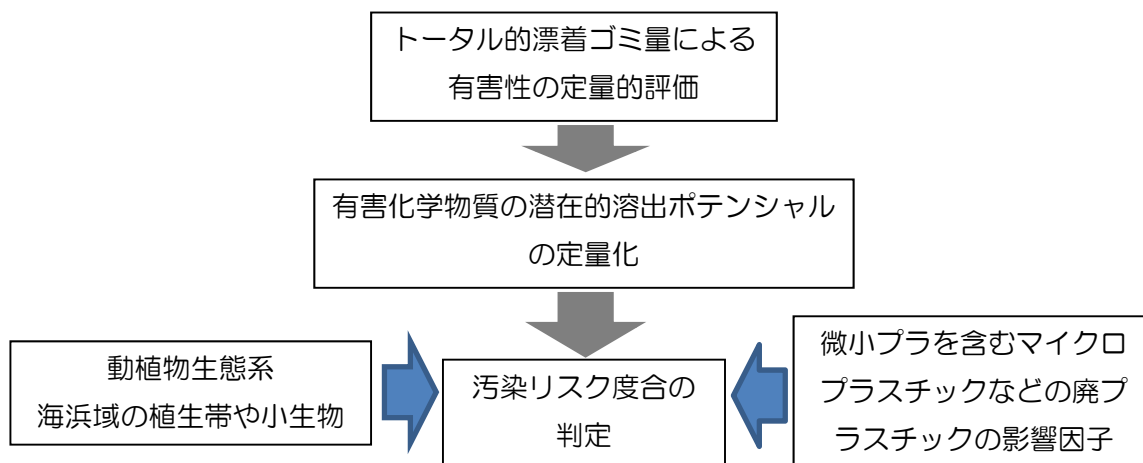


図 12 漂着廃プラスチックゴミによる海浜域の汚染リスク度合の判定

的に検証するのに役立てられる(図 12).

最後に、沖縄には希少な動植物生態系が育まれている野趣豊かな島嶼や沿岸域は多い。特に、膨大な量の外来廃プラスチックゴミの漂着が繰り返されている世界自然遺産登録を目指す西表島などの八重山諸島では、有害化学物質の潜在的溶出ポテンシャルの検証などが早急に求められる。

2020.3.25

海岸漂着物から溶出する有害化学物質の潜在的ポ
テンシャルの評価
～西表島(2海岸)・座間味島(2海岸)～

防衛大学校名誉教授 山口 晴幸

Hareyuki@oregano.ocn.ne.jp

1. はじめに

海浜域の水質・土壌や動植物生態系への影響リスクを科学的に評価する広域評価モデルを適用し、海岸に打ち上がる種類・国籍の様々な海洋漂着ゴミを有害化学物質の潜在的溶出量に置き換えることにより、西表島の2海岸(高那海岸, 南風見田浜)と座間味島の2海岸(チシ西海岸, 阿真ビーチ)での解析事例について検討を試みている。

特に、今回の評価モデル解析では、対象とした西表島と座間味島の両島において、それぞれ、恒常的に海洋漂着ゴミ量の非常に多い海岸(高那海岸, チシ西海岸)と、非常に少ない海岸を(南風見田浜, 阿真ビーチ)を選定し、両海岸間での有害化学物質の潜在的溶出量や溶出特性の相違・特徴などについて検証している。

本報告では、このような調査成果を活用することで、年々、深刻度を増す近隣アジア諸国からの外来廃プラスチックやマイクロプラスチックなどの微小プラスチックを含めた海洋漂着ゴミ量の効果的な軽減防止対策の在り方や、海洋漂着ゴミに起因する海岸・沿岸水域の動植物生態系への有害リスクの定量的な評価システムの確立などに反映させることを目的として、以下に示す主要事項について、検討を試みている。

- ①解析対象海岸の海洋漂着物の概要
- ②海洋漂着ゴミの潜在的溶出係数の設定
- ③海洋漂着ゴミにおける潜在的溶出量の解析算定フロー
- ④対象海岸での有害化学物質の潜在的溶出量の評価
- ⑤対象海岸間での潜在的溶出量の比較検証
- ⑥早急に検討すべき海洋廃プラスチックの軽減・抑制対策の検討
- ⑦生態系に配慮した評価システムと海岸保全対策

2. 西表島と座間味島の解析対象海岸における海岸漂着物の概要

解析対象海岸は、[図 2-1](#)に示すように、西表島の高那海岸と南風見田浜、座間味島のチシ西海岸と阿真ビーチの4海岸を選定している。上述したように、両島ではいずれも、海洋漂着ゴミ量は恒常的に島北側に面する沿岸域で多く、南側に面する沿岸域では少ない傾向にあることから、両沿岸域を代表する海岸として、西表島では高那海岸と南風見田浜、座間味島ではチシ西海岸と阿真ビーチを対象海岸としている。

西表島と座間味島での、それぞれの対象海岸における漂着ゴミ量のモニタリング調査結果を[表 2-1](#)に示している。モニタリング調査は2019年12月～2020年2月までの2ヶ月間(60日)で行われ、調査海岸長50m範囲に漂着した海洋ゴミの重量を種類ごとに整理している。

この海洋漂着ゴミの調査結果に基づき、解析モデルに導入するために、木類を除き、漂着ゴミの種類を①プラスチック類、②発泡スチロール類(ブイ・他)、③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)、④球管類(電球・蛍光灯管)、その他(木類を除く①～④以外のもの)に再



西表島高那海岸 2017. 4. 3

③チシ海岸西側 2019. 2. 24



西表島南風見田浜 2017. 4. 6

阿真ビーチ 2017. 10. 6

図 2-1 西表島と座間味島の調査対象 4 海岸の位置と海岸状況

表 2-1 西表島と座間味島での対象 4 海岸における漂着ゴミモニタリング調査結果

解析対象とした4海岸の漂着ゴミの量の状況(漂着期間:2019年12月~2020年2月の約2ヶ月間)			単位:重量(kg)/50m			
素 材	種 類		西表島		座間味島	
			北東	南	北	南
			高那海岸	南風見田浜	チシ西海岸	阿真ビーチ
1. プラスチック類	ペットボトル	1000cc未満	10.4	0.5	1.6	
		1000cc以上	5.8	0.2	0.6	
1. プラスチック類	ペットボトル	合計	16.2	0.7	2.2	
	漁業用ブイ	直径20cm未満	5.4	0.2	1.8	0.1
		直径20cm以上	28.8		1.4	
	漁業用ブイ	合計	34.2	0.2	3.2	0.1
	漁具・漁網		12.8	19.2	3.3	
	他プラスチック		35.8	3.5	9.3	0.0
	プラスチック類合計	プラスチック類合計	99.0	23.6	17.9	0.1
2. 発泡スチロール類	ブイ		5.8		20.6	
		その他	5.2	0.2	1.5	
2. 発泡スチロール類		発泡スチロール類合計	10.9	0.2	22.1	
3. ゴム類			1.6	0.4	0.8	
4. 紙類						
5. 布類				0.2		
6. ガラス・陶磁器類	電球・蛍光灯		1.0		0.1	
		その他	6.7	0.6	4.7	
6. ガラス・陶磁器類		ガラス・陶磁器類合計	7.7	0.6	4.8	
7. 金属類	飲料缶			0.1	0.1	
		その他	3.7	0.1	0.1	
7. 金属類		金属類合計	3.7	0.2	0.2	
8. 木類	加工木、パレット等(人工系)		9.7		1.8	
		流木、灌木(自然系)	54.7		15.4	
8. 木類		木類合計	64.4		17.2	
9. 医療系廃棄物			0.1		0.0	
10. オイルボール・廃油・廃液				0.4	0.0	
11. その他(粗大ごみ等)					14.2	
品目別その他(木材を除く3~11の合計)	グラフ用その他	合計	13.1	1.8	20.1	
	木類を除く合計	木類を除く合計	123.0	25.6	60.1	0.1
	合計	合計	187.4	25.6	77.3	0.1
	前回(2019年12月)からの調査間隔(日)		50	51	57	58

度区分し、表 2-2 に各タイプの漂着ゴミの重量をまとめている。図 2-2(a)と図 2-2(b)に示すように、対象海岸での各タイプの漂着ゴミ量の状況を見ると、やはり西表島高那海岸では 123.0kg、座間味島チシ西海岸では 60.1kg と、南風見田浜(25.6kg)や阿真ビーチ(0.1kg)に比較して、同期間(60 日)での漂着ゴミ量はかなり高いことが理解できる。しかも、漂着ゴミのタイプの構成比率は海岸間で異なっているが、①プラスチック類、②発泡スチロール類、③大型プラスチックブイの 3 タイプの漂着ゴミ量によって、大半は占められていることが分かる。

このような結果から、解析対象とする①プラスチック類、②発泡スチロール類、③大型プラスチックブイ、④球管類の 4 タイプの総量は高那海岸、南風見田浜、阿真ビーチでは、

表 2-2 対象 4 海岸における解析漂着ゴミの質量と質量比率の状況

対象とした漂着ゴミの種類	西表島高那海岸		西表島南風見田浜		座間味島チン西海岸		座間味島阿真ビーチ	
	各質量累計(kg)	質量比率(%)	各質量累計(kg)	質量比率(%)	各質量累計(kg)	質量比率(%)	各質量累計(kg)	質量比率(%)
①プラスチック類	70.2	57.1	23.6	92.2	16.5	27.5	0.1	100
②発泡スチロール類(ブイ・他)	10.9	8.9	0.2	0.8	22.1	36.8	0	0
③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	28.8	23.4	0	0	1.4	2.3	0	0
④球管類(電球・蛍光灯管)	1.0	0.8	0	0	0.1	0.2	0	0
その他(木類を除く上記①～④以外のもの)	12.1	9.8	1.8	7.0	20.0	33.3	0	0
総計(木類を除く)	123.0	100	25.6	100	60.1	100	0.1	100

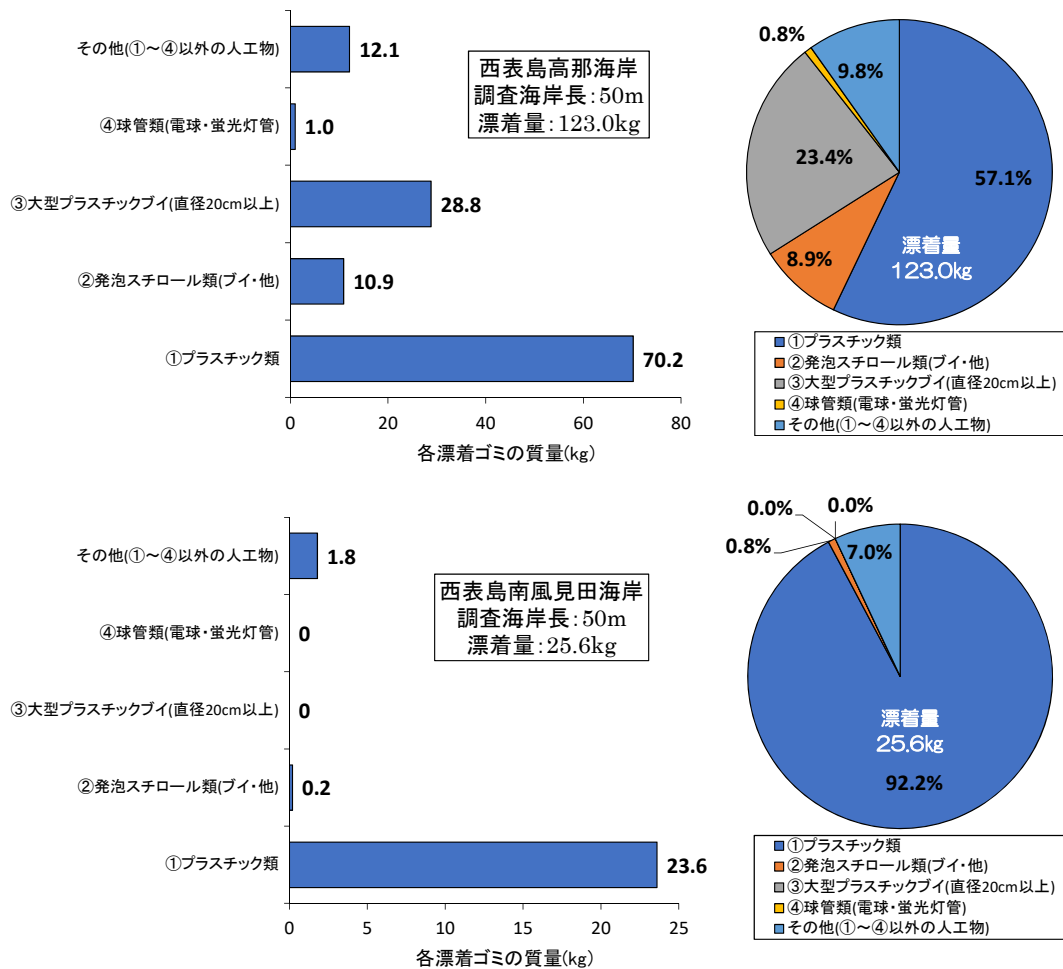


図 2-2(a) 西表高那海岸と南風見田浜における解析漂着ゴミの質量と質量比率の状況

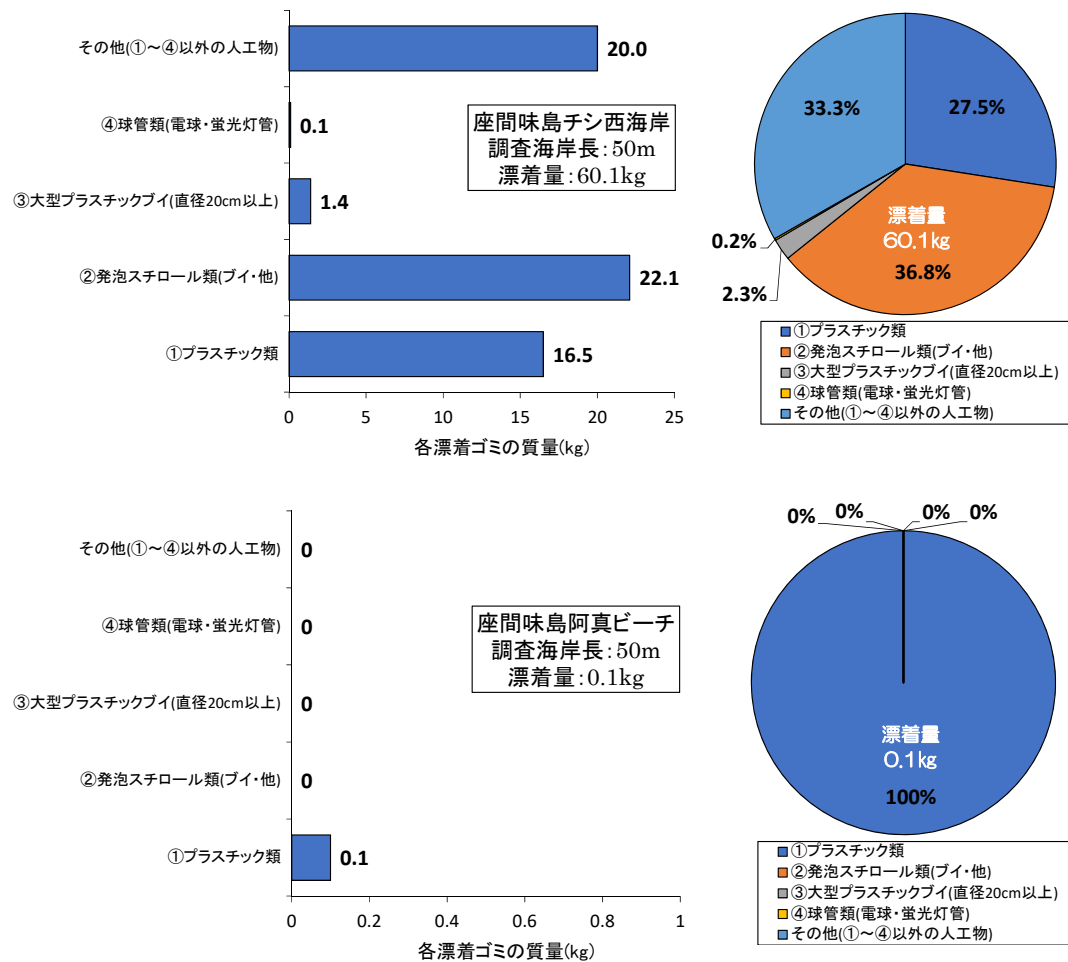


図 2-2(b) 座間味島チシ西海岸と阿真ビーチにおける解析漂着ゴミの質量と質量比率の状況

木類を除いたモニタリング調査量の 90%以上を、またチシ西海岸では約 70%を占めている。なお、その他(①~④以外の人工物)に区分した漂着ゴミは表 2-1 中に示すゴム、紙、布、ガラス・陶器類、医療廃棄物などの素材番号 3~11 のもので、後述する潜在的溶出係数を設定できないため解析モデルへの導入から除外している。その他の占める重量比率はチシ西海岸で 33.3%を占め多少高いが、他の海岸ではいずれも 10%未満となっている(図 2-2(a), 図 2-2(b)参照)。

さらに、沖縄島嶼では近隣アジア諸国からの海洋越境ゴミの大量漂着が深刻であり、外国製ゴミが大半を占めている海岸が多い。各種漂着ゴミでの有害化学物質の溶出性は、生産国などの国籍によってかなり異なることから、特に、国籍判別の可能なプラスチック類と大型プラスチックブイについては、解析モデルでは国籍別による評価を試みている。

だが、表 2-1 に示したモニタリング調査では、漂着ゴミの国籍区分はなされていないので、漂着廃プラ容器類に関して行われたカウント調査での国籍別比率の結果を便宜的に適用して(表 2-3)、対象 4 海岸での①プラスチック類と③大型プラスチックブイ(直径 20cm 以上)

の

漂着量をそれぞれ国籍別に区分している(表 2-4(a), 表 2-4(b)). なお, ②発泡スチロール類(ブイ・他)と④球管類(電球・蛍光灯管)は漂着時点で殆ど国籍判別が不能であることから, 当初より国籍不明ゴミとして扱っている. そのため図 2-3 に示すように, 対象海岸での国籍別漂着ゴミ量の状況は中国製が大半を占め, しかも発泡スチロール類の漂着量の多い海岸では, 国籍不明ゴミが大部分を占める結果となっている.

図 2-4 には, 上述のように, 2019年12月~2020年2月の2ヶ月間(60日)に調査海岸長50m 範囲での海洋漂着ゴミのモニタリング調査結果を整理し, 対象4海岸での漂着ゴミ量と各タイプの構成比率を比較している. 漂着ゴミ量の多い西表島高那海岸と座間味島チシ西海岸では, プラスチック類と発泡スチロールブイの漂着量が高く, しかも高那海岸では大型プラスチックブイの漂着割合もかなり高いことが分かる. 西表島南風見田では漂着量は高那海岸の1/5程度と少ないが, 殆どがプラスチック類である. また阿真ビーチは2ヶ月間での漂着量は0.1kgと極めて少なく, 殆ど漂着ゴミの無い海岸と言える.

表 2-3 対象4海岸での漂着ペットボトル容器類の国籍別カウント調査の一覧

解析対象4海岸における漂着ペットボトル容器類の国籍別比率								
国籍	西表島				座間味島			
	高那海岸		南風見田浜		チシ西海岸		阿真ビーチ	
	数量(個)	比率(%)	数量(個)	比率(%)	数量(個)	比率(%)	数量(個)	比率(%)
日本製	1	0.55	0	0.00	2	3.28	0	
中国製	162	88.52	8	47.06	40	65.57	0	
韓国製	10	5.46	0	0.00	7	11.48	0	
台湾製	6	3.28	3	17.65	0	0.00	0	
他外国製	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	
不明	4	2.19	6	35.29	12	19.67	0	
合計	183	100.00	17	100.00	61	100.00	0	

表 2-4(a) 対象4海岸での漂着ゴミのタイプと漂着ゴミ量の国籍別区分状況

解析対象とした漂着ゴミの種類と漂着量の国籍別区分状況(海岸長50m範囲)									
対象とした漂着ゴミの種類	国籍区分	西表島高那海岸		西表島南風見田浜		座間味島チシ西海岸		座間味島阿真ビーチ	
		質量(kg)	各質量累計(kg)	質量(kg)	各質量累計(kg)	質量(kg)	各質量累計(kg)	質量(kg)	各質量累計(kg)
①プラスチック類	日本製	0.4	70.2	0.0	23.6	0.5	16.5	0.0	0.1
	中国製	62.2		11.1		10.8			
	韓国製	3.8		0.0		1.9			
	台湾製	2.3		4.2		0.0			
	他外国製	0.0		0.0		0.0			
	不明	1.5		8.3		3.3			
②発泡スチロール類(ブイ・他)	国籍区分せず(不明)	10.9	10.9	0.2	0.2	22.1	22.1	0.0	0
③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	日本製	0.2	28.8	0.0	0	0.05	1.4	0.0	0
	中国製	25.5		0.0		0.92			
	韓国製	1.6		0.0		0.16			
	台湾製	0.9		0.0		0.0			
	他外国製	0.0		0.0		0.0			
	不明	0.6		0.0		0.27			
④球管類(電球・蛍光灯管)	国籍区分せず(不明)	1.0	1.0	0.0	0	0.1	0.1	0.0	0
その他(木類を除く上記①~④以外のもの)	(不明)	12.1	12.1	1.8	1.8	20.0	20.0	0.0	0
総計(木類を除く)		123.0	123.0	25.6	25.6	60.1	60.1	0.0	0.1

注1: 解析対象とした漂着ゴミの種類は上記①~④
 注2: 座間味島阿真ビーチでの①プラスチック類の国籍別漂着量は, ペットボトル容器の国籍別比率から算定できないので, プラスチック類の漂着量0.1kgは全て不明ゴミとみなす

表 2-4(b) 対象 4 海岸での海岸ごとの漂着ゴミ量の国籍別量とその比率

(a)西表島高那海岸:漂着ゴミ量の国籍別量とその比率							
国籍区分	各種漂着ゴミの国籍別漂着質量(kg)					国籍別累計量	国籍別比率 (%)
	①プラスチック類	②発泡スチロール類(ブイ・他)	③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	④球管類(電球・蛍光灯管)	その他(①～④以外の人工物)		
日本製	0.4		0.2			0.6	0.5
中国製	62.2		25.5			87.7	71.3
韓国製	3.8		1.6			5.4	4.4
台湾製	2.3		0.9			3.2	2.6
他外国製	0.0		0.0			0	0.0
不明	1.5	10.9	0.6	1.0	12.1	26.1	21.2
総計	70.2	10.9	28.8	1.0	12.1	123.0	100

(b)西表島南風見田浜:漂着ゴミ量の国籍別量とその比率							
国籍区分	各種漂着ゴミの国籍別漂着質量(kg)					国籍別累計量	国籍別比率 (%)
	①プラスチック類	②発泡スチロール類(ブイ・他)	③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	④球管類(電球・蛍光灯管)	その他(①～④以外の人工物)		
日本製	0.0		0.0			0.0	0.0
中国製	11.1		0.0			11.1	43.4
韓国製	0.0		0.0			0.0	0.0
台湾製	4.2		0.0			4.2	16.4
他外国製	0.0		0.0			0.0	0.0
不明	8.3	0.2	0.0	0.0	1.8	10.3	40.2
総計	23.6	0.2	0.0	0.0	1.8	25.6	100

(c)座間味島チン西海岸:漂着ゴミ量の国籍別量とその比率							
国籍区分	各種漂着ゴミの国籍別漂着質量(kg)					国籍別累計量	国籍別比率 (%)
	①プラスチック類	②発泡スチロール類(ブイ・他)	③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	④球管類(電球・蛍光灯管)	その他(①～④以外の人工物)		
日本製	0.5		0.05			0.55	0.9
中国製	10.8		0.92			11.72	19.5
韓国製	1.9		0.16			2.06	3.4
台湾製	0.0		0.0			0.00	0.0
他外国製	0.0		0.0			0.00	0.0
不明	3.3	22.1	0.27	0.1	20.0	45.77	76.2
総計	16.5	22.1	1.4	0.1	20.0	60.1	100

(d)座間味島阿真ビーチ:漂着ゴミ量の国籍別量とその比率							
国籍区分	各種漂着ゴミの国籍別漂着質量(kg)					国籍別累計量	国籍別比率 (%)
	①プラスチック類	②発泡スチロール類(ブイ・他)	③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	④球管類(電球・蛍光灯管)	その他(①～④以外の人工物)		
日本製	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
中国製	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
韓国製	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
台湾製	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
他外国製	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
不明	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	100
総計	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	100

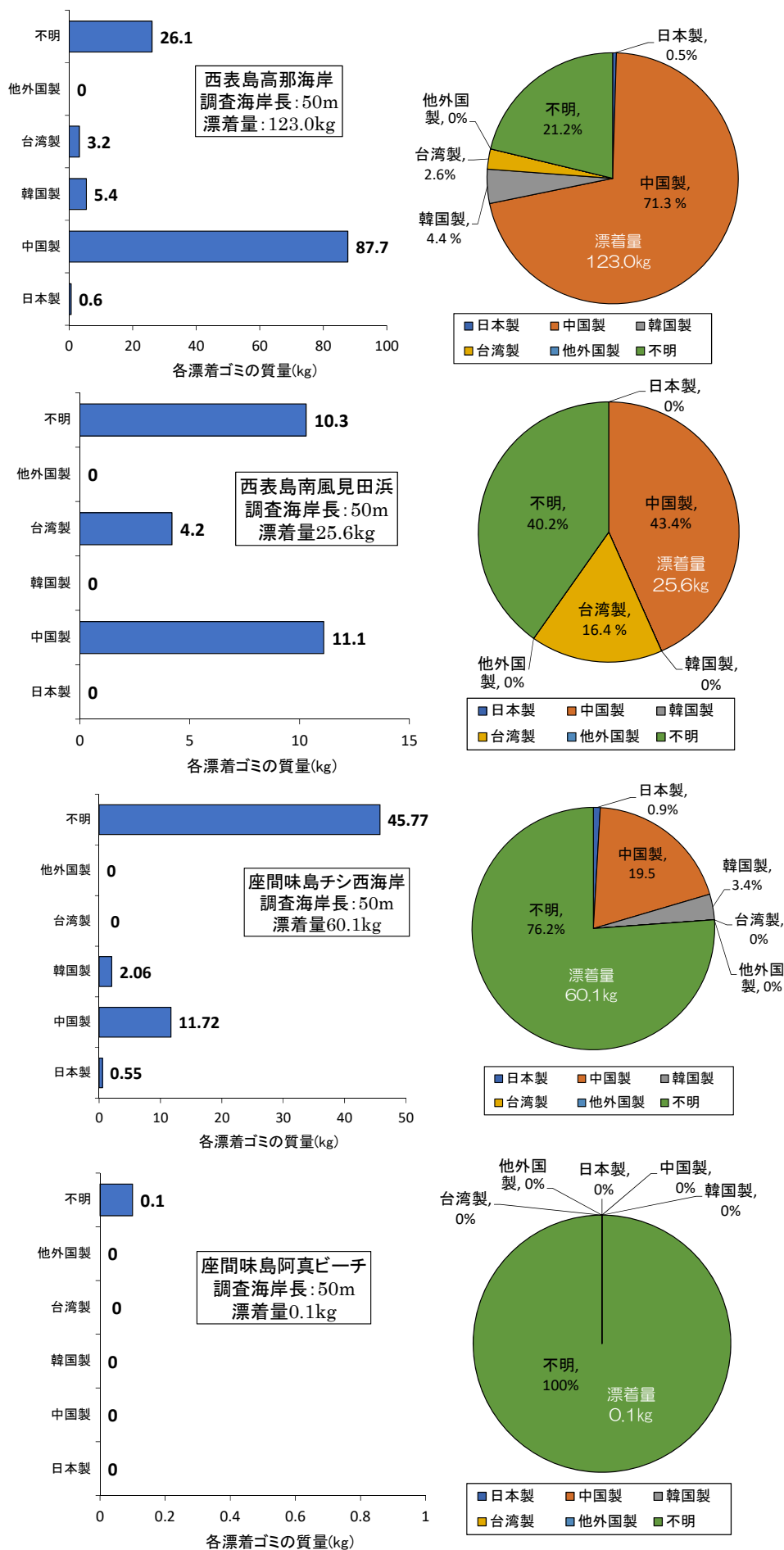


図 2-3 解析モデルに導入する対象 4 海岸での漂着ゴミ量の国籍別状況

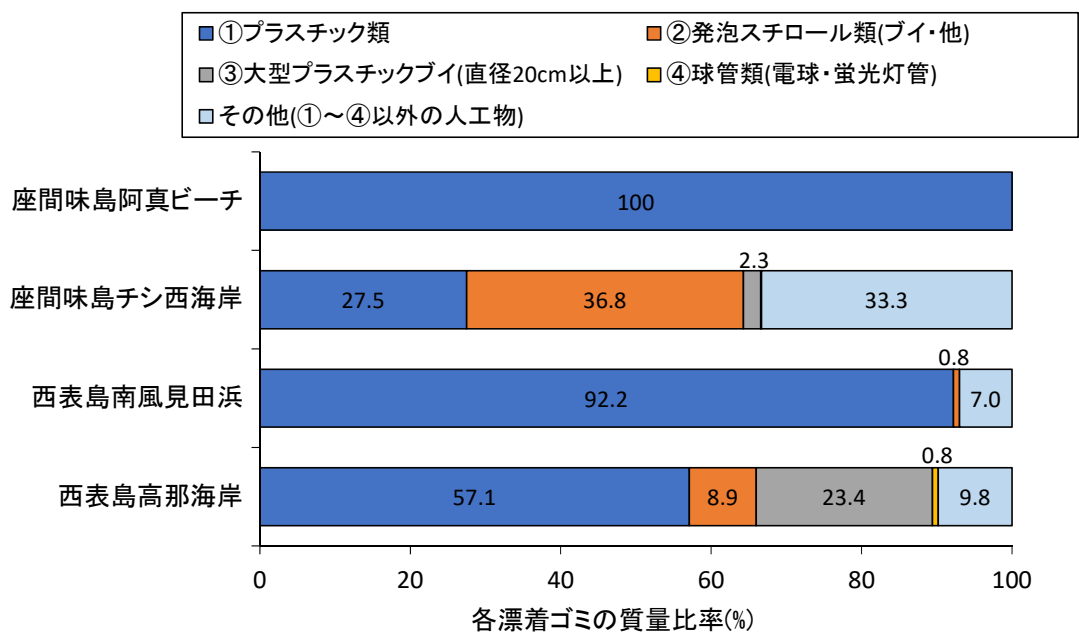
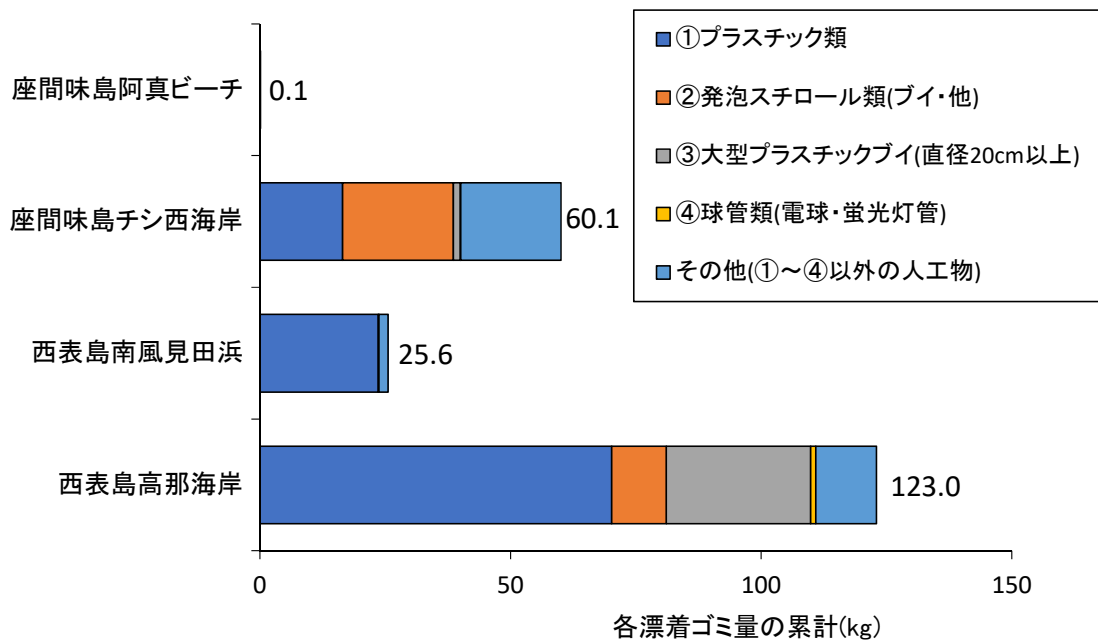


図 2-4 解析モデルに導入する対象 4 海岸の漂着ゴミ量の状況比較

3. 各タイプの漂着ゴミ(種類・国籍)に関する潜在的溶出係数の設定

本評価モデルでの解析対象とする漂着ゴミの種類は、プラスチック類、発泡スチロール類(ブイ・他)、大型プラスチックブイ(直径 20cm 以上)、ビン類(金属製キャップ)、電球類、蛍光灯管類の 6 種類であるあるが(写真 3-1)、前節で表記したように、今回は、①プラスチック類、②発泡スチロール類、③大型プラスチックブイ、④球管類(電球・蛍光灯管)の 4 種類とし、電球と蛍光灯管は区分せず球管類として扱うことにする。



写真 3-1 評価モデルで対象とする主要な漂着ゴミの種類

ここでは対象とする重金属類等の有害化学物質の潜在的溶出係数は、海洋漂着ゴミの種類と国籍に応じて溶出試験を実施し、抽出した溶媒液を原子吸光分析法によって定量的に算定している。既に、筆者は多数の漂着ゴミサンプルについて有害化学物質の溶出性の評価を試みてきた。その一連の成果は平成 26 年度成果報告として作成した『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』(2015 年 2 月報告)で詳述している。

その分析成果から引用して、各種漂着ゴミからの重金属類等の溶出量を、それぞれ漂着ゴミ量 1kg 当たりの溶出量(μg)として、潜在的溶出量($\mu\text{g}/\text{kg}$)を算定している。通常、重金属類の溶出性は溶媒液の酸性度

表 3-1 各漂着ゴミにおける溶出試験での溶媒液の pH

解析対象漂着ゴミの種類	溶出試験での溶媒液の pH
①プラスチック類	5.84
②発泡スチロール類(ブイ・他)	5.93
③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)	5.84
④球管類(電球・蛍光灯管)	5.93

(pH)に左右され、酸性度の高い(pH が小値)溶媒液ほど溶出性は高くなる傾向にあることから、成果報告書では海生生物等の体内への取り込みや酸性雨などを考慮して、海洋漂着ゴミからの重金属類等の溶出性について、既に、pH の影響についても検討している。ここでは、昨年の座間味島ニタ海岸での適用事例と同様に、対象とした海洋漂着ゴミにおいて、ほぼ類似した pH5.84 と pH5.93 での分析結果で得られた潜在的溶出係数を引用することに

した(表 3-1)。溶出試験や分析方法については成果報告書に記述しているが、「環告 46 号」に準拠し、溶媒液の pH は脱イオン水に塩化水素(HCl)を添加することによって調製している。

本評価モデルに導入する一連の重金属類等の有害化学物質の潜在的溶出係数を表 3.2～表 3.5 にまとめている。プラスチック類(表 3-2)と大型プラスチックブイ(表 3-4)では 13 元素成分とし、しかも国籍別に設定している。発泡スチロール類(表 3-3)では Sb, Ba, Ti を除いた 10 元素成分、球管類の電球類と蛍光灯管類(表 3-5)に関してはいずれも Sn, Ba, Ti を除いた 10 元素成分を対象としている。なお、上述したように、今回は電球と蛍光灯管の区別なく漂着量が調査されているため、電球類と蛍光灯管類の平均値を用いて、球管類の潜在的溶出量を設定している。

国籍区分したプラスチック類と大型プラスチックブイでの不明ゴミの潜在的溶出係数は、各国籍での漂着ゴミ量(W^(s))を考慮した加重平均によって算定している。但し、国籍別質量がゼロの場合には、下記式より算定できないので、便宜的に各国籍での平均値を用いることとした。

表 3-2 各対象海岸におけるプラスチック類の潜在的溶出係数

西表島高那海岸:プラスチック類国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{AOX(j)} = \alpha^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb $\alpha_{\text{Pb(X)}}$	Cr $\alpha_{\text{Cr(X)}}$	Cd $\alpha_{\text{Cd(X)}}$	As $\alpha_{\text{As(X)}}$	Sb $\alpha_{\text{Sb(X)}}$	Zn $\alpha_{\text{Zn(X)}}$	Cu $\alpha_{\text{Cu(X)}}$	Ni $\alpha_{\text{Ni(X)}}$	Mn $\alpha_{\text{Mn(X)}}$	Al $\alpha_{\text{Al(X)}}$	Sn $\alpha_{\text{Sn(X)}}$	Ba $\alpha_{\text{Ba(X)}}$	Ti $\alpha_{\text{Ti(X)}}$
日本製(J)	2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
中国製(C)	5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
台湾製(T)	11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
韓国製(K)	7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
他外国製(O)	9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
不明(U)	5.46	8.40	0.00	2.90	4.76	83.68	39.98	32.37	268.22	519.24	0.55	122.98	9.56

西表島南風見田浜:プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{AOX(j)} = \alpha^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb $\alpha_{\text{Pb(X)}}$	Cr $\alpha_{\text{Cr(X)}}$	Cd $\alpha_{\text{Cd(X)}}$	As $\alpha_{\text{As(X)}}$	Sb $\alpha_{\text{Sb(X)}}$	Zn $\alpha_{\text{Zn(X)}}$	Cu $\alpha_{\text{Cu(X)}}$	Ni $\alpha_{\text{Ni(X)}}$	Mn $\alpha_{\text{Mn(X)}}$	Al $\alpha_{\text{Al(X)}}$	Sn $\alpha_{\text{Sn(X)}}$	Ba $\alpha_{\text{Ba(X)}}$	Ti $\alpha_{\text{Ti(X)}}$
日本製(J)	2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
中国製(C)	5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
台湾製(T)	11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
韓国製(K)	7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
他外国製(O)	9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
不明(U)	6.91	8.28	0.00	3.23	9.77	99.46	41.45	38.44	378.79	597.57	0.44	105.03	9.77

座間味島チシ西海岸:プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{AOX(j)} = \alpha^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb $\alpha_{\text{Pb(X)}}$	Cr $\alpha_{\text{Cr(X)}}$	Cd $\alpha_{\text{Cd(X)}}$	As $\alpha_{\text{As(X)}}$	Sb $\alpha_{\text{Sb(X)}}$	Zn $\alpha_{\text{Zn(X)}}$	Cu $\alpha_{\text{Cu(X)}}$	Ni $\alpha_{\text{Ni(X)}}$	Mn $\alpha_{\text{Mn(X)}}$	Al $\alpha_{\text{Al(X)}}$	Sn $\alpha_{\text{Sn(X)}}$	Ba $\alpha_{\text{Ba(X)}}$	Ti $\alpha_{\text{Ti(X)}}$
日本製(J)	2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
中国製(C)	5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
台湾製(T)	11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
韓国製(K)	7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
他外国製(O)	9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
不明(U)	5.38	8.16	0.00	2.87	3.83	79.01	40.13	33.93	247.67	506.42	0.50	119.07	9.07

座間味島阿真ビーチ:プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{AOX(j)} = \alpha^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb $\alpha_{\text{Pb(X)}}$	Cr $\alpha_{\text{Cr(X)}}$	Cd $\alpha_{\text{Cd(X)}}$	As $\alpha_{\text{As(X)}}$	Sb $\alpha_{\text{Sb(X)}}$	Zn $\alpha_{\text{Zn(X)}}$	Cu $\alpha_{\text{Cu(X)}}$	Ni $\alpha_{\text{Ni(X)}}$	Mn $\alpha_{\text{Mn(X)}}$	Al $\alpha_{\text{Al(X)}}$	Sn $\alpha_{\text{Sn(X)}}$	Ba $\alpha_{\text{Ba(X)}}$	Ti $\alpha_{\text{Ti(X)}}$
日本製(J)	2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
中国製(C)	5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
台湾製(T)	11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
韓国製(K)	7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
他外国製(O)	9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
不明(U)	7.24	12.17	0.05	3.17	7.70	79.50	44.75	47.20	425.88	602.79	0.16	85.57	7.60

表 3-3 各対象海岸における発泡スチロール類の潜在的溶出係数

西表島高那海岸:発泡スチロール類の潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.93)												
各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX(j)} = \beta^A(j)$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
β^{Pb}	β^{Cr}	β^{Cd}	β^{As}	β^{Sb}	β^{Zn}	β^{Cu}	β^{Ni}	β^{Mn}	β^{Al}	β^{Sn}	β^{Ba}	β^{Ti}
261.14	297.43	11.76	303.99	—	3286.38	324.69	227.31	579.88	40705.36	41.38	—	—

西表島南風見田浜:発泡スチロール類の潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.93)												
各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX(j)} = \beta^A(j)$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
β^{Pb}	β^{Cr}	β^{Cd}	β^{As}	β^{Sb}	β^{Zn}	β^{Cu}	β^{Ni}	β^{Mn}	β^{Al}	β^{Sn}	β^{Ba}	β^{Ti}
137.40	31.09	78.47	154.59	—	473.32	223.75	182.16	230.72	2269.05	60.45	—	—

座間味島チシ西海岸:発泡スチロール類の潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.93)												
各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX(j)} = \beta^A(j)$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
β^{Pb}	β^{Cr}	β^{Cd}	β^{As}	β^{Sb}	β^{Zn}	β^{Cu}	β^{Ni}	β^{Mn}	β^{Al}	β^{Sn}	β^{Ba}	β^{Ti}
57.82	77.79	60.29	765.51	—	774.37	499.39	627.76	95.76	1931.31	174.80	—	—

座間味島阿真ビーチ:発泡スチロール類の潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.93)												
各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX(j)} = \beta^A(j)$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
β^{Pb}	β^{Cr}	β^{Cd}	β^{As}	β^{Sb}	β^{Zn}	β^{Cu}	β^{Ni}	β^{Mn}	β^{Al}	β^{Sn}	β^{Ba}	β^{Ti}
57.82	77.79	60.29	765.51	—	774.37	499.39	627.76	95.76	1931.31	174.80	—	—

表 3-4 各対象海岸における大型プラスチック類の潜在的溶出係数

西表島高那海岸:大型プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX(j)} = \gamma^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
	$\gamma^{Pb(X)}$	$\gamma^{Cr(X)}$	$\gamma^{Cd(X)}$	$\gamma^{As(X)}$	$\gamma^{Sb(X)}$	$\gamma^{Zn(X)}$	$\gamma^{Cu(X)}$	$\gamma^{Ni(X)}$	$\gamma^{Mn(X)}$	$\gamma^{Al(X)}$	$\gamma^{Sn(X)}$	$\gamma^{Ba(X)}$	$\gamma^{Ti(X)}$
日本製(J)	4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
中国製(C)	5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84
台湾製(T)	2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
韓国製(K)	7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05
他外国製	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
不明(U)	5.10	8.94	1.14	6.76	39.18	286.76	59.87	31.02	562.47	420.17	0.51	209.23	5.62

西表島南風見田浜:大型プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX(j)} = \gamma^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
	$\gamma^{Pb(X)}$	$\gamma^{Cr(X)}$	$\gamma^{Cd(X)}$	$\gamma^{As(X)}$	$\gamma^{Sb(X)}$	$\gamma^{Zn(X)}$	$\gamma^{Cu(X)}$	$\gamma^{Ni(X)}$	$\gamma^{Mn(X)}$	$\gamma^{Al(X)}$	$\gamma^{Sn(X)}$	$\gamma^{Ba(X)}$	$\gamma^{Ti(X)}$
日本製(J)	4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
中国製(C)	5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84
台湾製(T)	2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
韓国製(K)	7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05
他外国製	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
不明(U)	4.86	11.57	4.69	3.75	23.60	179.64	50.44	18.07	296.27	446.49	0.81	153.43	9.19

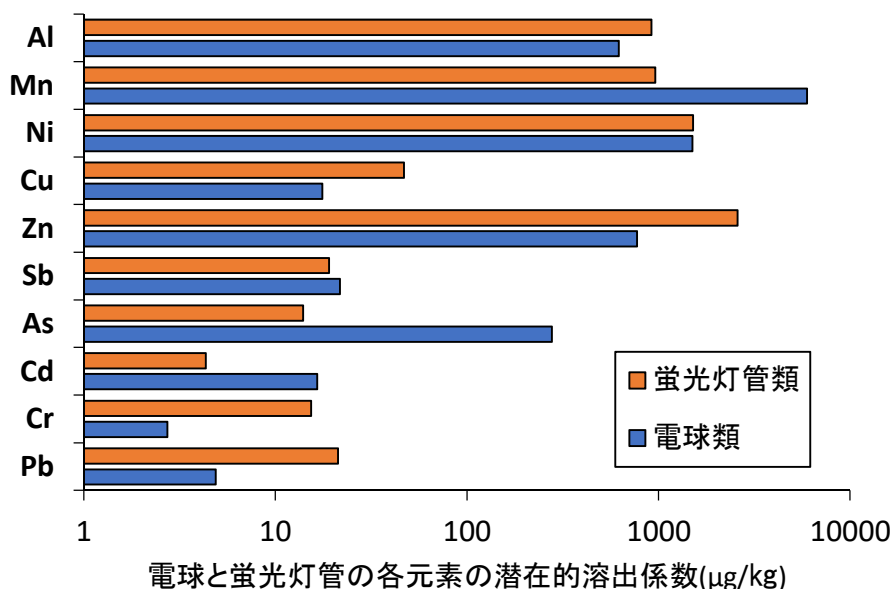
座間味島チシ西海岸:大型プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX(j)} = \gamma^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
	$\gamma^{Pb(X)}$	$\gamma^{Cr(X)}$	$\gamma^{Cd(X)}$	$\gamma^{As(X)}$	$\gamma^{Sb(X)}$	$\gamma^{Zn(X)}$	$\gamma^{Cu(X)}$	$\gamma^{Ni(X)}$	$\gamma^{Mn(X)}$	$\gamma^{Al(X)}$	$\gamma^{Sn(X)}$	$\gamma^{Ba(X)}$	$\gamma^{Ti(X)}$
日本製(J)	4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
中国製(C)	5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84
台湾製(T)	2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
韓国製(K)	7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05
他外国製	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
不明(U)	5.39	9.03	1.70	6.54	35.40	258.38	64.80	29.87	546.18	441.17	0.50	201.17	5.97

座間味島阿真ビーチ:大型プラスチック類の国籍別に算定した潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.84)													
国籍区分	各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX(j)} = \gamma^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
	$\gamma^{Pb(X)}$	$\gamma^{Cr(X)}$	$\gamma^{Cd(X)}$	$\gamma^{As(X)}$	$\gamma^{Sb(X)}$	$\gamma^{Zn(X)}$	$\gamma^{Cu(X)}$	$\gamma^{Ni(X)}$	$\gamma^{Mn(X)}$	$\gamma^{Al(X)}$	$\gamma^{Sn(X)}$	$\gamma^{Ba(X)}$	$\gamma^{Ti(X)}$
日本製(J)	4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
中国製(C)	5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84
台湾製(T)	2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
韓国製(K)	7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05
他外国製	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
不明(U)	4.86	11.57	4.69	3.75	23.60	179.64	50.44	18.07	296.27	446.49	0.81	153.43	9.19

表 3-5 各対象海岸における球管類(電球・蛍光灯管)の潜在的溶出係数

球管類(電球・蛍光灯管)の各元素成分の潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.93)									
各元素成分の潜在的溶出係数 $\delta^{A(X)(j)} = \delta^A (\mu\text{g/kg})$									
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al
δ^{Pb}	δ^{Cr}	δ^{Cd}	δ^{As}	δ^{Sb}	δ^{Zn}	δ^{Cu}	δ^{Ni}	δ^{Mn}	δ^{Al}
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58

電球類と蛍光灯管類の各元素成分の潜在的溶出係数(溶媒液: pH=5.93)										
球管類(δ^A)	各元素成分の潜在的溶出係数 $\delta^{A(X)(j)} = \delta^A (\mu\text{g/kg})$									
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al
	δ^{Pb}	δ^{Cr}	δ^{Cd}	δ^{As}	δ^{Sb}	δ^{Zn}	δ^{Cu}	δ^{Ni}	δ^{Mn}	δ^{Al}
電球類(δ_1^A)	4.88	2.73	16.53	277.82	21.71	772.20	17.59	1503.31	5959.98	621.46
蛍光灯管類(δ_2^A)	21.24	15.41	4.33	13.96	19.10	2583.54	46.89	1517.42	963.07	917.69
平均値(電球・蛍光灯管)	13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58



プラスチック類の場合の不明ゴミ

$$\text{潜在的溶出係数: } \alpha^{A(U)} = \{\alpha^{A(J)}M_{\alpha}^J + \alpha^{A(C)}M_{\alpha}^C + \alpha^{A(T)}M_{\alpha}^T + \alpha^{A(K)}M_{\alpha}^K + \alpha^{A(O)}M_{\alpha}^O\} / \{M_{\alpha} - M_{\alpha}^U\}$$

$$\text{国籍の質量: } M_{\alpha} = M_{\alpha}^J + M_{\alpha}^C + M_{\alpha}^T + M_{\alpha}^K + M_{\alpha}^O + M_{\alpha}^U$$

大型プラスチックブイの場合の不明ゴミ

$$\text{潜在的溶出係数: } \gamma^{A(U)} = \{\gamma^{A(J)}M_{\gamma}^J + \gamma^{A(C)}M_{\gamma}^C + \gamma^{A(T)}M_{\gamma}^T + \gamma^{A(K)}M_{\gamma}^K + \gamma^{A(O)}M_{\gamma}^O\} / \{M_{\gamma} - M_{\gamma}^U\}$$

$$\text{国籍の質量: } M_{\gamma} = M_{\gamma}^J + M_{\gamma}^C + M_{\gamma}^T + M_{\gamma}^K + M_{\gamma}^O + M_{\gamma}^U$$

なお、プラスチック類、大型プラスチックブイ、球管類での潜在的溶出係数は、漂流中の吸着物質をクリーンに洗浄したものを使用して溶出試験を実施し成分分析しているので、添加剤や成形助剤等として添加された含有成分を評価することになる。一方、発泡スチロール類の場合には、多孔質であることから漂流中の吸着性を考慮して、漂着したものをそのまま使用し(洗浄しない)して分析し、海岸ごとに算定する(漂着経路や漂着期間などの経

これまでの対象海岸で分析した発泡スチロール片の有害元素の溶出量一覧												
島・市名等	海岸名	採取年月日	発泡スチロール片1kg当たりからの元素溶出量 (μg/kg)									
			Ni	Cu	Mn	Cr	As	Al	Pb	Zn	Cd	Sn
渡名喜島	海岸一帯①	2008.4.8	486.6	661.4	100.4	96.2	883.0	960.6	56.7	1080.3	99.9	288.6
渡名喜島	東側海岸一帯	2008.4.8	768.9	337.4	91.1	59.4	648.0	2902.0	58.9	468.5	20.6	61.0
		平均値	627.76	499.39	95.76	77.79	765.51	1931.31	57.82	774.37	60.29	174.80
西表島	南風見田浜	2008.2.28	158.6	220.1	68.6	30.8	115.1	2641.9	178.3	563.9	57.1	16.0
西表島	南風見田浜	2008.3.30	205.7	227.4	392.9	31.3	194.1	1896.2	96.5	382.8	99.8	104.9
		平均値	182.16	223.75	230.72	31.09	154.59	2269.05	137.40	473.32	78.47	60.45
西表島	高那海岸	2008.3.29	132.4	415.9	113.2	34.0	37.5	6462.6	115.5	553.6	23.0	9.2
西表島	高那海岸	2009.3.29	250.5	246.5	362.3	230.8	357.2	31556.6	189.6	1154.1	13.0	41.4
西表島	高那海岸	2010.4.5	205.4	322.9	726.2	547.6	387.1	75823.0	466.1	6135.9	3.8	45.6
西表島	高那海岸	2010.4.5	321.0	313.5	1117.8	377.3	434.2	48979.3	273.4	5302.0	7.2	69.3
		平均値	227.31	324.69	579.88	297.43	303.99	40705.36	261.14	3286.38	11.76	41.38

注: 渡名喜島での平均値は座間味島でのチシ西海岸と阿真ビーチでの潜在的溶出係数として用いる(H30年度専門家会議資料2-2と同様)

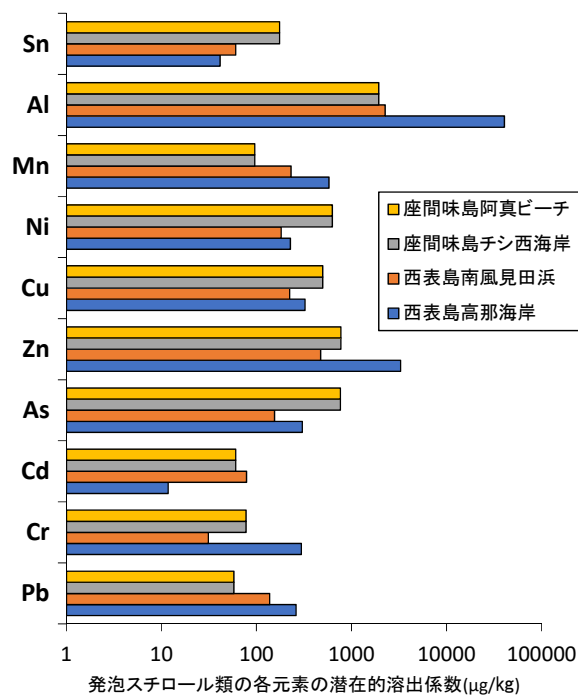


図 3-1 漂着サンプルの成分分析に基づいて対象海岸ごとに設定した発泡スチロール類の潜在的溶出係数

跡が異なるため)ことにしている。

そこで、西表島の高那海岸と南風見田浜での発泡スチロール類の各元素成分の潜在的溶出係数は、それぞれ 4 サンプルと 2 サンプルの成分分析による平均値を用いている。また座間味島のチシ西海岸と阿真ビーチの場合には、両海岸で採取した漂着発泡スチロールサンプルについての分析結果がないので、昨年度の座間味島ニタ海岸の場合と同様に、発泡スチロール類の潜在的溶出係数は、西方沖合に近接する渡名喜島の海岸で採取した 2 サンプルでの平均値を引用している(図 3-1)。

4. 本評価モデルによる有害化学物質の潜在的溶出量の算定解析フロー

先の専門家委員会(2019.2.22)での会議資料として提出した『海岸漂着ゴミから溶出する有害化学物質の潜在的ポテンシャルの評価～定量的広域評価モデルの適用方針～』で詳述しているが、海岸に打ち上がる漂着ゴミの数量、種類、国籍などを考慮し、漂着ゴミに起因する種々の有害化学物質の潜在的な溶出性をトータル的に定量評価する本モデルは、調査海岸を一単位として、海岸を累積することで、海岸域(例えば、島単位)や調査範囲(例えば、諸島単位)などで拡張して推定が可能となる構成式となっており、潜在的な溶出ポテンシャルを広域的に検討するのに有効となる(図 4-1)。

前回の専門家会議会(資料 2-2, 2019.3.25)では、既に、座間味島ニタ海岸(1 調査海岸)の場合について、本評価モデルの構成ステップに基づいた算定解析フローの事例を提示しているが、以下に再度略説する。

表 2-4(a)に既述した 4 種類(①～④)のタイプの漂着ゴミ量を対象として、表 3-2～表 3.5 に記した有害化学物質の潜在溶出係数を本評価モデルに適用することによって、調査海岸長 0.05km(50m)に亘って 2 ヶ月間(60 日)

に打ち上がり堆積した海洋漂着ゴミによる各種有害化学物質のトータル的な評価が可能となる。同表には、①プラスチック類(T_{α})、②発泡スチロール類(T_{β})、③大型プラスチックブイ(T_{γ})、④球管類(電球・蛍光灯管 T_{δ})の 4 タイプの海洋漂着ゴミについて、それぞれ有害化学物質の潜在的溶出量の算定解析フローを明示している。ここでは、調査海岸長(0.05km)での各タイプの漂着ゴミ量に加え、海岸長 100m 当たりと漂着ゴミ量 1kg 当たりの潜在的溶出量の算定を試みている。

以下に、本評価モデルでの解析フローによる算定結果を、西表島の高那海岸と南風見田浜、座間味島のチシ西海岸と阿真ビーチの対象 4 海岸の場合について、それぞれ表 4-1～表 4-4 に提示している。

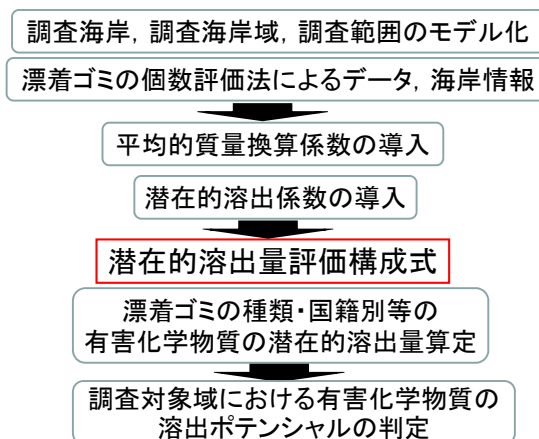


図 4-1 本評価モデルの概念フロー

表 4-1 西表島高那海岸での海洋漂着ゴミからの有害化学物質の潜在的溶出量の算定解析フロー
 (調査海岸長：0.05 km, 漂着ゴミ量：2019年12月～2020年2月間の2か月間(60日)の漂着量)

1)プラスチック類(T_α)の算定解析																		
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)												
(j)	(i)			$l(j)_i$ (km)	$\Sigma l(j)_i$ (km)	$\Sigma M^{AOX}(j)_i$ (kg) = $\Sigma p(j)_i^X$ (個) $\cdot m_\alpha^X$ (kg/個)												
西表島 j=1 i=1	i=1	高那海岸	2019年12月 ～ 2020年2月	0.05	0.05	<table border="1"> <tr><td>日本製(J)</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>中国製(C)</td><td>62.2</td></tr> <tr><td>台湾製(T)</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>韓国製(K)</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>他外国製(O)</td><td>0</td></tr> <tr><td>不明(U)</td><td>1.5</td></tr> </table>	日本製(J)	0.4	中国製(C)	62.2	台湾製(T)	2.3	韓国製(K)	3.8	他外国製(O)	0	不明(U)	1.5
日本製(J)	0.4																	
中国製(C)	62.2																	
台湾製(T)	2.3																	
韓国製(K)	3.8																	
他外国製(O)	0																	
不明(U)	1.5																	
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	70.2												

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{AOX}(j)_i = \alpha^{AOX}$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
5.46	8.40	0.00	2.90	4.76	83.68	39.98	32.37	268.22	519.24	0.55	122.98	9.56

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i \cdot \alpha^{AOX}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.93	3.66	0.00	1.03	1.36	11.82	14.62	26.14	243.53	186.54	0.04	1.43	3.56
317.79	536.80	0.00	176.09	263.50	5130.86	2453.53	1882.81	16359.51	31666.45	37.82	7977.53	613.57
26.82	16.93	0.00	9.88	56.15	331.95	107.49	138.10	1574.93	1912.11	0.00	100.36	21.92
29.40	19.76	0.00	11.96	6.24	274.46	170.93	176.46	248.51	1906.37	0.00	369.47	17.56
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.19	12.60	0.00	4.34	7.15	125.53	59.97	48.55	402.32	778.85	0.83	184.47	14.34
383.13	589.74	0.00	203.31	334.40	5874.61	2806.53	2272.06	18828.80	36450.33	38.69	8633.26	670.95

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i \alpha$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
383.13	589.74	0.00	203.31	334.40	5874.61	2806.53	2272.06	18828.80	36450.33	38.69	8633.26	670.95

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* \alpha = d^A(j)_i \alpha / \Sigma l(j)_i$ ($\mu\text{g}/100\text{m}$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
766.26	1179.49	0.00	406.62	668.80	11749.23	5613.07	4544.12	37657.60	72900.66	77.38	17266.52	1341.90

プラスチック類の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* \alpha = d^A(j)_i \alpha / \Sigma M^{AOX}(j)_i$ ($\mu\text{g}/\text{kg}$) :調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
5.46	8.40	0.00	2.90	4.76	83.68	39.98	32.37	268.22	519.24	0.55	122.98	9.56

2)発泡スチロール類(プラ・他)(T_β)の算定解析

調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での漂着質量(kg)	
(j)	(i)			l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^x (個)・m _β ^x (kg/個)	
西表島 j=1 i=1	i=1	高那海岸	2019年12月 ~ 2020年2月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)	
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	10.9	

各元素成分の潜在的溶出係数 β ^{AOX} (j) _i = β ^A (μg/kg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
261.14	297.43	11.76	303.99	—	3286.38	324.69	227.31	579.88	40705.36	41.38	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 Σ M ^{AOX} (j) _i (kg)・β ^{AOX} (j) _i (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2846.43	3241.97	128.14	3313.51	—	35821.57	3539.14	2477.64	6320.65	443688.46	451.06	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j) _i β (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2846.43	3241.97	128.14	3313.51	—	35821.57	3539.14	2477.64	6320.65	443688.46	451.06	—	—

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j) _i * β = d ^A (j) _i β / Σ l(j) _i (μg/100m)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
5692.85	6483.95	256.28	6627.02	—	71643.14	7078.27	4955.28	12641.30	887376.92	902.11	—	—

発泡スチロール類(プラ・他)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j) _i * β = d ^A (j) _i β / Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) (μg/kg) : 調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
261.14	297.43	11.76	303.99	—	3286.38	324.69	227.31	579.88	40705.36	41.38	—	—

3)大型プラスチックブイ(直径20cm以上)(T _γ)の算定解析							
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	
(j)	(i)			l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg)=Σ p(j) _i ^x (個)・m _γ ^x (kg/個)	
西表島 j=1 i=1	i=1	高那海岸	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.2
			~			中国製(C)	25.5
			2020年2月			台湾製(T)	0.9
						韓国製(K)	1.6
						他外国製(O)	0.0
						不明(U)	0.6
小計			2ヶ月間	0.05	0.05		28.8

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX}(j)_i = \gamma^{AOX} (\mu\text{g}/\text{kg})$													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07	
5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84	
2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79	
7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5.10	8.94	1.14	6.76	39.18	286.76	59.87	31.02	562.47	420.17	0.51	209.23	5.62	

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(\text{kg}) \cdot \gamma^{AOX}(j)_i (\mu\text{g})$													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
0.98	3.72	3.52	0.47	3.56	16.61	3.74	3.31	44.05	82.18	0.14	23.93	0.81	
129.18	226.80	28.70	182.08	1067.54	7732.32	1491.57	839.50	15240.69	10457.76	12.00	5531.72	123.38	
1.87	10.78	0.00	0.99	27.90	249.31	8.18	5.68	13.71	302.15	1.30	127.00	13.31	
11.82	10.94	0.00	7.02	5.94	88.44	184.75	26.36	563.09	1006.79	1.00	217.65	20.88	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3.06	5.37	0.69	4.05	23.51	172.06	35.92	18.61	337.48	252.10	0.31	125.54	3.37	
146.91	257.60	32.91	194.62	1128.46	8258.74	1724.16	893.46	16199.02	12100.98	14.76	6025.83	161.76	

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i \gamma (\mu\text{g})$													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
146.91	257.60	32.91	194.62	1128.46	8258.74	1724.16	893.46	16199.02	12100.98	14.76	6025.83	161.76	

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* \gamma = d^A(j)_i \gamma / \Sigma l(j)_i (\mu\text{g}/100\text{m})$													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
293.82	515.19	65.82	389.24	2256.93	16517.49	3448.33	1786.92	32398.04	24201.97	29.51	12051.66	323.51	

大型プラスチックブイ(直径20cm以上)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* \gamma = d^A(j)_i \gamma / \Sigma M^{AOX}(j)_i(\text{kg}) (\mu\text{g}/\text{kg})$: 調査範囲0.05km													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
5.10	8.94	1.14	6.76	39.18	286.76	59.87	31.02	562.47	420.17	0.51	209.23	5.62	

4)球管類(Tδ)(電球・蛍光灯管)の算定解析						
調査海岸域 (j)	調査海岸番号 (i)	調査海岸名	調査期間	調査海岸長 l(j) _i (km)	調査海岸域長 Σl(j) _i (km)	調査海岸での漂着質量(kg) ΣM ^{AOX} (j) _i (kg)=Σp(j) _i ^x (個)・m _δ ^x (kg/個)
西表島 j=1 i=1	i=1	高那海岸	2019年12月 ~ 2020年2月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ) 1.0
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	1.0

各元素成分の潜在的溶出係数 δ ^{AOX} (j) _i = δ ^A (μg/kg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 ΣM ^{AOX} (j) _i (kg)・δ ^{AOX} (j) _i (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j) _i δ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

調査海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j) _i * δ = d ^A (j) _i δ / Σl(j) _i (μg/100m)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
26.12	18.14	20.86	291.78	40.81	3355.74	64.48	3020.73	6923.05	1539.15	—	—	—

球管類(電球・蛍光灯管)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j) _i * δ = d ^A (j) _i δ / ΣM ^{AOX} (j) _i (kg) (μg/kg) : 調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

表 4-2 西表島南風見田浜での海洋漂着ゴミからの有害化学物質の潜在的溶出量の算定解析フロー
 (調査海岸長：0.05 km，漂着ゴミ量：2019年12月～2020年2月間の2か月間(60日)の漂着量)

1)プラスチック類(T_{α})の算定解析											
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)					
(j)	(i)			$l(j)_i$ (km)	$\Sigma l(j)_i$ (km)	$\Sigma M^{A(X)}(j)_i(kg) = \Sigma p(j)_i^X$ (個) $\cdot m_{\alpha}^X$ (kg/個)					
西表島 j=1 i=2	i=2	南風見田浜	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.0				
			~			中国製(C)	11.1				
			2020年2月			台湾製(T)	0.0				
						韓国製(K)	4.2				
						他外国製(O)	0.0				
小計						2ヶ月間	0.05	0.05	不明(U)	8.3	23.6

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{A(X)}(j)_i = \alpha^{A(X)}$ ($\mu g/kg$)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91	
5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86	
11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53	
7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62	
9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08	
6.91	8.28	0.00	3.23	9.77	99.46	41.45	38.44	378.79	597.57	0.44	105.03	9.77	

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{A(X)}(j)_i(kg) \cdot \alpha^{A(X)}(j)_i$ (μg)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56.71	95.80	0.00	31.42	47.02	915.64	437.85	336.00	2919.46	5651.09	6.75	1423.64	109.50	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32.49	21.83	0.00	13.22	6.90	303.35	188.93	195.04	274.67	2107.04	0.00	408.36	19.41	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
57.34	68.73	0.00	26.83	81.13	825.56	344.01	319.08	3143.92	4959.80	3.66	871.73	81.11	
146.54	186.36	0.00	71.48	135.05	2044.54	970.78	850.12	6338.05	12717.94	10.41	2703.73	210.02	

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i _{\alpha}$ (μg)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
146.54	186.36	0.00	71.48	135.05	2044.54	970.78	850.12	6338.05	12717.94	10.41	2703.73	210.02	

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\alpha} = d^A(j)_i _{\alpha} / \Sigma l(j)_i$ ($\mu g/100m$)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
293.08	372.73	0.00	142.96	270.11	4089.08	1941.56	1700.24	12676.11	25435.87	20.82	5407.46	420.03	

プラスチック類の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\alpha} = d^A(j)_i _{\alpha} / \Sigma M^{A(X)}(j)_i(kg)$ ($\mu g/kg$) :調査範囲0.05km													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
12.42	15.79	0.00	6.06	11.45	173.27	82.27	72.04	537.12	1077.79	0.88	229.13	17.80	

2)発泡スチロール類(プラ・他)(T_{β})の算定解析

調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での漂着質量(kg)	
(j)	(i)			$l(j)_i$ (km)	$\Sigma l(j)_i$ (km)	$\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) = \Sigma p(j)_i^x$ (個) $\cdot m_{\beta}^x$ (kg/個)	
西表島	i=2	南風見田浜	2019年12月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)	0.2
j=1			~				
i=2			2020年2月				
小計			2ヶ月間	0.05	0.05		0.2

各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX}(j)_i = \beta^A$ ($\mu g/kg$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
137.40	31.09	78.47	154.59	—	473.32	223.75	182.16	230.72	2269.05	60.45	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \beta^{AOX}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
27.48	6.22	15.69	30.92	—	94.66	44.75	36.43	46.14	453.81	12.09	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i _{\beta}$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
27.48	6.22	15.69	30.92	—	94.66	44.75	36.43	46.14	453.81	12.09	—	—

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\beta} = d^A(j)_i _{\beta} / \Sigma l(j)_i$ ($\mu g/100m$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
54.96	12.44	31.39	61.84	—	189.33	89.50	72.86	92.29	907.62	24.18	—	—

発泡スチロール類(プラ・他)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\beta} = d^A(j)_i _{\beta} / \Sigma M^{AOX}(j)_i(kg)$ ($\mu g/kg$) :調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
137.40	31.09	78.47	154.59	—	473.32	223.75	182.16	230.72	2269.05	60.45	—	—

3)大型プラスチックブイ(直径20cm以上)(T _γ)の算定解析							
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	
(j)	(i)			l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^X (個)・m _γ ^X (kg/個)	
西表島	i=2	南風見田浜	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.0
j=1			~			中国製(C)	0.0
i=2			2020年2月			台湾製(T)	0.0
						韓国製(K)	0.0
						他外国製(O)	0.0
						不明(U)	0.0
小計			2ヶ月間	0.05	0.05		0.0

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX}(j)_i = \gamma^{AOX}$ (μg/kg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84
2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.86	11.57	4.69	3.75	23.60	179.64	50.44	18.07	296.27	446.49	0.81	153.43	9.19

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \gamma^{AOX}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

以下算定値すべてゼロ

4)球管類(T _δ)(電球・蛍光灯管)の算定解析							
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での漂着質量(kg)	
(j)	(i)			l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^X (個)・m _δ ^X (kg/個)	
西表島	i=2	南風見田浜	2019年12月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)	0.0
j=1			~				
i=2			2020年2月				
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	0.0	

各元素成分の潜在的溶出係数 $\delta^{AOX}(j)_i = \delta^A$ (μg/kg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \delta^{AOX}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—	—

以下算定値すべてゼロ

表 4-3 座間味島チシ西海岸での海洋漂着ゴミからの有害化学物質の潜在的溶出量の算定解析フロー
 (調査海岸長 : 0.05 km, 漂着ゴミ量 : 2019年12月~2020年2月間の2か月間(60日)の漂着量)

1)プラスチック類(T_{α})の算定解析							
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	
(j)	(i)			l(j), (km)	$\Sigma l(j)$, (km)	$\Sigma M^{A(X)}(j),(kg) = \Sigma p(j)^X$ (個) $\cdot m_{\alpha}^X$ (kg/個)	
座間味島	i=1	チシ西海岸	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.5
j=2			~			中国製(C)	10.8
i=1			2020年2月			台湾製(T)	0.0
						韓国製(K)	1.9
						他外国製(O)	0.0
小計		2ヶ月間	0.05	0.05	不明(U)	3.3	
							16.5

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\alpha^{A(X)}(j)_i = \alpha^{A(X)}$ ($\mu g/kg$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
5.38	8.16	0.00	2.87	3.83	79.01	40.13	33.93	247.67	506.42	0.50	119.07	9.07

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{A(X)}(j),(kg) \cdot \alpha^{A(X)}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
1.16	4.58	0.00	1.29	1.70	14.77	18.27	32.67	304.41	233.17	0.05	1.78	4.45
55.18	93.21	0.00	30.58	45.75	890.89	426.01	326.92	2840.56	5498.36	6.57	1385.17	106.54
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14.70	9.88	0.00	5.98	3.12	137.23	85.47	88.23	124.26	953.19	0.00	184.74	8.78
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.76	26.92	0.00	9.46	12.64	260.72	132.44	111.96	817.31	1671.18	1.66	392.92	29.94
88.80	134.58	0.00	47.31	63.22	1303.61	662.19	559.78	4086.53	8355.89	8.28	1964.60	149.71

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i _{\alpha}$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
88.80	134.58	0.00	47.31	63.22	1303.61	662.19	559.78	4086.53	8355.89	8.28	1964.60	149.71

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\alpha} = d^A(j)_i _{\alpha} / \Sigma l(j)_i$ ($\mu g/100m$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
177.60	269.15	0.00	94.62	126.45	2607.23	1324.38	1119.55	8173.06	16711.78	16.55	3929.21	299.42

プラスチック類の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\alpha} = d^A(j)_i _{\alpha} / \Sigma M^{A(X)}(j),(kg)$ ($\mu g/kg$) : 調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
5.38	8.16	0.00	2.87	3.83	79.01	40.13	33.93	247.67	506.42	0.50	119.07	9.07

2)発泡スチロール類(プラ・他)(T_{β})の算定解析							
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での漂着質量(kg)	
(j)	(i)			$l(j)_i$ (km)	$\Sigma l(j)_i$ (km)	$\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) = \Sigma p(j)_i^X$ (個) $\cdot m_{\beta}^X$ (kg/個)	
座間味島	i=1	チシ西海岸	2019年12月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)	22.1
j=2			~				
i=1			2020年2月				
小計			2ヶ月間	0.05	0.05		22.1

各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX}(j)_i = \beta^A$ ($\mu g/kg$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
57.82	77.79	60.29	765.51	—	774.37	499.39	627.76	95.76	1931.31	174.80	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \beta^{AOX}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
1277.84	1719.25	1332.38	16917.78	—	17113.54	11036.49	13873.56	2116.23	42681.90	3863.02	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i _{\beta}$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
1277.84	1719.25	1332.38	16917.78	—	17113.54	11036.49	13873.56	2116.23	42681.90	3863.02	—	—

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\beta} = d^A(j)_i _{\beta} / \Sigma l(j)_i$ ($\mu g/100m$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2555.67	3438.50	2664.77	33835.57	—	34227.08	22072.98	27747.11	4232.47	85363.80	7726.04	—	—

発泡スチロール類(プラ・他)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\beta} = d^A(j)_i _{\beta} / \Sigma M^{AOX}(j)_i(kg)$ ($\mu g/kg$):調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
57.82	77.79	60.29	765.51	—	774.37	499.39	627.76	95.76	1931.31	174.80	—	—

3)大型プラスチックゴミ(直径20cm以上)(T_γ)の算定解析

調査海岸域 (j)	調査海岸番号 (i)	調査海岸名	調査期間	調査海岸長 l(j) _i (km)	調査海岸域長 Σ l(j) _i (km)	調査海岸での国籍別漂着質量(kg) Σ M ^{AXX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^X (個)・m _γ ^X (kg/個)	
座間味島 j=2 i=1	i=1	チシ西海岸	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.05
			~			中国製(C)	0.92
			2020年2月			台湾製(T)	0.00
						韓国製(K)	0.16
						他外国製(O)	0.00
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	不明(U)	0.27
1.40							

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AXX}(j)_i = \gamma^{AXX} (\mu g/kg)$												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84
2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.39	9.03	1.70	6.54	35.40	258.38	64.80	29.87	546.18	441.17	0.50	201.17	5.97

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{AXX}(j)_i(kg) \cdot \gamma^{AXX}(j)_i (\mu g)$												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.25	0.93	0.88	0.12	0.89	4.15	0.93	0.83	11.01	20.54	0.03	5.98	0.20
4.66	8.18	1.04	6.57	38.52	278.97	53.81	30.29	549.86	377.30	0.43	199.58	4.45
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.18	1.09	0.00	0.70	0.59	8.84	18.48	2.64	56.31	100.68	0.10	21.76	2.09
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.45	2.44	0.46	1.77	9.56	69.76	17.50	8.06	147.47	119.12	0.14	54.32	1.61
7.54	12.64	2.37	9.15	49.56	361.73	90.72	41.82	764.65	617.64	0.70	281.64	8.35

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i \gamma (\mu g)$												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
7.54	12.64	2.37	9.15	49.56	361.73	90.72	41.82	764.65	617.64	0.70	281.64	8.35

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i * \gamma = d^A(j)_i \gamma / \Sigma l(j)_i (\mu g/100m)$												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
15.09	25.29	4.75	18.31	99.12	723.46	181.44	83.63	1529.30	1235.28	1.41	563.28	16.71

大型プラスチックゴミ(直径20cm以上)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i * \gamma = d^A(j)_i \gamma / \Sigma M^{AXX}(j)_i(kg) (\mu g/kg) : 調査範囲0.05km$												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
5.39	9.03	1.70	6.54	35.40	258.38	64.80	29.87	546.18	441.17	0.50	201.17	5.97

4)球管類(Tδ)(電球・蛍光灯管)の算定解析

調査海岸域 (j)	調査海岸番号 (i)	調査海岸名	調査期間	調査海岸長 l(j); (km)	調査海岸域長 Σ l(j); (km)	調査海岸での漂着質量(kg) Σ M ^{AOX} (j);(kg) = Σ p(j)i ^x (個)・m _δ ^x (kg/個)	
座間味島 j=2 i=1	i=1	チシ西海岸	2019年12月 ~ 2020年2月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)	0.1
小計			2ヶ月間	0.05	0.05		0.1

各元素成分の潜在的溶出係数 δ ^{AOX} (j) = δ ^A (μg/kg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 Σ M ^{AOX} (j);(kg)・δ ^{AOX} (j); (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
1.31	0.91	1.04	14.59	2.04	167.79	3.22	151.04	346.15	76.96	—	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j); δ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
1.31	0.91	1.04	14.59	2.04	167.79	3.22	151.04	346.15	76.96	—	—	—

調査海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j);* δ = d ^A (j); δ / Σ l(j); (μg/100m)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2.61	1.81	2.09	29.18	4.08	335.57	6.45	302.07	692.31	153.92	—	—	—

球管類(電球・蛍光灯管)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^A (j);* δ = d ^A (j); δ / Σ M ^{AOX} (j);(kg) (μg/kg) : 調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

表 4-4 座間味島阿真ビーチでの海洋漂着ゴミからの有害化学物質の潜在的溶出量の算定解析フロー
 (調査海岸長：0.05 km，漂着ゴミ量：2019年12月～2020年2月間の2か月間(60日)の漂着量)

1)プラスチック類(T _α)の算定解析							
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	
(j)	(i)			l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^X (個)・m _α ^X (kg/個)	
座間味島	i=2	阿真ビーチ	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.0
j=2			~			中国製(C)	0.0
i=2			2020年2月			台湾製(T)	0.0
						韓国製(K)	0.0
						他外国製(O)	0.0
小計		2ヶ月間	0.05	0.05	不明(U)	0.1	

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 α ^{AOX} (j) _i = α ^{AOX} (μg/kg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
2.32	9.15	0.00	2.58	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
7.74	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62
9.38	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08
7.24	12.17	0.05	3.17	7.70	79.50	44.75	47.20	425.88	602.79	0.16	85.57	7.60

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 Σ M ^{AOX} (j) _i (kg)・α ^{AOX} (j) _i (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76
0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d ^α (j) _i α (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^α (j) _i * α = d ^α (j) _i α / Σ l(j) _i (μg/100m)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
1.45	2.43	0.01	0.63	1.54	15.90	8.95	9.44	85.18	120.56	0.03	17.11	1.52

プラスチック類の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 d ^α (j) _i * α = d ^α (j) _i α / Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) (μg/kg) : 調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
7.24	12.17	0.05	3.17	7.70	79.50	44.75	47.20	425.88	602.79	0.16	85.57	7.60

2)発泡スチロール類(プラ・他)(T_{β})の算定解析						
調査海岸域	調査海岸番号	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での漂着質量(kg)
(j)	(i)			l(j); (km)	$\Sigma l(j)_i$ (km)	$\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) = \Sigma p(j)_i^x$ (個) $\cdot m_{\beta}^x$ (kg/個)
座間味島	i=2	阿真ビーチ	2019年12月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)
j=2			~			
i=2			2020年2月			
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	0.0

各元素成分の潜在的溶出係数 $\beta^{AOX}(j)_i = \beta^A$ ($\mu g/kg$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
57.82	77.79	60.29	765.51	—	774.37	499.39	627.76	95.76	1931.31	174.80	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \beta^{AOX}(j)_i$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i _{\beta}$ (μg)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—

海岸長100m当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\beta} = d^A(j)_i _{\beta} / \Sigma l(j)_i$ ($\mu g/100m$)												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—

発泡スチロール類(プラ・他)の漂着量1kg当たりの各元素成分の潜在的溶出量 $d^A(j)_i^* _{\beta} = d^A(j)_i _{\beta} / \Sigma M^{AOX}(j)_i(kg)$ ($\mu g/kg$) :調査範囲0.05km												
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—

3)大型プラスチックビ(直径20cm以上)(T_γ)の算定解析

調査海岸域 (j)	調査海岸番号 (i)	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	
				l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^x (個)・m _γ ^x (kg/個)	
座間味島 j=2 i=2	i=2	阿真ビーチ	2019年12月	0.05	0.05	日本製(J)	0.00
			~			中国製(C)	0.00
			2020年2月			台湾製(T)	0.00
						韓国製(K)	0.00
						他外国製(O)	0.00
小計			2ヶ月間	0.05	0.05	不明(U)	0.00

各元素成分の国籍別潜在的溶出係数 $\gamma^{AOX}(j)_i = \gamma^{AOX}$ (μg/kg)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
4.91	18.58	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07	
5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.93	4.84	
2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79	
7.39	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4.86	11.57	4.69	3.75	23.60	179.64	50.44	18.07	296.27	446.49	0.81	153.43	9.19	

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \gamma^{AOX}(j)_i$ (μg)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

以下算定値すべてゼロ

4)球管類(T_δ) (電球・蛍光灯管)の算定解析

調査海岸域 (j)	調査海岸番号 (i)	調査海岸名	調査期間	調査海岸長	調査海岸域長	調査海岸での漂着質量(kg)	
				l(j) _i (km)	Σ l(j) _i (km)	Σ M ^{AOX} (j) _i (kg) = Σ p(j) _i ^x (個)・m _δ ^x (kg/個)	
座間味島 j=2 i=2	i=2	阿真ビーチ	2019年12月	0.05	0.05	国籍区分せず(不明ゴミ)	0.0
			~				
			2020年2月				
小計			2ヶ月間	0.05	0.05		0.0

各元素成分の潜在的溶出係数 $\delta^{AOX}(j)_i = \delta^A$ (μg/kg)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—	

調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\Sigma M^{AOX}(j)_i(kg) \cdot \delta^{AOX}(j)_i$ (μg)													
Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—	—	

以下算定値すべてゼロ

5. 西表島(高那海岸・南風見田浜)と座間味島(チシ西海岸・阿真ビーチ)での潜在的溶出量の評価

5. 1 2ヶ月間(60日)漂着量による潜在的溶出量の評価

前節の算定解析フローに基づき、対象4海岸での調査海岸長0.05km(50m)に亘って2か月間(60日)(2019年12月～2020年2月)に漂着堆積した4種類のタイプの海洋漂着ゴミ量から算定された13種類の有害化学物質の潜在的溶出量を表5-1(a)～表5-4(a)にまとめている。また、表5-1(b)～表5-4(b)には表5-1(a)～表5-4(a)の潜在的溶出量の結果に基づき、各タイプの海洋漂着ゴミでの有害化学物質の潜在的溶出量の比率をそれぞれ算定している。

図化した図5-1(a)～図5-4(a)は、対象4海岸での2か月間の漂着量に起因する各有害化学物質の潜在的溶出量をトータル的に評価したもので、海洋漂着ゴミによる有害リスクの影響度合を検証するのに有効である。所謂、有害化学物質の潜在的溶出ポテンシャルを判定するのに役立てられる。同様に、図5-1(b)～図5-4(b)では、4海岸での各元素成分の溶出性を海洋漂着ゴミのタイプごとに比較している。

まず、図5-1(a)～図5-4(a)において、各海岸での潜在的溶出性に関する全体的な傾向に着目すると、漂着ゴミ量の多い西表島の高那海岸(漂着量110.9kg)では、Alの溶出性が突出して高く、潜在的溶出量の77.8%を占めている。同様に、座間味島のチシ西海岸(漂着量40.1kg)でも39.08%と最も高い溶出性を示しているが、Zn, As, Niの溶出量も10%以上占めており、高那海岸とは異なる潜在的溶出傾向のあることが窺われる。両海岸に比較して漂着ゴミ量の少ない西表島の南風見田浜(漂着量23.8kg)と座間味島の阿真ビーチ(漂着量0.1kg)ではやはりAlの溶出性は高いが、Mn, Ba, Znの溶出性も比較的高いことがわかる。対象4海岸での潜在的溶出性の高い上位6元素の傾向には、下記の関係が認められた。

西表島高那海岸(漂着量110.9kg) : Al > Zn > Mn > Ba > Cu > Ni
西表島南風見田浜(漂着量23.8kg) : Al > Mn > Ba > Zn > Cu > Ni
座間味島チシ西海岸(漂着量40.1kg) : Al > Zn > As > Ni > Cu > Mn
座間味島阿真ビーチ(漂着量0.1kg) : Al > Mn > Ba > Zn > Ni > Cu

対象4海岸での潜在的溶出性の高い上位6元素では、各元素の溶出性には海岸間での差異は認められるが、その元素構成は殆ど類似していることが分かる。

表 5-1(a) 西表島高那海岸での漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d(A)(i) γ (μ g)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
2ヶ月漂着ゴミ量(kg) (下記総量:110.9kg)														
70.2														
①プラスチック類(T_{α})	383.13	589.74	0.00	203.31	334.40	5874.61	2806.53	2272.06	1828.80	36450.33	38.69	8633.26	670.95	
②発泡スチロール類(T_{β})	2846.43	3241.97	128.14	3313.51	—	35821.57	3599.14	2477.64	6320.65	443688.46	451.06	—	—	
③大型プラスチックブイ(T_{γ})	146.91	257.60	32.91	194.62	1128.46	8258.74	1724.16	893.46	16199.02	12100.98	14.76	6025.83	161.76	
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_{δ})	13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—	
潜在的溶出量累計(μ g)	3389.53	4098.38	171.48	3857.33	1483.27	51632.80	8102.07	7153.53	44810.00	493009.35	504.50	14659.09	832.71	
潜在的溶出量比率(%)	0.53	0.65	0.03	0.61	0.23	8.15	1.28	1.13	7.07	77.80	0.08	2.31	0.13	

表 5-1(b) 西表島高那海岸での漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量比率の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量比率(%)												
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
①プラスチック類(T_{α})	0.50	0.77	0.00	0.26	0.43	7.62	3.64	2.95	24.43	47.29	0.05	11.20	0.87
②発泡スチロール類(ブイ・他)(T_{β})	0.57	0.65	0.03	0.66	—	7.14	0.71	0.49	1.26	88.41	0.09	—	—
③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)(T_{γ})	0.31	0.55	0.07	0.41	2.39	17.52	3.66	1.90	34.36	25.67	0.03	12.78	0.34
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_{δ})	0.17	0.12	0.14	1.91	0.27	21.93	0.42	19.74	45.25	10.06	—	—	—

表 5-2(a) 西表島南風見田浜での漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d(A)(i) γ (μ g)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
2ヶ月漂着ゴミ量(kg) (下記総量:23.8kg)														
23.6														
①プラスチック類(T_{α})	146.54	186.36	0.00	71.48	135.05	2044.54	970.78	850.12	6338.05	12717.94	10.41	2703.73	210.02	
②発泡スチロール類(T_{β})	27.48	6.22	15.69	30.92	—	94.66	44.75	36.43	46.14	453.81	12.09	—	—	
③大型プラスチックブイ(T_{γ})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_{δ})	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
潜在的溶出量累計(μ g)	174.02	192.58	15.69	102.40	135.05	2139.21	1015.53	886.55	6384.20	13171.75	22.50	2703.73	210.02	
潜在的溶出量比率(%)	0.64	0.71	0.06	0.38	0.50	7.88	3.74	3.26	23.51	48.51	0.08	9.96	0.77	

表 5-2(b) 西表島南風見田浜での漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量比率の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量比率(%)												
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
①プラスチック類(T_{α})	0.56	0.71	0.00	0.27	0.51	7.75	3.68	3.22	24.02	48.20	0.04	10.25	0.80
②発泡スチロール類(ブイ・他)(T_{β})	3.58	0.81	2.04	4.02	—	12.32	5.83	4.74	6.01	59.07	1.57	—	—
③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)(T_{γ})	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_{δ})	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5-3(a) 座間味島チシ西海岸での漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類 (下記総量:40.1kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d(A)j γ (μg)													
	Pb	Cr	Gd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
①プラスチック類(T_a)	88.80	134.58	0.00	47.31	63.22	1303.61	662.19	559.78	4088.53	8355.89	8.28	1964.60	149.71	
②発泡スチロール類(T_b)	1277.84	1719.25	1332.38	16917.78	-	17113.54	11036.49	13873.56	2116.23	42681.90	3863.02	-	-	
③大型プラスチックパイプ(T_γ)	7.54	12.64	2.37	9.15	49.56	361.73	90.72	41.82	764.65	617.64	0.70	281.64	8.35	
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_δ)	1.31	0.91	1.04	14.59	2.04	167.79	3.22	151.04	346.15	76.96	-	-	-	
潜在的溶出量累計(μg)	1375.49	1867.38	1335.80	16988.84	114.82	18946.67	11792.63	14626.18	7313.57	51732.38	3872.00	2246.24	158.07	
潜在的溶出量比率(%)	1.04	1.41	1.01	12.83	0.09	14.31	8.91	11.05	5.53	39.08	2.93	1.70	0.12	

表 5-3(b) 座間味島チシ西海岸での漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量比率の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量比率(%)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
①プラスチック類(T_a)	0.51	0.77	0.00	0.27	0.36	7.48	3.80	3.21	23.45	47.95	0.05	11.27	0.86	
②発泡スチロール類(パイプ・他)(T_b)	1.14	1.54	1.19	15.11	-	15.29	9.86	12.39	1.89	38.13	3.45	-	-	
③大型プラスチックパイプ(直径20cm以上)(T_γ)	0.34	0.56	0.11	0.41	2.20	16.09	4.03	1.86	34.01	27.47	0.03	12.53	0.37	
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_δ)	0.17	0.12	0.14	1.91	0.27	21.93	0.42	19.74	45.25	10.06	-	-	-	

表 5-4(a) 座間味島阿真ビーチでの漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量の覧

解析対象とした漂着ゴミの種類 (下記総量:0.1kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d(A)j γ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
①プラスチック類(T_a)	0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76	
②発泡スチロール類(T_b)	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	
③大型プラスチックパイプ(T_γ)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_δ)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	
潜在的溶出量累計(μg)	0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76	
潜在的溶出量比率(%)	0.55	0.92	0.004	0.24	0.58	6.01	3.38	3.57	32.17	45.54	0.01	6.46	0.57	

表 5-4(b) 座間味島阿真ビーチでの漂着ゴミごとの各元素成分の潜在的溶出量比率の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量比率(%)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
①プラスチック類(T_a)	0.55	0.92	0.004	0.24	0.58	6.01	3.38	3.57	32.17	45.54	0.01	6.46	0.57	
②発泡スチロール類(パイプ・他)(T_b)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
③大型プラスチックパイプ(直径20cm以上)(T_γ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_δ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

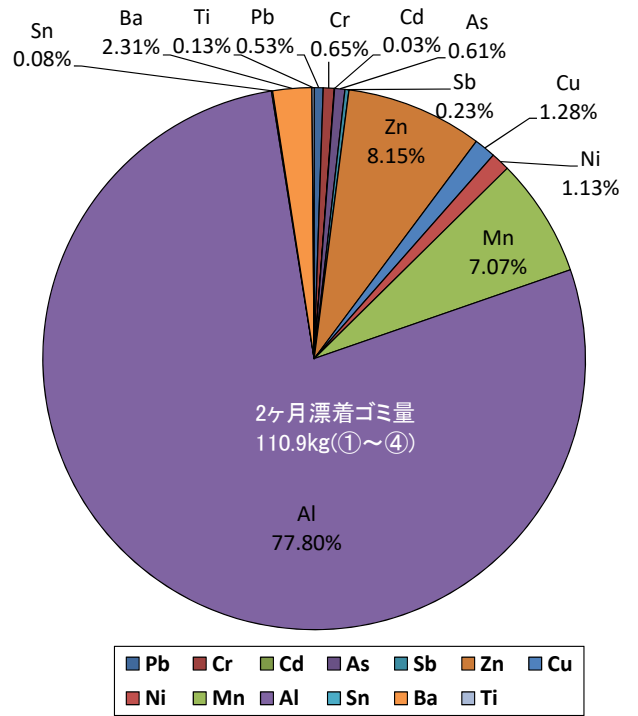
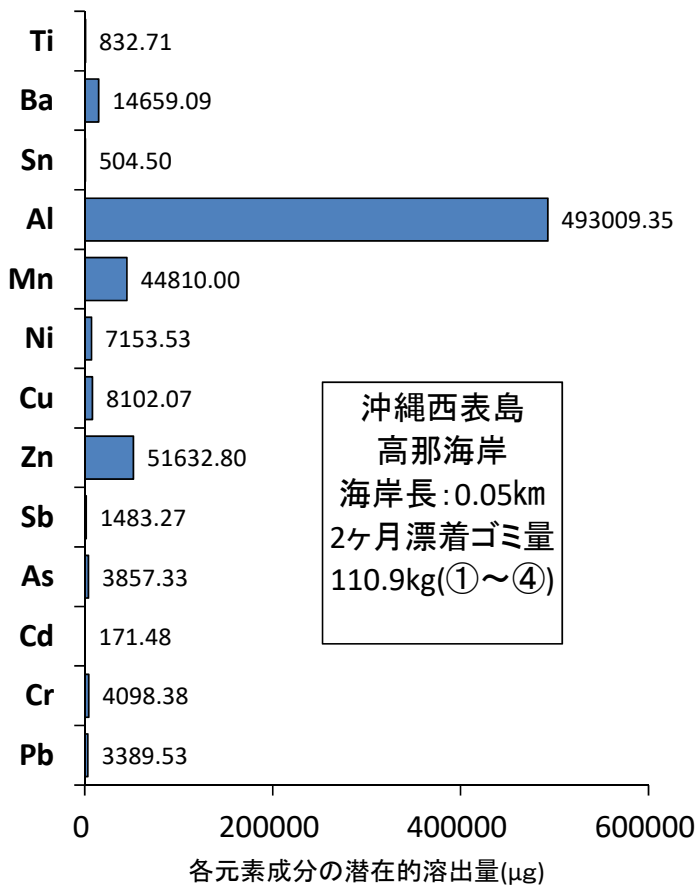


図 5-1(a) 西表島高那海岸での 2 か月間漂着ゴミ量からの各種有害化学物質の潜在的溶出状況

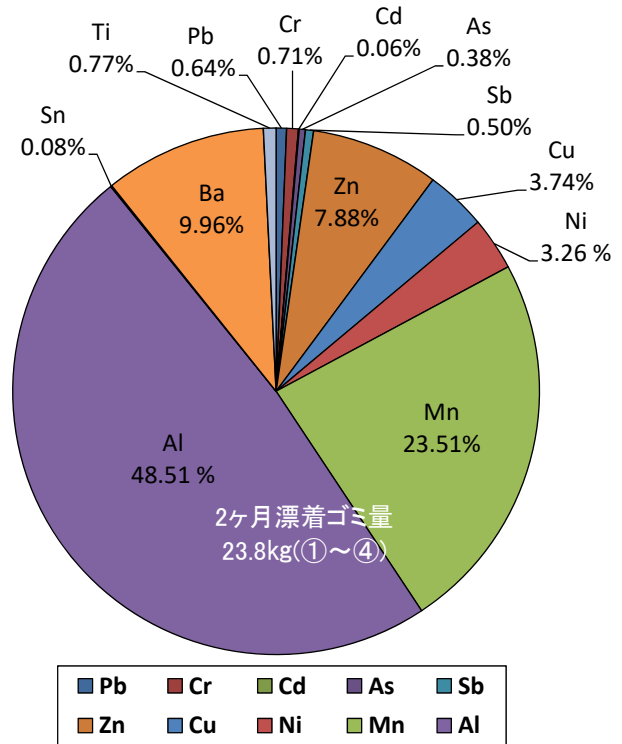
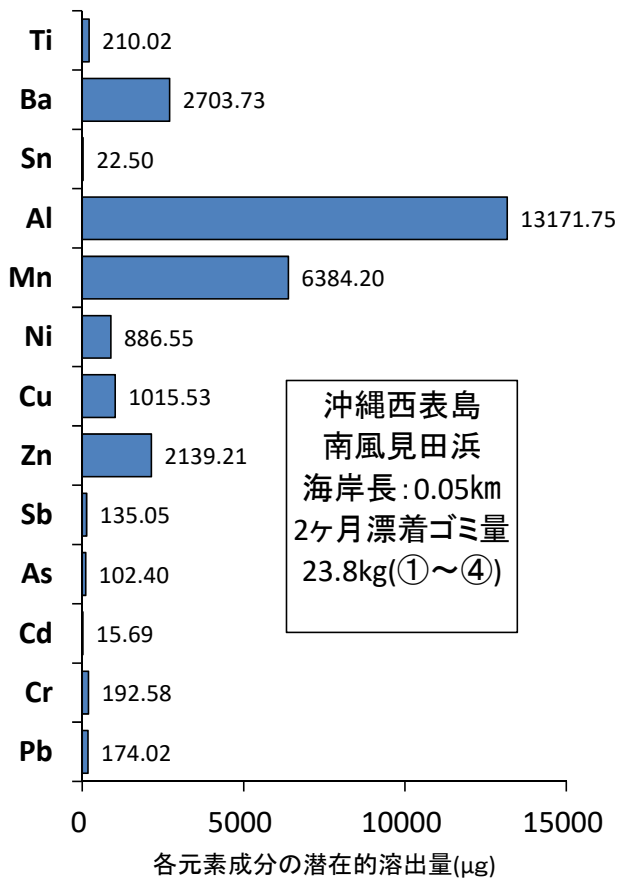


図 5-2(a) 西表島南風見田浜での 2 か月間漂着ゴミ量からの各種有害化学物質の潜在的溶出状況

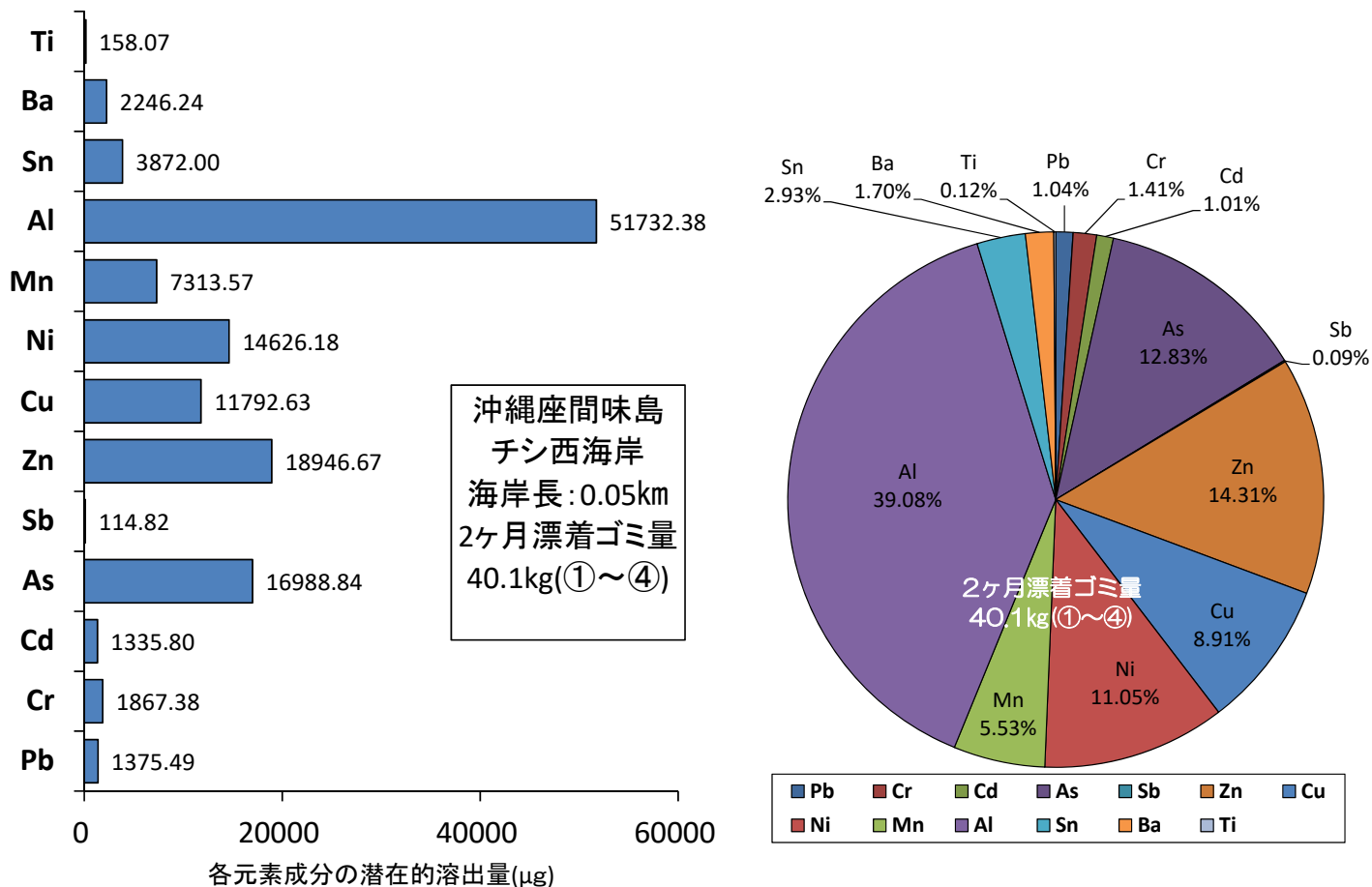


図 5-3(a) 座間味島チシ西海岸での2か月間漂着ゴミ量からの各種有害化学物質の潜在的溶出状況

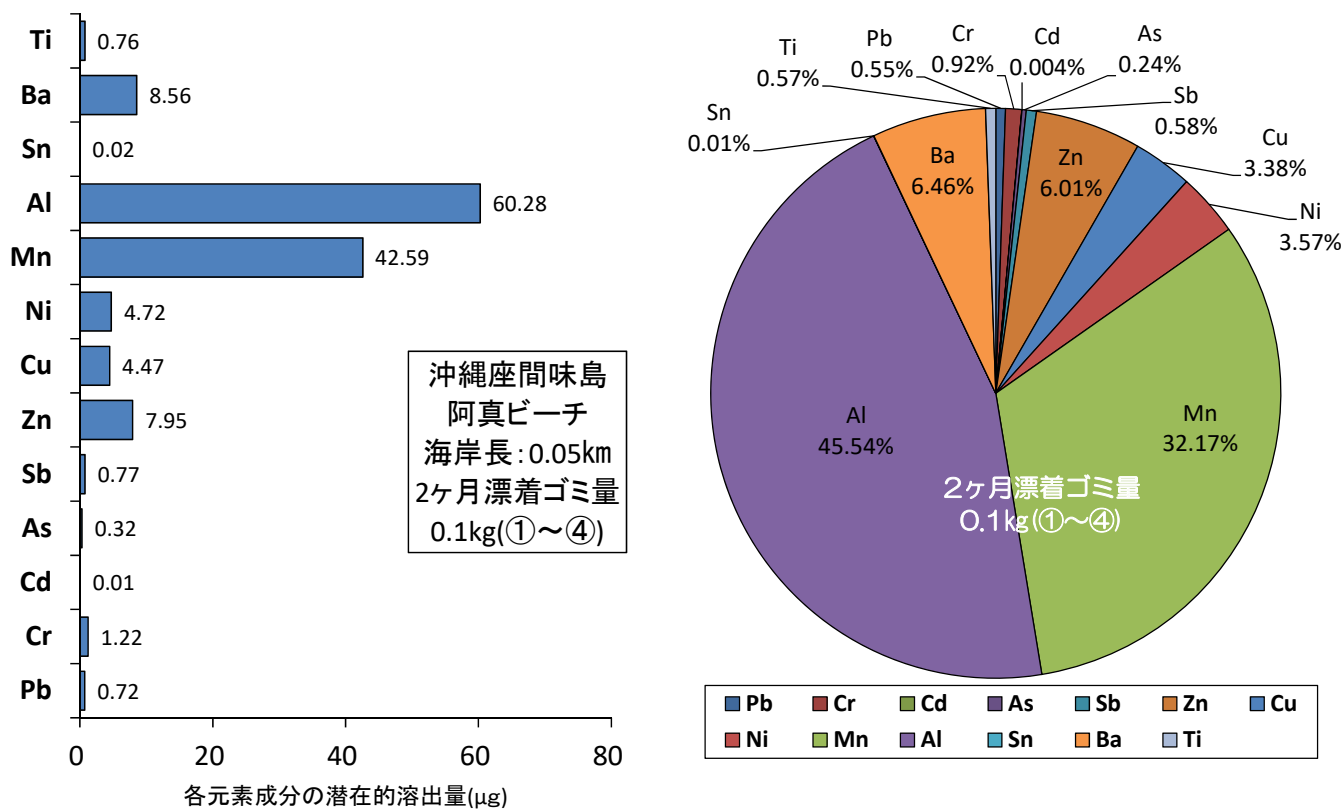


図 5-4(a) 座間味島阿真ビーチでの2か月間漂着ゴミ量からの各種有害化学物質の潜在的溶出状況

だが、上記の各元素成分の潜在的溶出量は、当然、海洋漂着ゴミの種類構成とその漂着量に依存していることから、**図 5-1(b)~図 5-4(b)**には、4 海岸において元素成分ごとに整理して、4 種類の構成素材(①プラスチック類、②発泡スチロール類、③大型プラスチックブイ、④球管類(電球・蛍光灯管)からの潜在的溶出性を比較検証している。未分析の元素成分もあるが、各素材において、溶出性の高い元素成分としては、下記の傾向が認められる。

<西表島高那海岸>

- ①プラスチック類(漂着量 70.2kg) : Ni, Mn, Ba, Ti
- ②発泡スチロール類(漂着量 10.9kg) : Pb, Cr, Cd, As, Zn, Cu, Ni, Al, Sn
- ③大型プラスチックブイ(漂着量 28.8kg) : Sb, Mn, Ba
- ④球管類(漂着量 1.0kg) : Ni

<西表島南風見田浜>

- ①プラスチック類(漂着量 23.6kg) : Pb, Cr, As, Sb, Zn, Cu, Ni, Mn, Al, Ba, Ti
- ②発泡スチロール類(漂着量 0.2kg) : Cd, Sn
- ③大型プラスチックブイ(漂着量 0kg) : 漂着なし
- ④球管類(漂着量 0kg) : 漂着なし

<座間味島チシ西海岸>

- ①プラスチック類(漂着量 16.5kg) : Sb, Mn, Ba, Ti
- ②発泡スチロール類(漂着量 22.1kg) : Pb, Cr, Cd, As, Zn, Cu, Ni, Al, Sn
- ③大型プラスチックブイ(漂着量 1.4kg) : Sb,
- ④球管類(漂着量 0.1kg) : 特になし

<座間味島阿真ビーチ>

- ①プラスチック類(漂着量 0.1kg) : 1 素材でしかも漂着量が僅かなので評価せず
- ②発泡スチロール類(漂着量 0kg) : 漂着なし
- ③大型プラスチックブイ(漂着量 0kg) : 漂着なし
- ④球管類(漂着量 0kg) : 漂着なし

上記にまとめた各素材からの潜在的溶出傾向を判断すると、溶出性の高い元素成分はプラスチック類と発泡スチロール類から多く検証されることが分かる。特に、発泡スチロール類は多孔質な組織構造であり、本来、自体が含有する有害化学物質(添加剤や成形助剤による)に加え、漂流中の吸着性が高いことに起因しているものと言える。

なお上記において、発泡スチロール類では Sb, Ba, Ti, 球管類においては Sn, Ba, Ti はそれぞれ未分析(未測定)となっている。また座間味島阿真ビーチではプラスチック類(国籍不明ゴミ)の漂着のみで、しかも漂着量が 0.1kg と極めて少ないので、元素成分の評価は行わない。

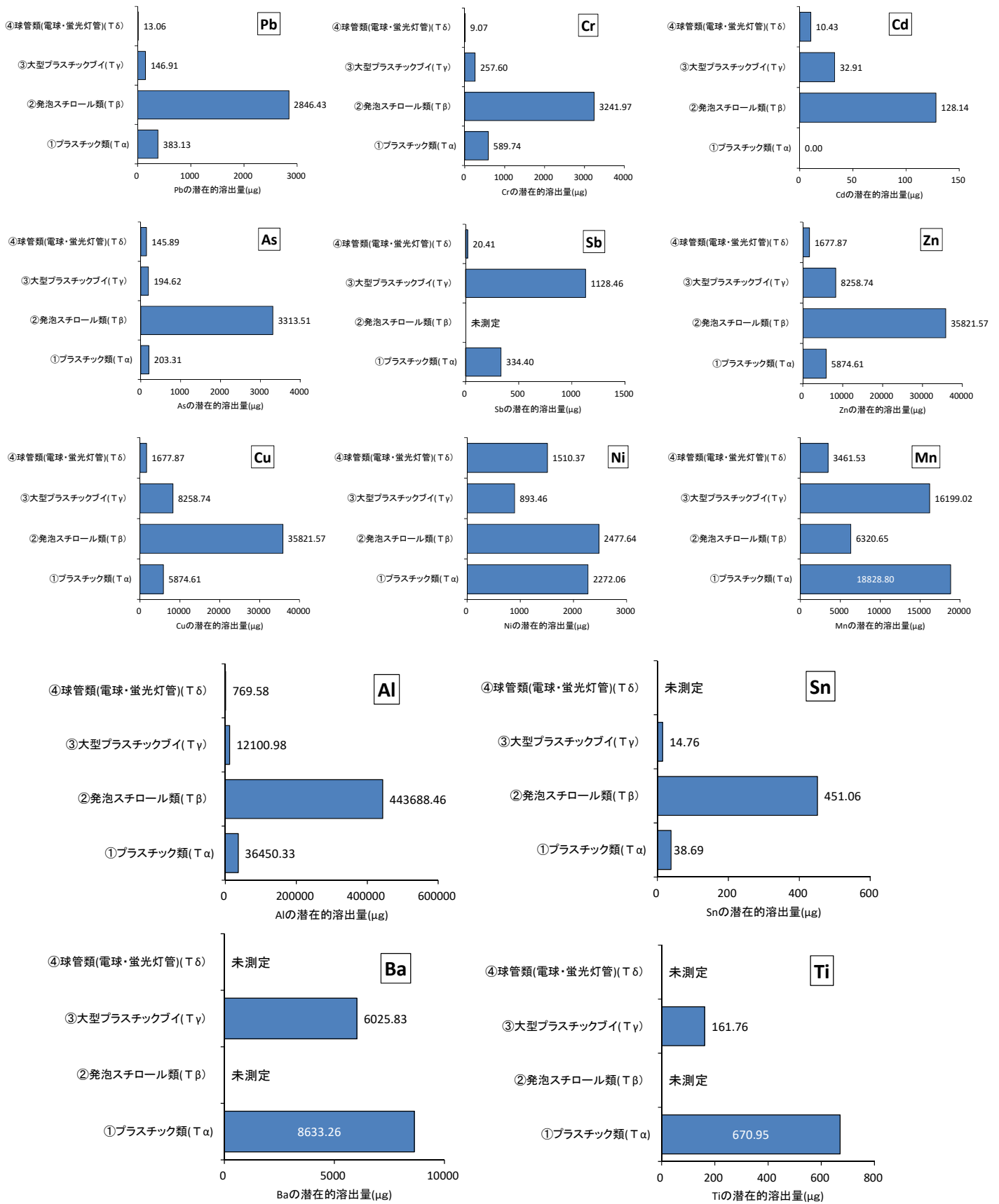


図 5-1(b) 西表島高那海岸での漂着ゴミの構成素材からの有害化学物質ごとの潜在的溶出状況

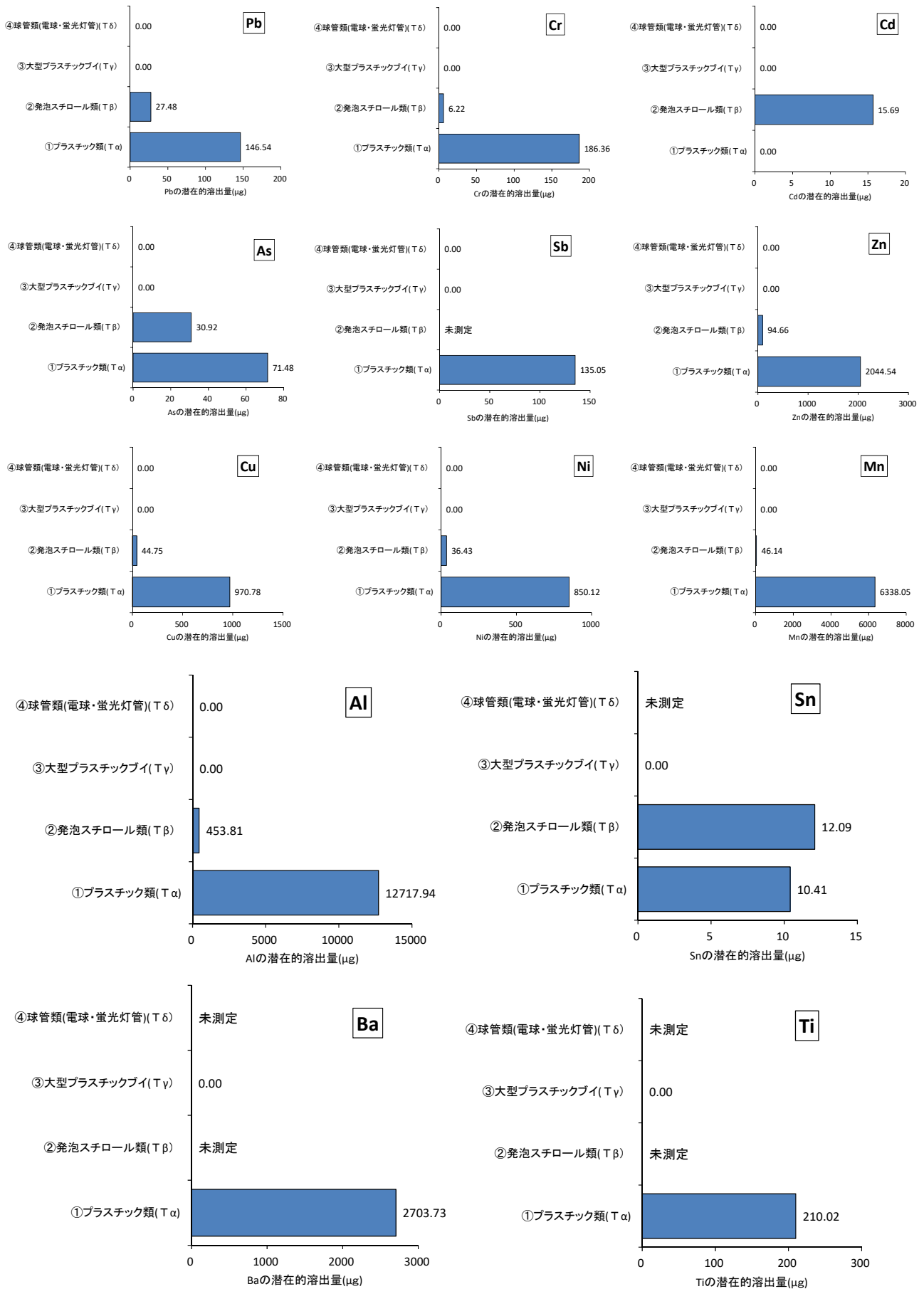


図 5-2(b) 西表島南風見田浜での漂着ゴミの構成素材からの有害化学物質ごとの潜在的溶出状況

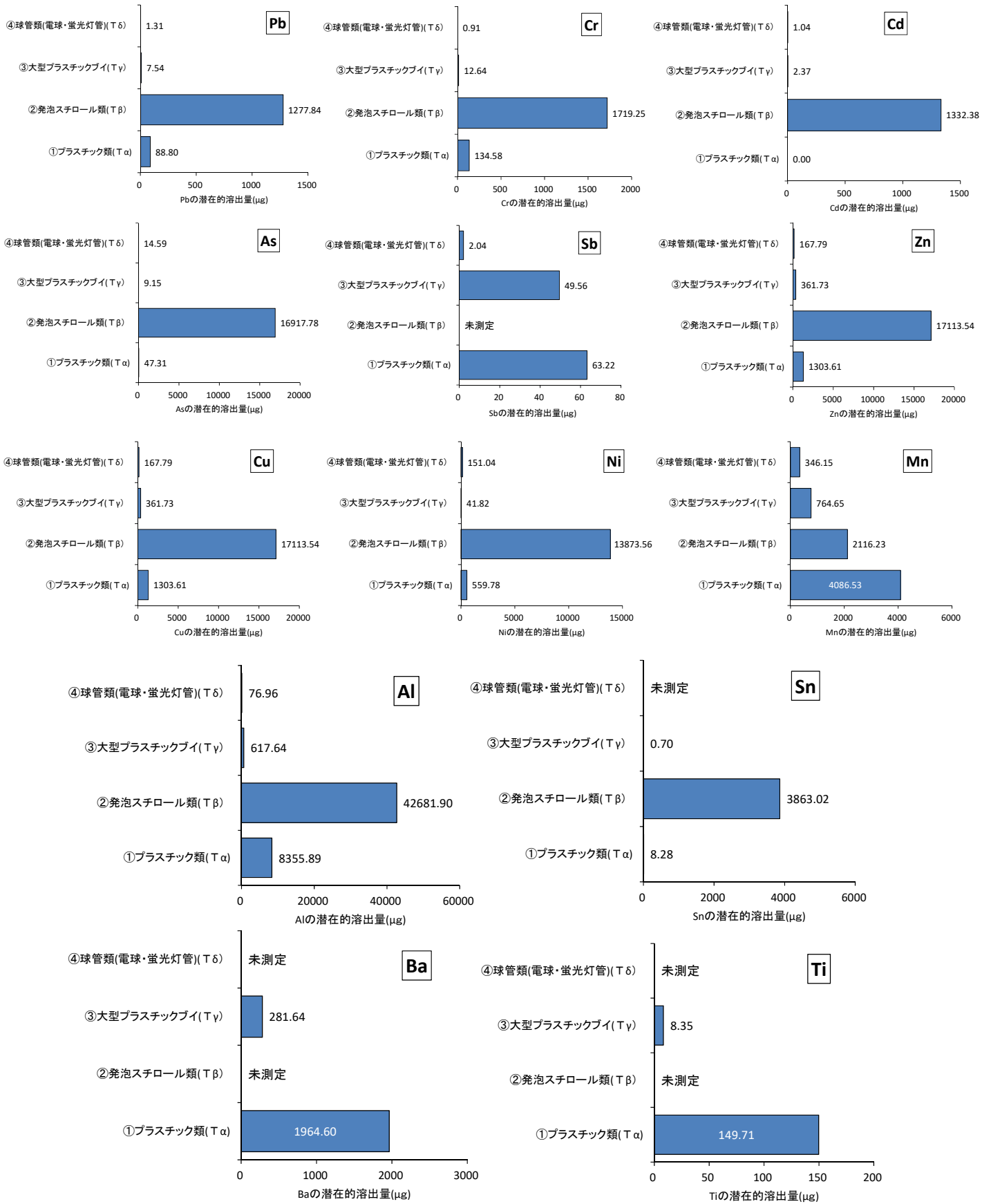


図 5-3(b) 座間味島チシ西海岸での漂着ゴミの構成素材からの有害化学物質ごとの潜在的溶出状況

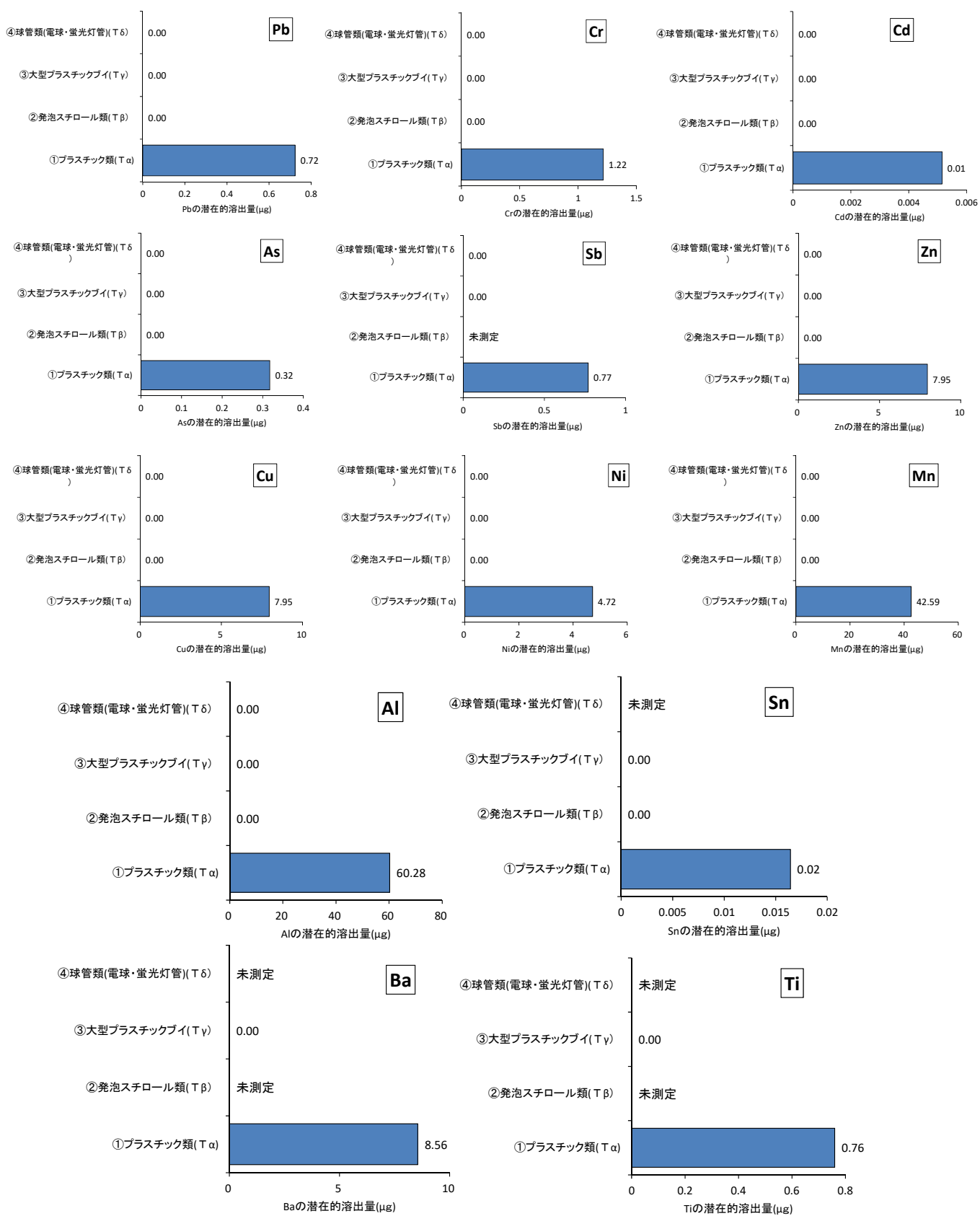


図 5-4(b) 座間味島阿真ビーチでの漂着ゴミの構成素材からの有害化学物質ごとの潜在的溶出状況

5. 2 海洋漂着ゴミの各素材からの潜在的溶出量の評価

先の図 5-1(b)～図 5-4(b)では、海洋漂着ゴミを構成する主要素材からの有害化学物質の潜在的溶出性の相違や特徴などについて略述した。各有害化学物質の溶出性は漂着量のみならず、素材のタイプによっても大きく左右され、自然界への廃プラスチックによる影響リスクが極めて高いことが改めて立証された結果となっている。

前節と重複するが、ここではさらに、対象海岸ごとに各主要素材からの有害化学物質の潜在的溶出性について整理し、構成素材特性や傾向などに関する検証を深める。

図 5-5～図 5-8 には、対象 4 海岸での各元素成分の潜在的溶出量とその溶出比率を、4 種類の素材①プラスチック類、②発泡スチロール類、③大型プラスチックブイ、④球管類ごとに区分して、それぞれ表示している。素材によって漂着量ゼロや未分析の元素成分もあるが、これらの結果より明らかなように、海岸間のみならず、素材間によっても、元素成分の潜在的溶出性はかなり異なっていることが理解できる。各海岸での各素材からの元素成分の潜在的溶出性(上位 6 元素)には、概ね下記の傾向が認められる。

<西表島高那海岸>

プラスチック類(漂着量 70.2kg) : Al>Mn>Ba>Zn>Cu>Ni

発泡スチロール類(10.9kg) : Al>Zn>Mn>Cu>Cr>Pb

大型プラスチックブイ(28.8kg) : Mn>Al>Zn>Ba>Cu>Sb

球管類(1.0kg) : Mn>Zn>Ni>Al>As>Cu

<西表島南風見田浜>

プラスチック類(漂着量 23.6kg) : Al>Mn>Ba>Zn>Cu>Ni

発泡スチロール類(0.2kg) : Al>Zn>Mn>Cu>Ni>As

大型プラスチックブイ(0kg) :

球管類(0kg) :

<座間味島チシ西海岸>

プラスチック類(漂着量 16.5kg) : Al>Mn>Ba>Zn>Cu>Ni

発泡スチロール類(22.1kg) : Al>Zn>As>Ni>Cu>Sn

大型プラスチックブイ(1.4kg) : Mn>Al>Zn>Ba>Cu>Sb

球管類(0.1kg) : Mn>Zn>Ni>Al>As>Cu

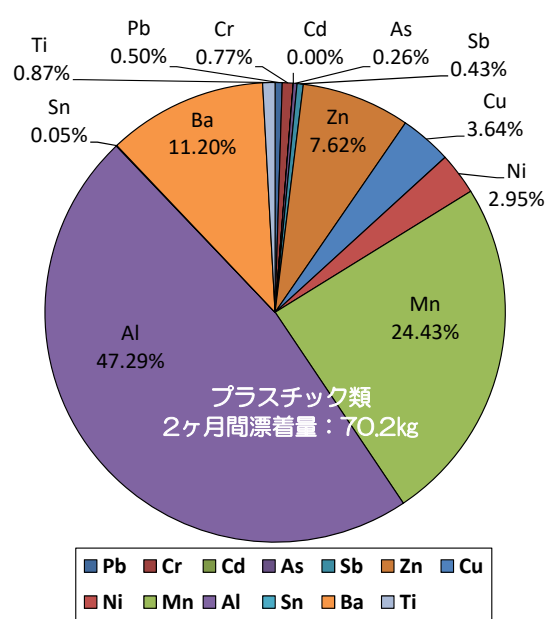
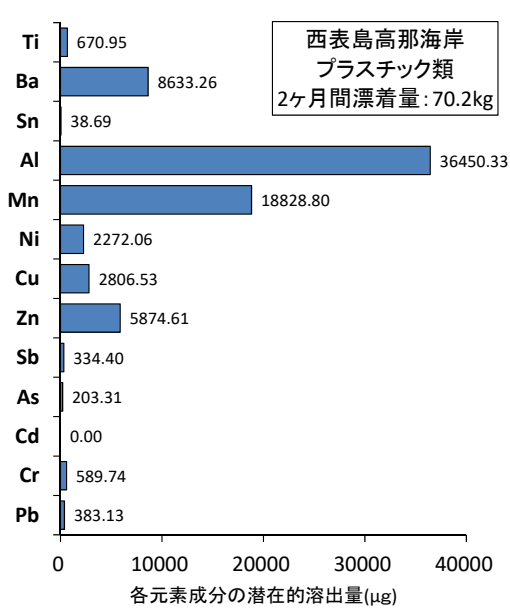
<座間味島阿真ビーチ>

プラスチック類(漂着量 0.1kg) : Al>Mn>Ba>Zn>Ni>Cu

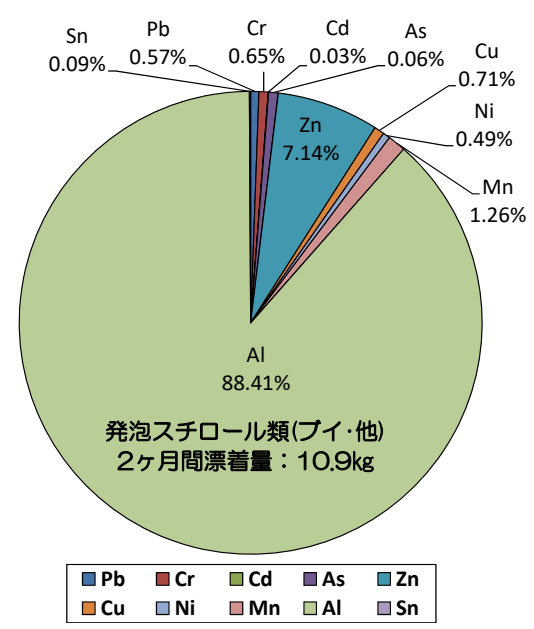
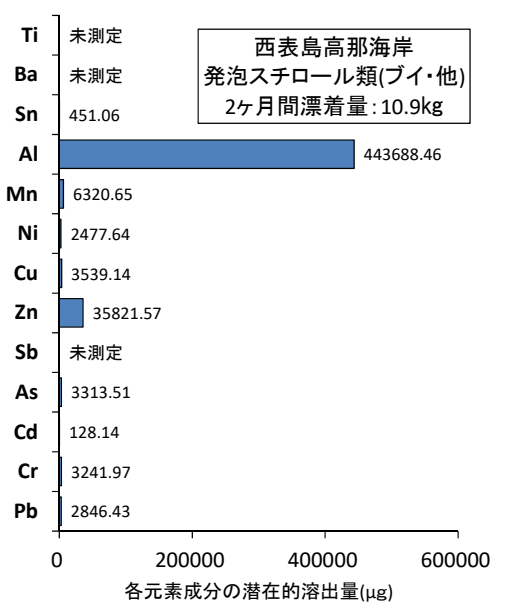
発泡スチロール類(0kg) :

大型プラスチックブイ(0kg) :

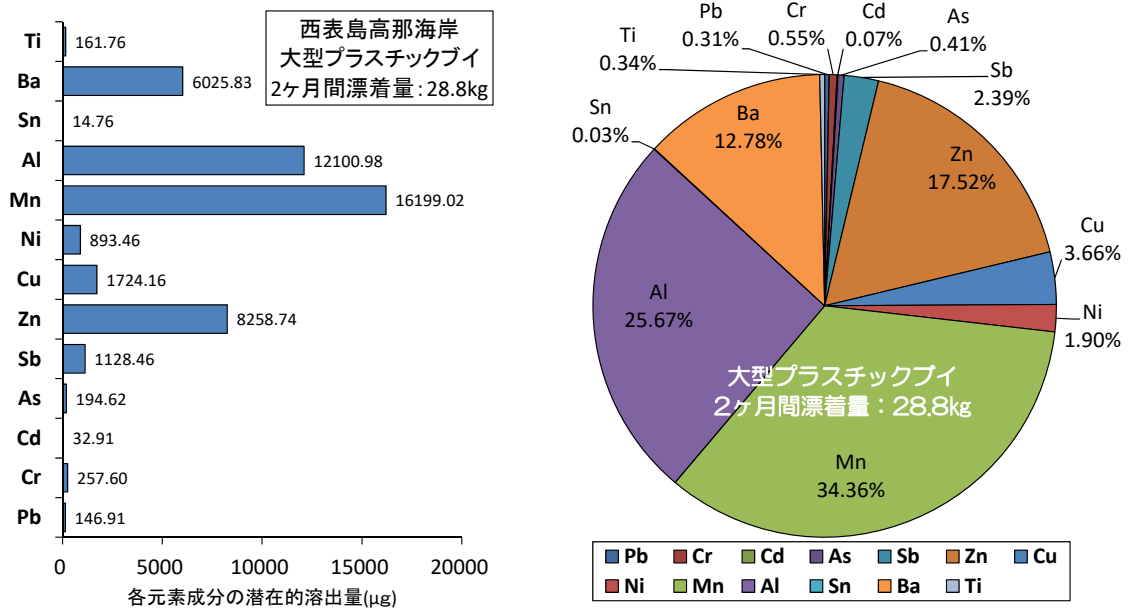
球管類(0kg) :



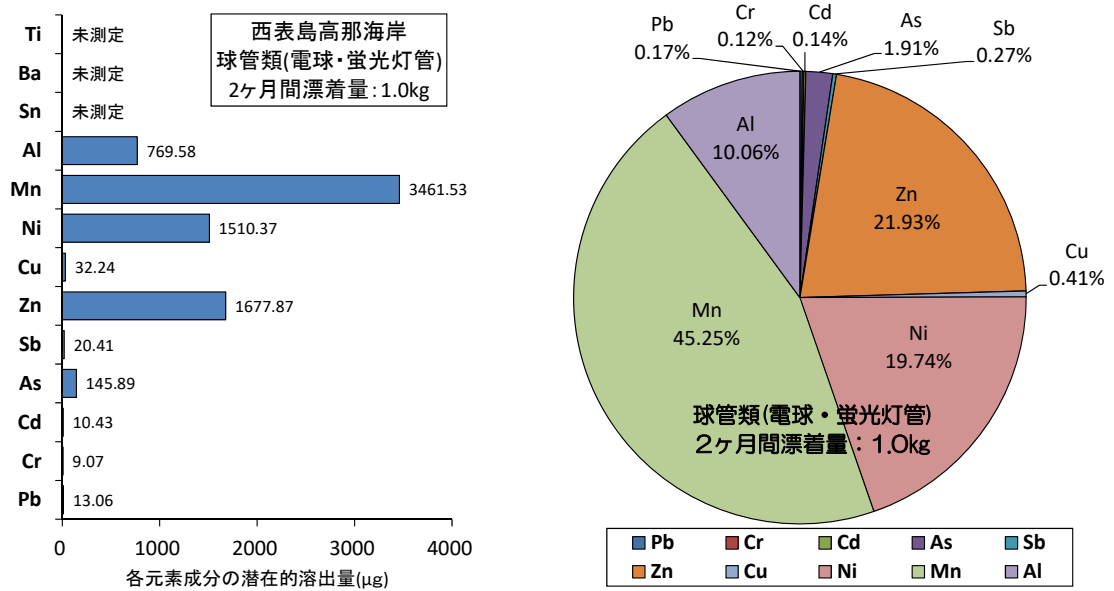
(a) プラスチック類



(b) 発泡スチロール類(ブイ・他)

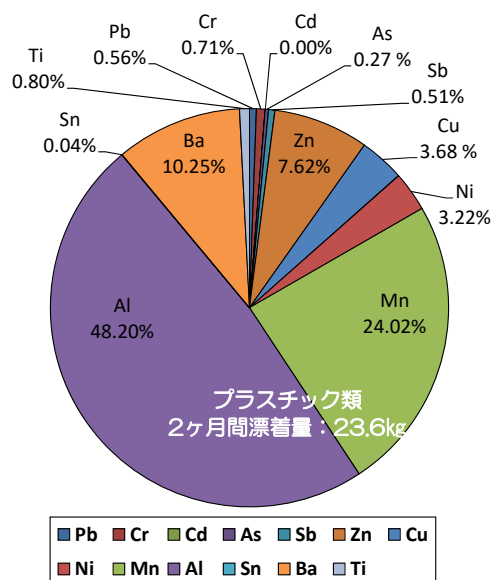
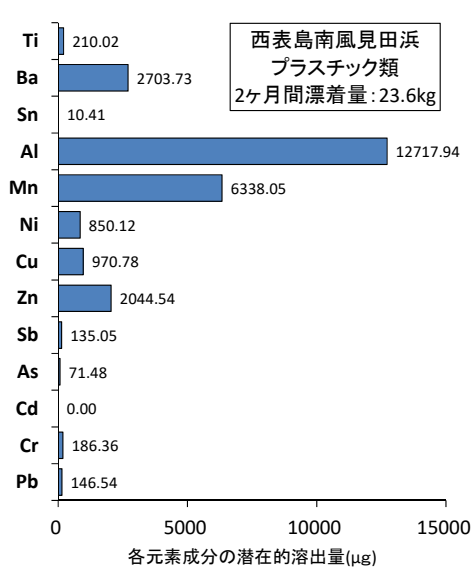


(c) 大型プラスチックゴミ(直径 20cm 以上)

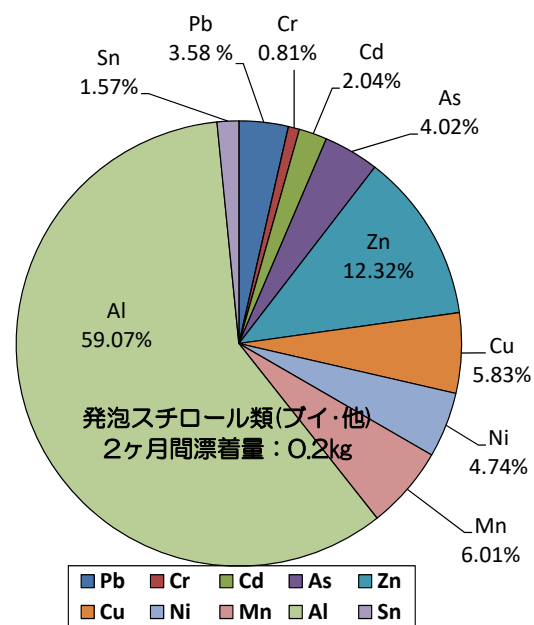
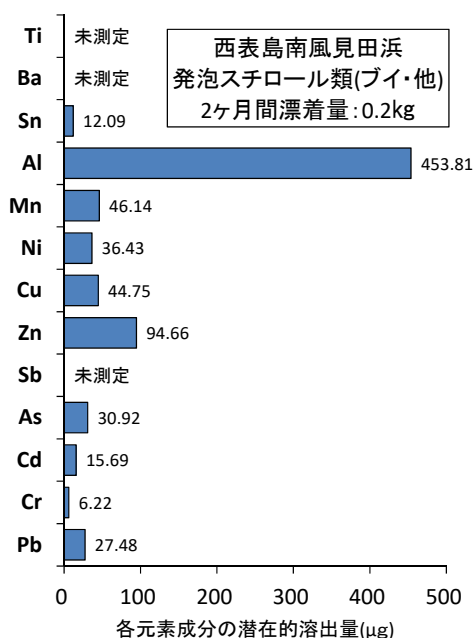


(d) 球管類(電球・蛍光灯管)

図 5-5 西表島高那海岸での構成素材ごとの各元素成分の潜在的溶出量とその溶出比率

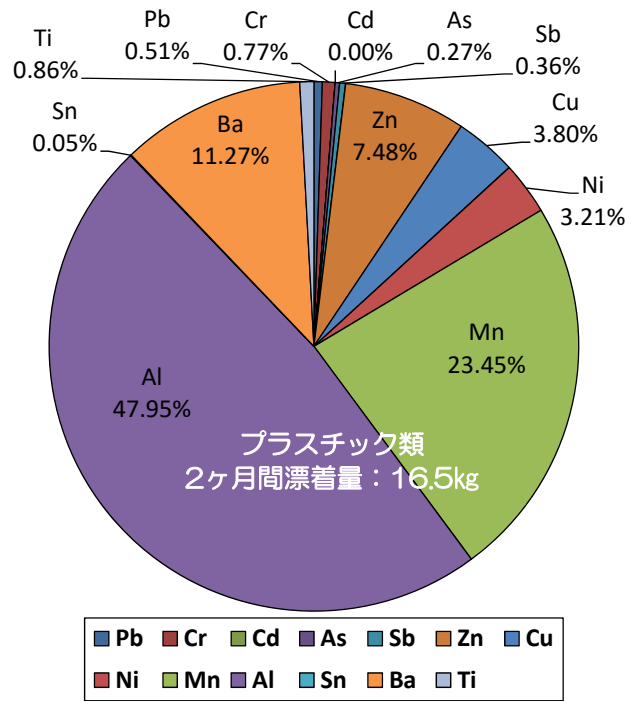
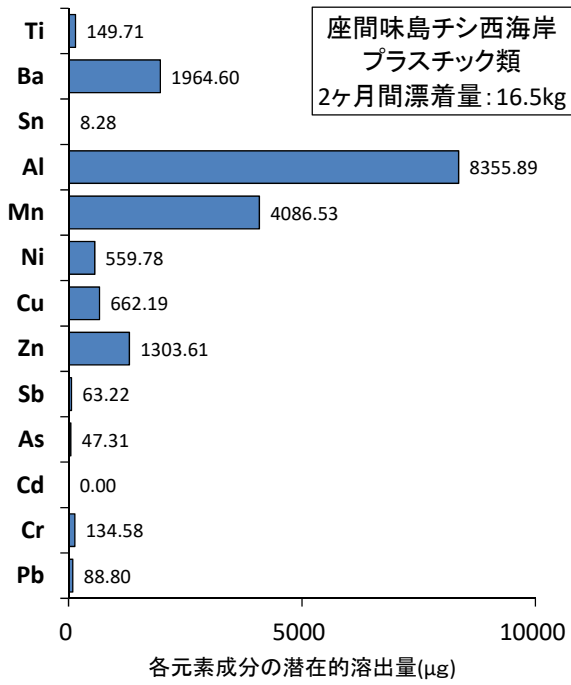


(a) プラスチック類

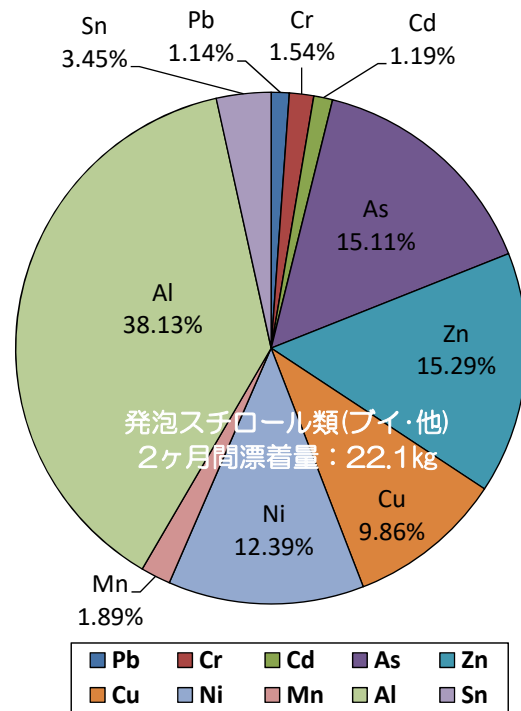
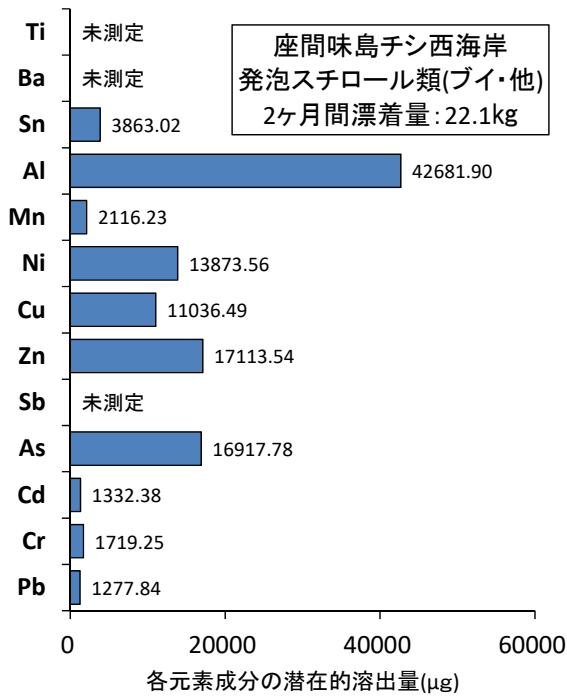


(b) 発泡スチロール類(ブイ・他)

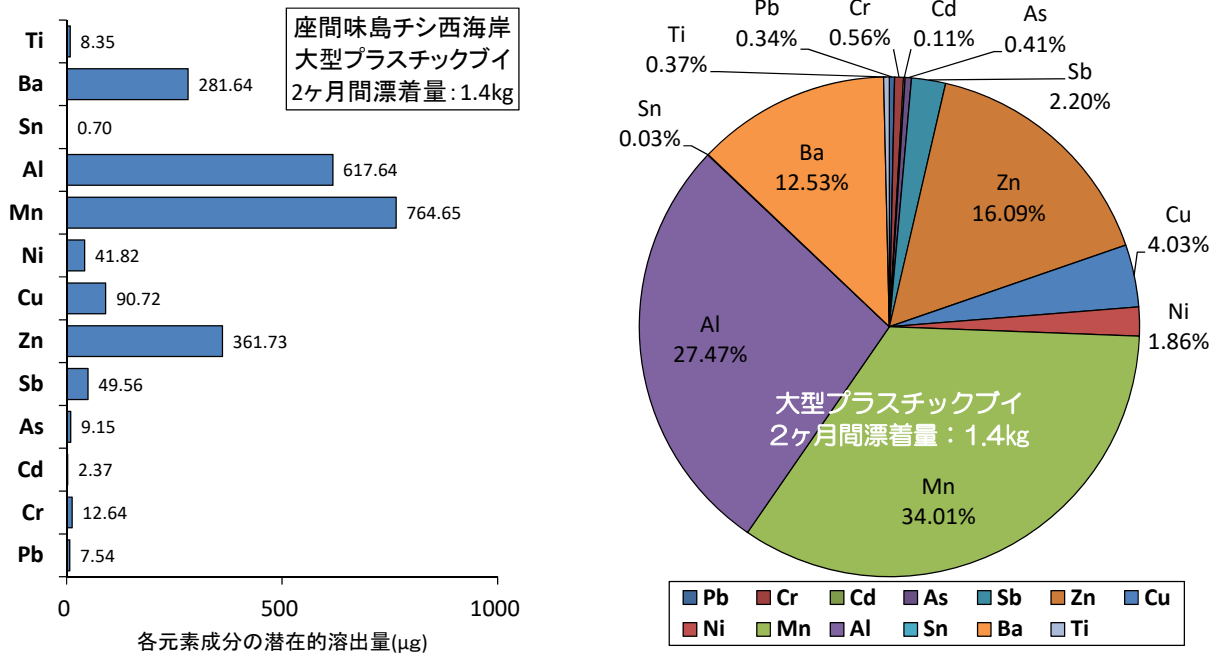
図 5-6 西表島南風見田浜での構成素材ごとの各元素成分の潜在的溶出量とその溶出比率



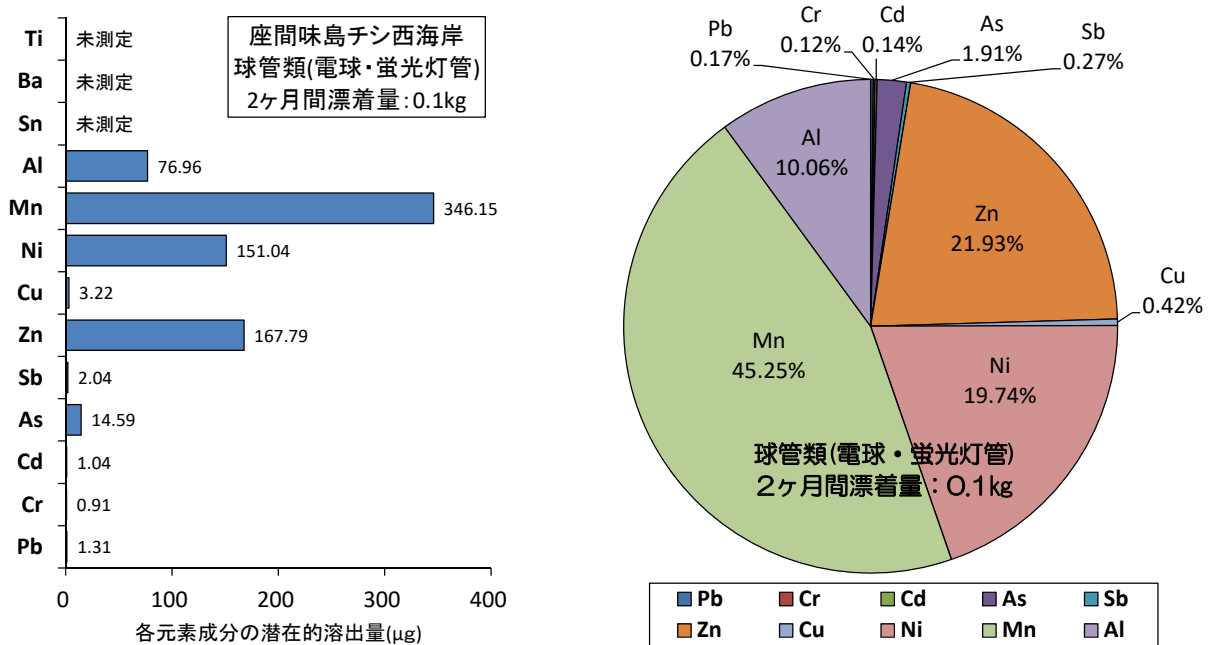
(a) プラスチック類



(b) 発泡スチロール類(ブイ・他)

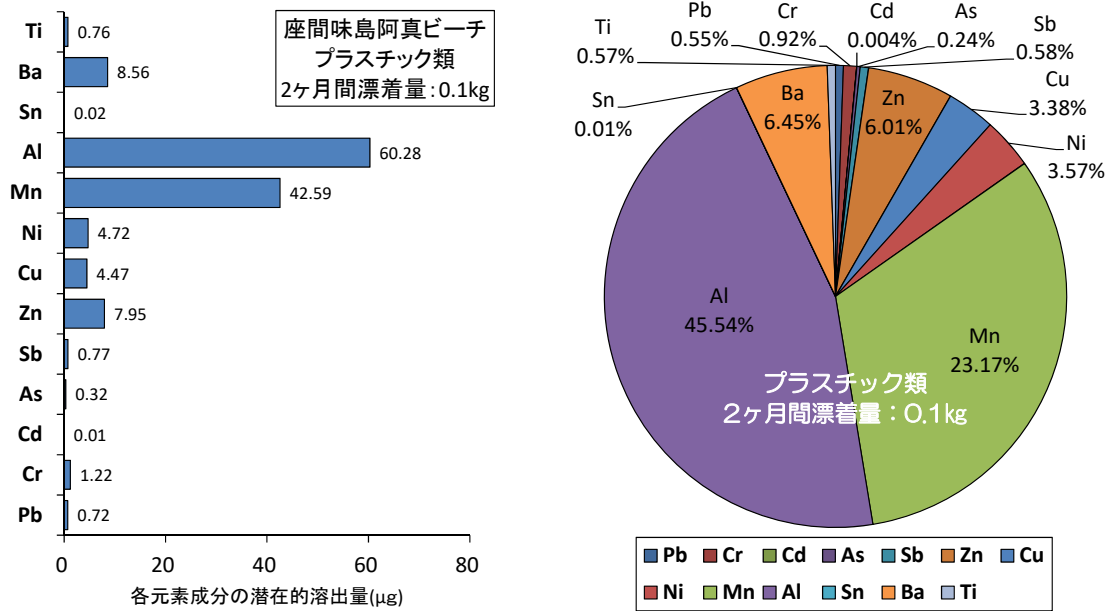


(c) 大型プラスチックゴミ(直径 20cm 以上)



(d) 球管類(電球・蛍光灯管)

図 5-7 座間味島チシ西海岸での構成素材ごとの各元素成分の潜在的溶出量とその溶出比率



(a) プラスチック類

図 5-8 座間味島阿真ビーチでの構成素材ごとの各元素成分の潜在的溶出量とその溶出比率

5. 3 主要構成素材の同一質量(1kg 当たり)での潜在的溶出量の比較

これまで既述した有害化学物質の潜在的溶出量は、対象 4 海岸において、いずれも 0.05km(50m)の調査海岸長を設定し、2 か月間(2019 年 12 月～2020 年 2 月)に漂着堆積したトータル的な漂着量に対応した算定結果である。当然、海洋ゴミの漂着量によってそれを構成する主要素材(①プラスチック類、②発泡スチロール類、③大型プラスチックブイ、④球管類(電球・蛍光灯管))の漂着量も異なっており、海岸域の漂着量の多少によって有害化学物質の潜在的溶出性は大きく左右されている。

そこで、海洋漂着ゴミを構成する主要素材の相違による潜在的な溶出性を比較するために、各素材の漂着量を質量 1kg 当りに基準化して、比較したのが表 5-5(a)～表 5-5(d)と図 5-9(a)～図 5-9(d)である。これらの図より、廃プラスチックでは、同一漂着量(質量)の場合には発泡スチロール類からの各元素成分の溶出性が非常に高いと分かる。中でも他の素材に比較して Al, Mn, Ni, Cu, Zn などの溶出性が高い。また 4 素材の漂着が確認された西表島の高那海岸と座間味島チシ西海岸の結果を見ると、これまでも指摘したように、プラスチック類や大型プラスチックブイの素材からも比較的溶出性の高い元素成分が多く検出される。

なお、球管類(電球・蛍光灯管)の漂着量(高那海岸の場合、全漂着量の約 0.8%、チシ西海岸の場合 0.2%)は、他の素材に比較して非常に少ないが、逆に、同一質量に基準化して比較した場合には、主に金属部分等からの Zn, Ni, Mn, Al, As の元素成分が極めて高い溶出量として評価されることになる。

このような素材分析から判断すると、ブイや漁箱などに使用された発泡スチロール類が大量漂着している場合には、他の漂着素材よりも多孔質な組織構造を有し有害化学物質の吸着性が取り分け高いことから、海岸域での溶出リスクも非常に高いことが窺われる。

表 5-5(a) 西表島高那海岸：各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	2ヶ月間漂着量(kg) (下記総量:110.9kg)	各漂着ゴミの漂着量1kg当たりからの潜在的溶出量($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
①プラスチック類(T α)	70.2	5.46	8.40	0.00	2.90	4.76	83.68	39.98	32.37	268.22	519.24	0.55	122.98	9.56
②発泡スチロール類(パイ・他)(T β)	10.9	261.14	297.43	11.76	303.99	—	3286.38	324.69	227.31	579.88	40705.36	41.38	—	—
③大型プラスチックパイ(直径20cm以上)(T γ)	28.8	5.10	8.94	1.14	6.76	39.18	286.76	59.87	31.02	562.47	420.17	0.51	209.23	5.62
④球管類(電球・蛍光灯管)(T δ)	1.0	13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

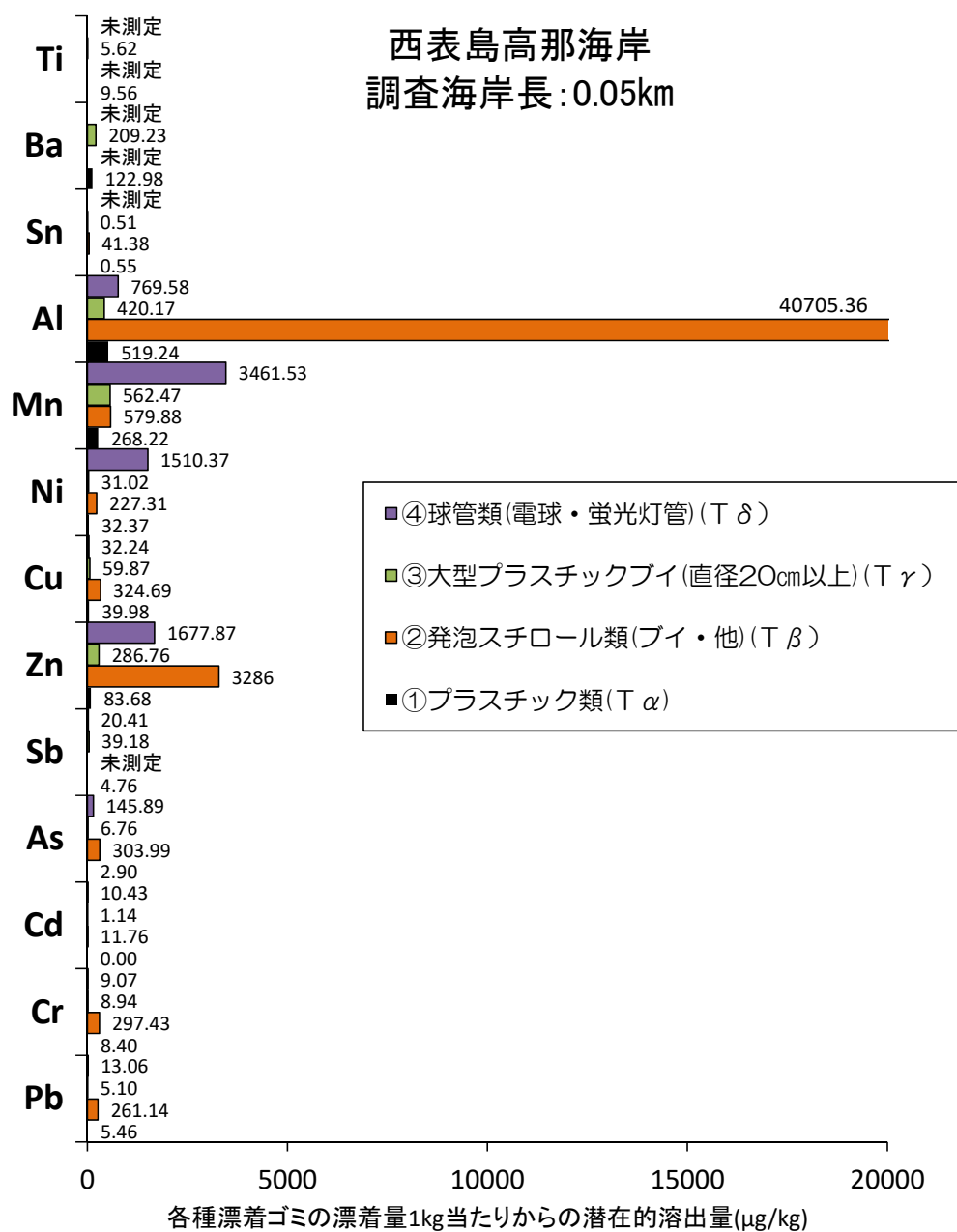


図 5-9(a) 西表島高那海岸：各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の比較

表 5-5(b) 西表島南風見田浜: 各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	2ヶ月間漂着量(kg) (下記総量: 23.8kg)	各漂着ゴミの漂着量1kg当たりからの潜在的溶出量(μg/kg)												
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
①プラスチック類(T _α)	23.6	12.42	15.79	0.00	6.06	11.45	173.27	82.27	72.04	537.12	1077.79	0.88	229.13	17.80
②発泡スチロール類(ツイ・他)(T _β)	0.2	137.40	31.09	78.47	154.59	—	473.32	223.75	182.16	230.72	2269.05	60.45	—	—
③大型プラスチックパイ(直径20cm以上)(T _γ)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
④球管類(電球・蛍光灯管)(T _δ)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

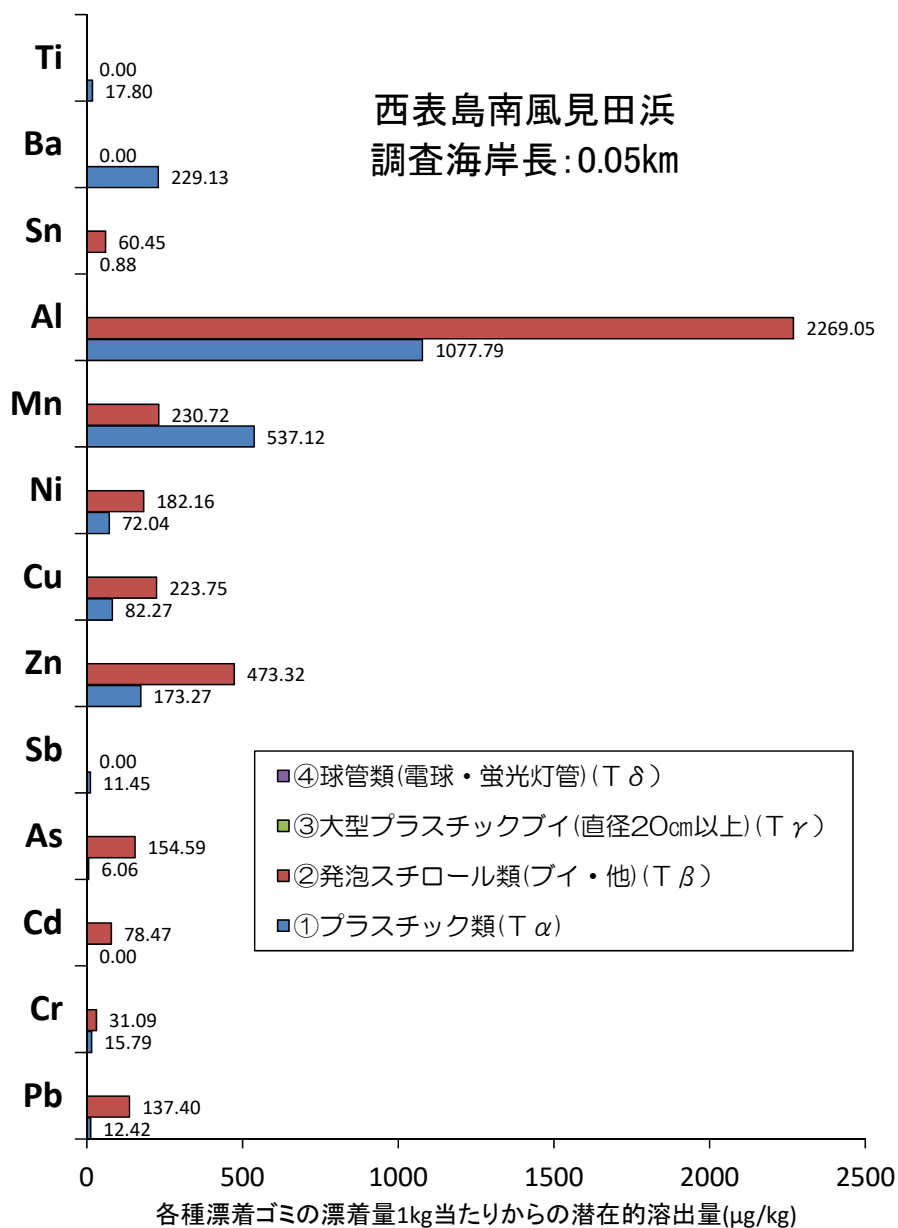


図 5-9(b) 西表島南風見田浜: 各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の比較

表 5-5(c) 座間味島チシ西海岸：各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	2ヶ月間漂着量(kg) (下記総量:40.1kg)	各漂着ゴミの漂着量1kg当たりからの潜在的溶出量(μg/kg)												
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
①プラスチック類(T _α)	16.5	5.38	8.16	0.00	2.87	3.83	79.01	40.13	33.93	247.67	506.42	0.50	119.07	9.07
②発泡スチロール類(パイ・他)(T _β)	22.1	57.82	77.79	60.29	765.51	—	774.37	499.39	627.76	95.76	1931.31	174.80	—	—
③大型プラスチックパイ(直径20cm以上)(T _γ)	1.4	5.39	9.03	1.70	6.54	35.40	258.38	64.80	29.87	546.18	441.17	0.50	201.17	5.97
④球管類(電球・蛍光灯管)(T _δ)	0.1	13.06	9.07	10.43	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—

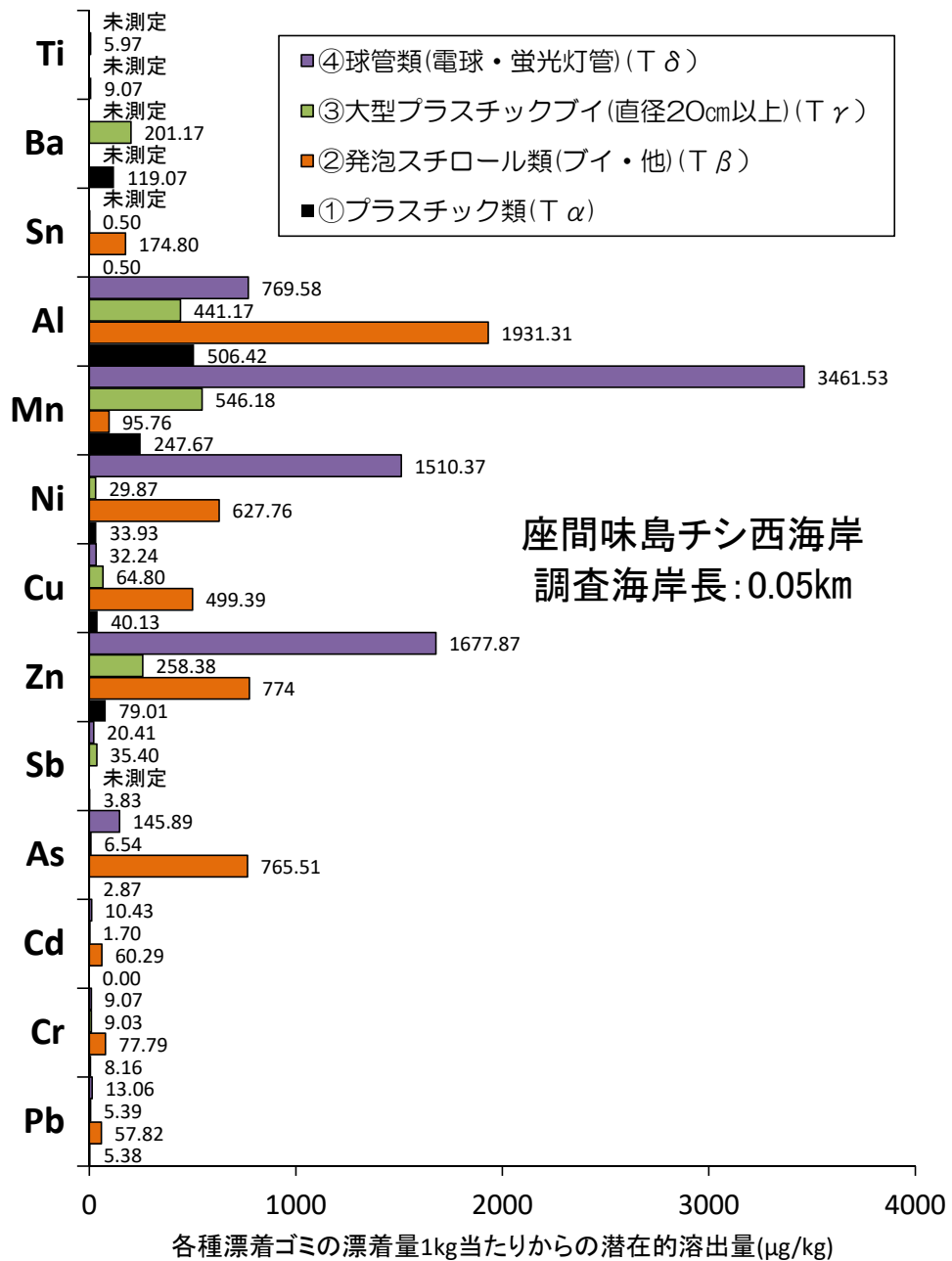


図 5-9(c) 座間味島チシ西海岸：各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の比較

表 5-5(d) 座間味島阿真ビーチ：各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の一覧

解析対象とした漂着ゴミの種類	2ヶ月間漂着量(kg) (下記総量:0.1kg)	各漂着ゴミの漂着量1kg当たりからの潜在的溶出量($\mu\text{g}/\text{kg}$)												
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
①プラスチック類(T_α)	0.1	7.24	12.17	0.05	3.17	7.70	79.50	44.75	47.20	425.88	602.79	0.16	85.57	7.60
②発泡スチロール類(ブイ・他)(T_β)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
③大型プラスチックブイ(直径20cm以上)(T_γ)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
④球管類(電球・蛍光灯管)(T_δ)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—	—

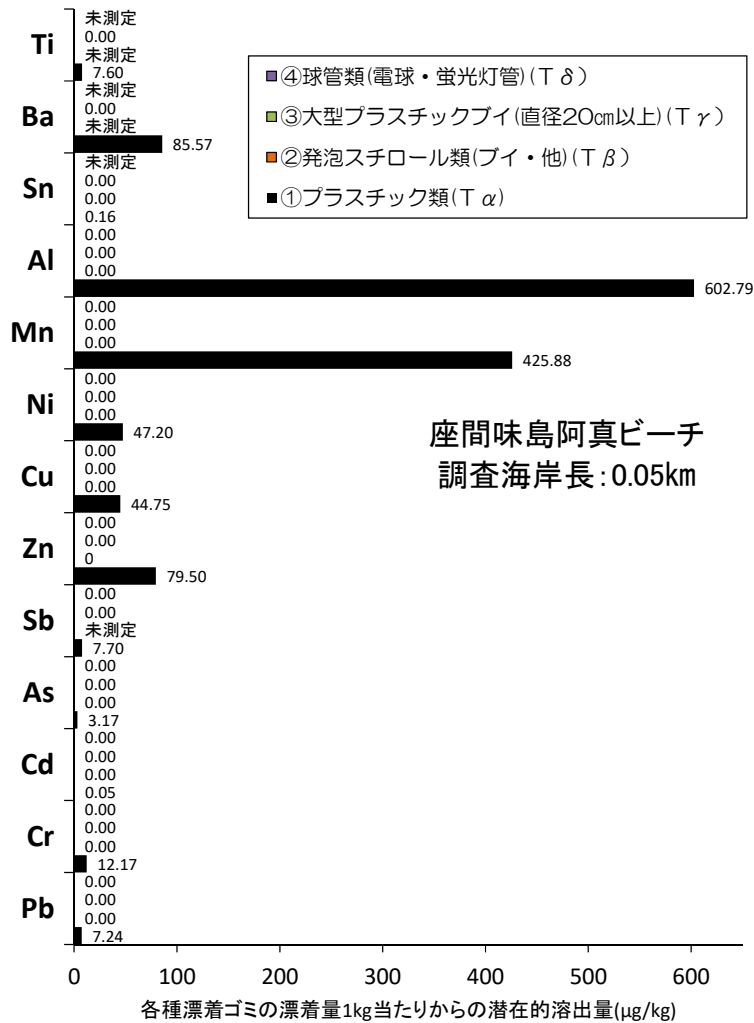


図 5-9(d) 座間味島阿真ビーチ：各漂着素材の漂着量 1kg 当たりからの各元素成分の潜在的溶出量の比較

5. 4 国籍別海洋漂着ゴミの潜在的溶出量の評価

沖縄島嶼の海岸では、近隣アジア諸国からの外国製漂着ゴミが大半を占めているのが特徴的傾向となっている。図 2-3 に表示したように、例えば、西表島高那海岸での海洋漂着ゴミの実態もまた、日本製ゴミの 0.5% に対し、中国製ゴミが 71.3% を占めており、大部分は近隣周辺国からの外国製越境ゴミで構成されている。そこで、ここでは、国籍の相違による海洋漂着ゴミの潜在的溶出量の評価を試みている。

先の表 4-1～表 4-4 に基づき、各種の海洋漂着ゴミについて国籍別に再整理した潜在的溶出量の算定解析フローを表 5-6(a)～表 5-6(d) に示している。さらに、同表に基づいて、対象 4 海岸での 2 か月間の漂着量からの潜在的溶出量を国籍別にまとめたのが表 5-7(a)～表 5-7(d) である。この結果を図化した図 5-10(a)～図 5-10(d) を見ると、国籍判別が可能であった海岸においては、不明ゴミを除くと、全漂着ゴミ量の大半を占める中国製ゴミの潜在的溶出量がいずれの元素成分においても卓越して高い傾向を示していることが分かる。前述したように、当然、各種の元素成分の潜在的溶出量は漂着ゴミの素材にも依存するが、やはり漂着量の多い中国を中心とした近隣国の海洋漂着ゴミが、汚染リスクとなる高い潜在的溶出ポテンシャルを有する傾向にあると言える。

そこで、海洋漂着ゴミの国籍区分が可能であったプラスチック類と大型プラスチックブリの両素材の場合について(表 5-8(a)～表 5-8(c), 表 5-8(d) は不明ゴミ), それぞれ潜在的溶出量の国籍別評価を試みている(図 5-11(a)～図 5-11(c), 図 5-11(d) は不明ゴミ)。不明ゴミを除くと、やはり同タイプの素材間においても、漂着量の多い中国製ゴミにおいて、概ねいずれの元素成分においても極めて高い潜在的溶出量を示していることが分かる。

なお、不明ゴミもまた、中国製ゴミに匹敵する高い溶出性を示す元素成分が多く認められる。ここでは国籍判別できない漂着ゴミを不明ゴミとしている。ラベルや標記文字の消失などで不明ゴミ化することから、不明ゴミには遠距離から長期間漂流・浮遊して漂着した近隣国からのものが相当量含まれている可能性が極めて高い。そのため近隣諸国からの外国製ゴミと同様に、不明ゴミからの各元素成分の潜在的溶出性もまた全般的に高い傾向を示しているものと推察される。

以上、ニタ海岸での一連の潜在的溶出量の算定解析を通し、各種有害化学物質の潜在的溶出量は漂着ゴミのタイプや国籍に依存するが、最も大きな要因は、漂着ゴミのタイプや国籍を構成しているそれぞれの漂着量にあると言える。即ち、各種の廃プラスチック類ゴミにおいて、その漂着量の多少が有害化学物質の潜在的溶出量を大きく支配している要因となっていることが分かった。

表 5-6(a) 西表島高那海岸：国籍別漂着ゴミの潜在的溶出量の算定解析フロー

1)日本製ゴミ

種類	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)													
	$\Sigma M^{(X)}(j)(kg) = \Sigma P(j)^x \cdot m_e^x$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
プラスチック類(T _e)	0.4	2.32	9.15	0.00	2.56	3.41	29.55	36.54	65.34	608.82	466.34	0.11	3.56	8.91
大型プラスチックブイ(T _r)	0.2	4.91	18.98	17.62	2.35	17.82	83.04	18.69	16.55	220.25	410.89	0.68	119.65	4.07
累計	0.6													

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{(X)}(j)(kg) \cdot \alpha^{(X)}(j)$ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
0.93	3.66	0.00	1.03	1.36	11.82	14.62	26.14	243.53	186.54	0.04	0.04	1.43	3.56	
0.98	3.72	3.52	0.47	3.56	16.61	3.74	3.31	44.05	82.18	0.14	0.14	23.93	0.81	
1.91	7.38	3.52	1.50	4.93	28.43	18.36	29.45	287.58	268.71	0.18	0.18	25.36	4.38	

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\alpha^{(X)}(j) \cdot Y$ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
1.91	7.38	3.52	1.50	4.93	18.36	28.43	29.45	287.58	268.71	0.18	0.18	25.36	4.38	

2)中国製ゴミ

種類	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)													
	$\Sigma M^{(X)}(j)(kg) = \Sigma P(j)^x \cdot m_e^x$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
プラスチック類(T _e)	62.2	5.11	8.63	0.00	2.83	4.24	82.49	39.45	30.27	263.01	509.11	0.61	128.26	9.86
大型プラスチックブイ(T _r)	25.5	5.07	8.89	1.13	7.14	41.86	303.23	58.49	32.92	597.67	410.11	0.47	216.83	4.84
累計	87.7													

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{(X)}(j)(kg) \cdot \alpha^{(X)}(j)$ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
317.79	536.80	0.00	176.09	263.50	5130.86	1882.81	16359.51	31666.45	37.82	7977.53	613.57	123.38		
129.18	226.80	28.70	182.08	1067.54	7732.32	839.50	15240.69	10457.76	12.00	5531.72	49.82	13509.24		
446.97	763.60	28.70	358.17	1331.04	12863.18	2722.31	31600.19	42124.22	49.82	13509.24	49.82	736.95		

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\alpha^{(X)}(j) \cdot Y$ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
446.97211	763.59616	28.702947	358.172306	1331.0384	12863.18321	3945.098936	2722.3089	31600.193	42124.2171	49.823098	13509.2423	736.95351		

3)台湾製ゴミ

種類	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)													
	$\Sigma M^{(X)}(j)(kg) = \Sigma P(j)^x \cdot m_e^x$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
プラスチック類(T _e)	2.3	11.66	7.36	0.00	4.29	24.41	144.33	46.73	60.04	684.75	831.35	0.00	43.64	9.53
大型プラスチックブイ(T _r)	0.9	2.08	11.98	0.00	1.10	31.01	277.01	9.09	6.31	15.24	335.73	1.45	141.11	14.79
累計	3.2													

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\Sigma M^{(X)}(j)(kg) \cdot \alpha^{(X)}(j)$ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
26.82	16.93	0.00	9.88	56.15	331.95	107.49	138.10	1574.93	1912.11	0.00	0.00	100.36	21.92	
1.87	10.78	0.00	0.99	27.90	249.31	8.18	5.68	13.71	302.15	1.30	1.30	127.00	13.31	
28.69	27.70	0.00	10.87	84.05	581.26	115.67	143.78	1588.64	2214.27	1.30	227.36	35.23		

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $\alpha^{(X)}(j) \cdot Y$ (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
28.69	27.70	0.00	10.87	84.05	581.26	115.67	143.78	1588.64	2214.27	1.30	227.36	35.23		

4) 韓国製ゴミ

種類	各元素成分の国籍別ごとの潜在的溶出係数 $\alpha^{AX}(j) = \alpha^{AX} (\mu\text{g}/\text{kg})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	3.8	5.20	0.00	3.15	1.64	72.23	44.98	46.44	65.40	501.68	0.00	97.23	4.62	
大型プラスチック類(T _r)	1.6	6.84	0.00	4.39	3.71	55.28	115.47	16.48	351.93	629.24	0.63	136.03	13.05	
累計	5.4													

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別ごとの潜在的溶出量 $\sum M^{AX}(j)(\text{kg}) \cdot \alpha^{AX}(j) (\mu\text{g})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	19.76	6.24	0.00	11.96	170.93	274.46	176.46	248.51	1906.37	0.00	369.47	17.56		
大型プラスチック類(T _r)	10.94	5.94	0.00	7.02	184.75	88.44	26.36	563.09	1006.79	1.00	217.65	20.88		
累計	30.70	12.19	0.00	18.99	355.69	362.90	202.83	811.60	2913.16	1.00	587.12	38.44		

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^{(j)} \gamma (\mu\text{g})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	30.70	12.19	0.00	18.99	355.69	362.90	202.83	811.60	2913.16	1.00	587.12	38.44		
大型プラスチック類(T _r)														
累計														

5) 他外国製ゴミ

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別ごとの潜在的溶出係数 $\alpha^{AX}(j) = \alpha^{AX} (\mu\text{g}/\text{kg})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	0	30.49	0.26	3.01	4.78	68.92	56.02	33.89	507.44	705.46	0.11	155.19	5.08	
他外国製(O)	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
累計	0													

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別ごとの潜在的溶出量 $\sum M^{AX}(j)(\text{kg}) \cdot \alpha^{AX}(j) (\mu\text{g})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
他外国製(O)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
累計	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^{(j)} \gamma (\mu\text{g})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
他外国製(O)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
累計	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

6) 不明ゴミ

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別ごとの潜在的溶出係数 $\alpha^{AX}(j) = \alpha^{AX} (\mu\text{g}/\text{kg})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	1.5	8.40	0.00	2.90	4.76	83.68	39.98	32.37	288.22	519.24	0.55	122.98	9.56	
発泡スチロール類(T _b)	10.9	297.43	11.76	303.99	—	3286.38	324.69	227.31	579.88	40705.36	41.38	—	—	
大型プラスチック類(T _r)	0.6	8.94	1.14	6.76	39.18	286.76	59.87	31.02	562.47	420.17	0.51	209.23	5.62	
球管類(電球・蛍光灯管)(T _d)	1.0	13.06	9.07	145.89	20.41	1677.87	32.24	1510.37	3461.53	769.58	—	—	—	
累計	14.0													

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別ごとの潜在的溶出量 $\sum M^{AX}(j)(\text{kg}) \cdot \alpha^{AX}(j) (\mu\text{g})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	12.80	7.15	0.00	4.34	59.97	125.53	49.55	402.32	778.85	0.83	184.47	14.34		
発泡スチロール類(T _b)	3241.97	—	128.14	3313.51	3539.14	35821.57	2477.64	6320.65	451.06	451.06	—	—	—	
大型プラスチック類(T _r)	5.37	23.51	0.69	4.05	35.92	172.06	18.61	337.48	252.10	0.31	125.54	3.37		
球管類(電球・蛍光灯管)(T _d)	9.07	20.41	10.43	145.89	32.24	1677.87	3461.53	1510.37	769.58	—	—	—		
累計	3269.01	51.06	139.26	3467.80	3667.26	37797.02	4055.17	10521.98	2251.59	452.19	310.01	17.71		

種類	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 $d^{(j)} \gamma (\mu\text{g})$													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Al	Mn	Sn	Ba	Ti	
プラスチック類(T _a)	3269.01	51.06	139.26	3467.80	3667.26	37797.02	4055.17	10521.98	2251.59	452.19	310.01	17.71		
発泡スチロール類(T _b)														
大型プラスチック類(T _r)														
球管類(電球・蛍光灯管)(T _d)														
累計														

表 5-7(a) 西表島高那海岸：全漂着ゴミに算定解析された潜在的溶出量の一覧

国籍区分	国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d ⁽⁰⁾ (μg)											
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba
日本製(J)	0.6	1.91	7.38	3.52	1.50	4.93	28.43	18.36	29.45	287.58	268.71	25.36	4.38
中国製(C)	87.7	446.97	763.60	28.70	358.17	1331.04	12863.18	3945.10	2722.31	31600.19	42124.22	13509.24	736.95
台湾製(T)	3.2	28.69	27.70	0.00	10.87	84.05	581.26	115.67	143.78	1588.64	2214.27	227.36	35.23
韓国製(K)	5.4	41.22	30.70	0.00	18.99	12.19	362.90	355.69	202.83	811.60	2913.16	587.12	38.44
他外国製(O)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	1.4	2870.73	3269.01	139.26	3467.80	51.06	37797.02	3667.26	4055.17	10521.98	2251.59	3100.1	17.71
累計	110.9	3389.53	4098.38	171.48	3857.33	1483.27	51632.80	8102.07	7153.53	44810.00	49771.94	14659.09	832.71

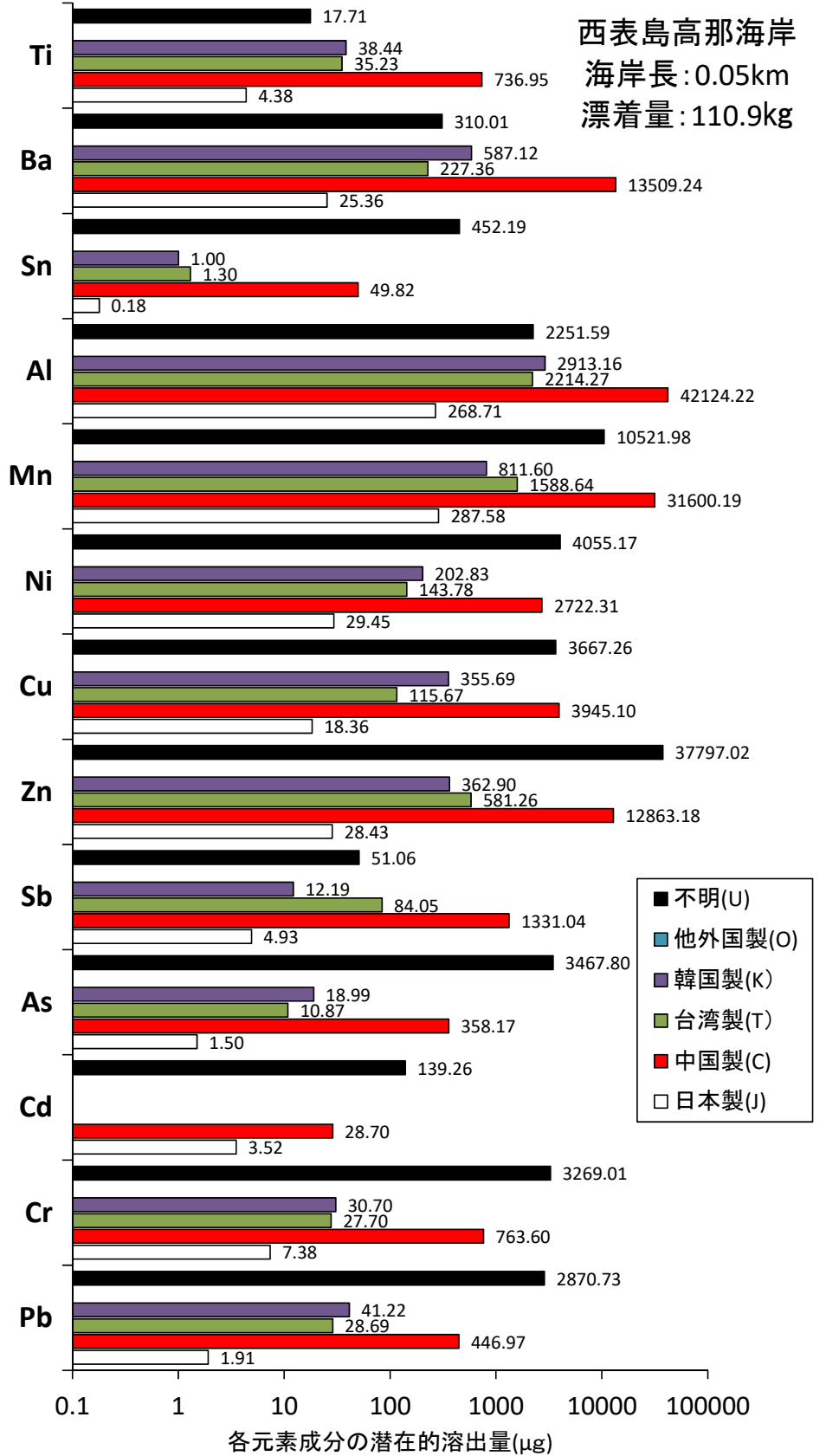


図 5-10(a) 西表島高那海岸：全漂着ゴミからの各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-7(b) 西表島南風見田浜：全漂着ゴミの国籍別に算定解析された潜在的溶出量の一覧

国籍別漂着ゴミ	国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d^0 (μg)												
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中国製(C)	11.1	56.71	95.90	0.00	31.42	47.02	915.64	437.85	336.00	2919.46	5651.09	1423.64	109.50	
台湾製(T)	4.2	48.98	30.91	18.04	102.53	606.17	196.28	196.28	252.18	2875.96	3491.69	183.27	40.02	
韓国製(K)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
他外国製(O)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
不明(U)	8.5	84.82	74.95	57.75	81.13	920.22	388.76	355.51	3190.06	4971.90	14114.67	871.73	81.11	
累計	23.8	190.51	201.66	15.69	107.21	230.68	2442.03	1022.89	943.70	8985.48	22.50	2478.64	2306.3	

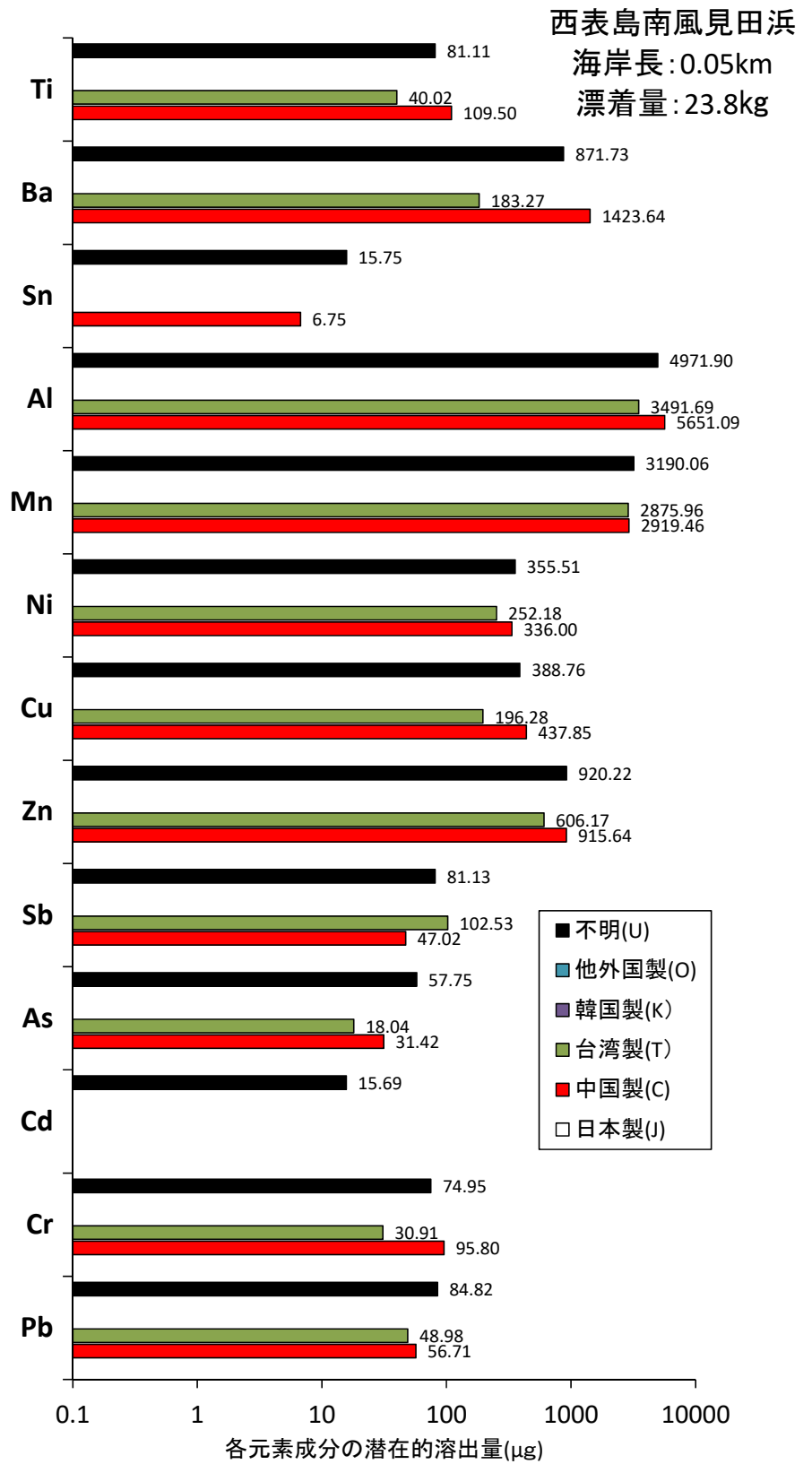


図 5-10(b) 西表島南風見田浜：全漂着ゴミからの各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-7(c) 座間味島チシ西海岸：全漂着ゴミの国籍別に算定解析された潜在的溶出量の一覧

国籍区分	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d(0.1) (μg)													
	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	累計
日本製(J)	1.41	5.51	0.88	1.41	2.60	18.92	19.21	33.50	315.42	253.71	0.09	7.76	4.66	
中国製(C)	59.84	101.39	1.04	37.14	84.27	1169.86	479.83	357.21	3390.42	5875.66	7.00	1584.74	110.99	
台湾製(T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
韓国製(K)	15.88	10.97	0.00	6.68	3.72	146.07	103.94	90.87	180.56	1053.87	0.10	206.50	10.87	
他外国製(O)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
不明(U)	1298.36	1749.51	1333.89	16943.60	24.24	17611.81	11189.65	14144.61	3427.16	5730.27	3864.81	447.24	31.55	
累計	1375.49	1867.38	1335.80	16988.84	114.82	18946.67	11792.63	14626.18	7313.57	12913.51	3872.00	2246.24	158.07	

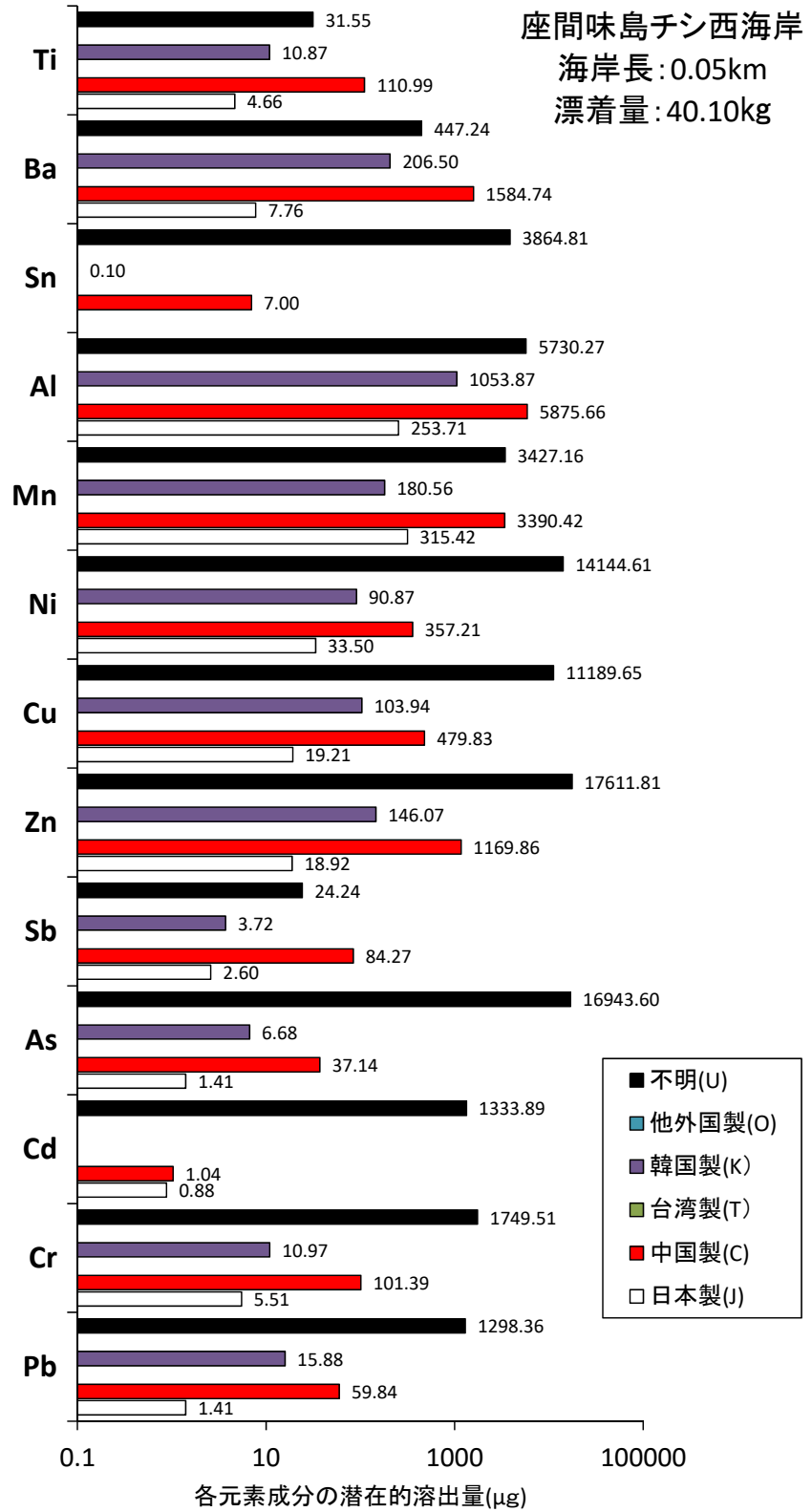


図 5-10(c) 座間味島チシ西海岸：全漂着ゴミからの各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-7(d) 座間味島阿真ビーチ：全漂着ゴミに算定解析された潜在的溶出量の一覧

国籍別漂着ゴミ	国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の潜在的溶出量 d(U) (μg)													
		Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti	
日本製(J)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
中国製(C)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
台湾製(T)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
韓国製(K)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
他外国製(O)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
不明(U)	0.1	0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76	
累計	0.1	0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76	

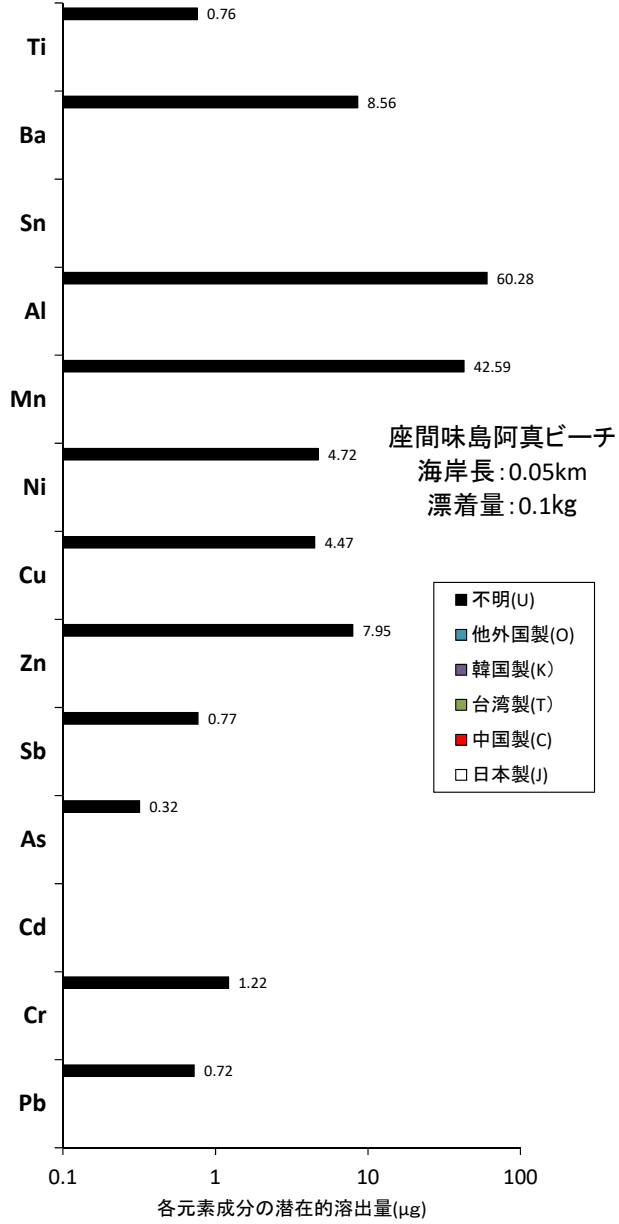


図 5-10(d) 座間味島阿真ビーチ：全漂着ゴミからの各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-8(a) 西表島高那海岸：プラスチック類と大型プラスチックブイの場合の国籍別に算定解析

a)プラスチック類(T_a)

国籍区分	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AOX(j)}(kg) \cdot \alpha^{AOX(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AOX(j)}(kg) = \sum p(j)^x$ (個) $\cdot m_a^x$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.4	0.93	3.66	0.00	1.03	1.36	11.82	14.62	26.14	243.53	186.54	0.04	1.43	3.56
中国製(C)	62.2	317.79	536.80	0.00	176.09	263.50	5130.86	2453.53	1882.81	16359.51	31666.45	37.82	7977.53	613.57
台湾製(T)	2.3	26.82	16.93	0.00	9.88	56.15	331.95	107.49	138.10	1574.93	1912.11	0.00	100.36	21.92
韓国製(K)	3.8	29.40	19.76	0.00	11.96	6.24	274.46	170.93	176.46	248.51	1906.37	0.00	369.47	17.56
他外国製(O)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	1.5	8.19	12.60	0.00	4.34	7.15	125.53	59.97	48.55	402.32	778.85	0.83	184.47	14.34
累計	70.2	383.13	589.74	0.00	203.31	334.40	5874.61	2806.53	2272.06	18828.80	36450.33	38.69	8633.26	670.95

b)大型プラスチックブイ(T_b)

国籍区分	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AOX(j)}(kg) \cdot \gamma^{AOX(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AOX(j)}(kg) = \sum p(j)^y$ (個) $\cdot m_b^y$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.2	0.98	3.72	3.52	0.47	3.56	16.61	3.74	3.31	44.05	82.18	0.14	23.93	0.81
中国製(C)	25.5	129.18	226.80	28.70	182.08	1067.54	7732.32	1491.57	839.50	15240.69	10457.76	12.00	5531.72	123.38
台湾製(T)	0.9	1.87	10.78	0.00	0.99	27.90	249.31	8.18	5.68	13.71	302.15	1.30	127.00	13.31
韓国製(K)	1.6	11.82	10.94	0.00	7.02	5.94	88.44	184.75	26.36	563.09	1006.79	1.00	217.65	20.88
他外国製(O)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	0.6	3.06	5.37	0.69	4.05	23.51	172.06	35.92	18.61	337.48	252.10	0.31	125.54	3.37
累計	28.8	146.91	257.60	32.91	194.62	1128.46	8258.74	1724.16	893.46	16199.02	12100.98	14.76	6025.83	161.76

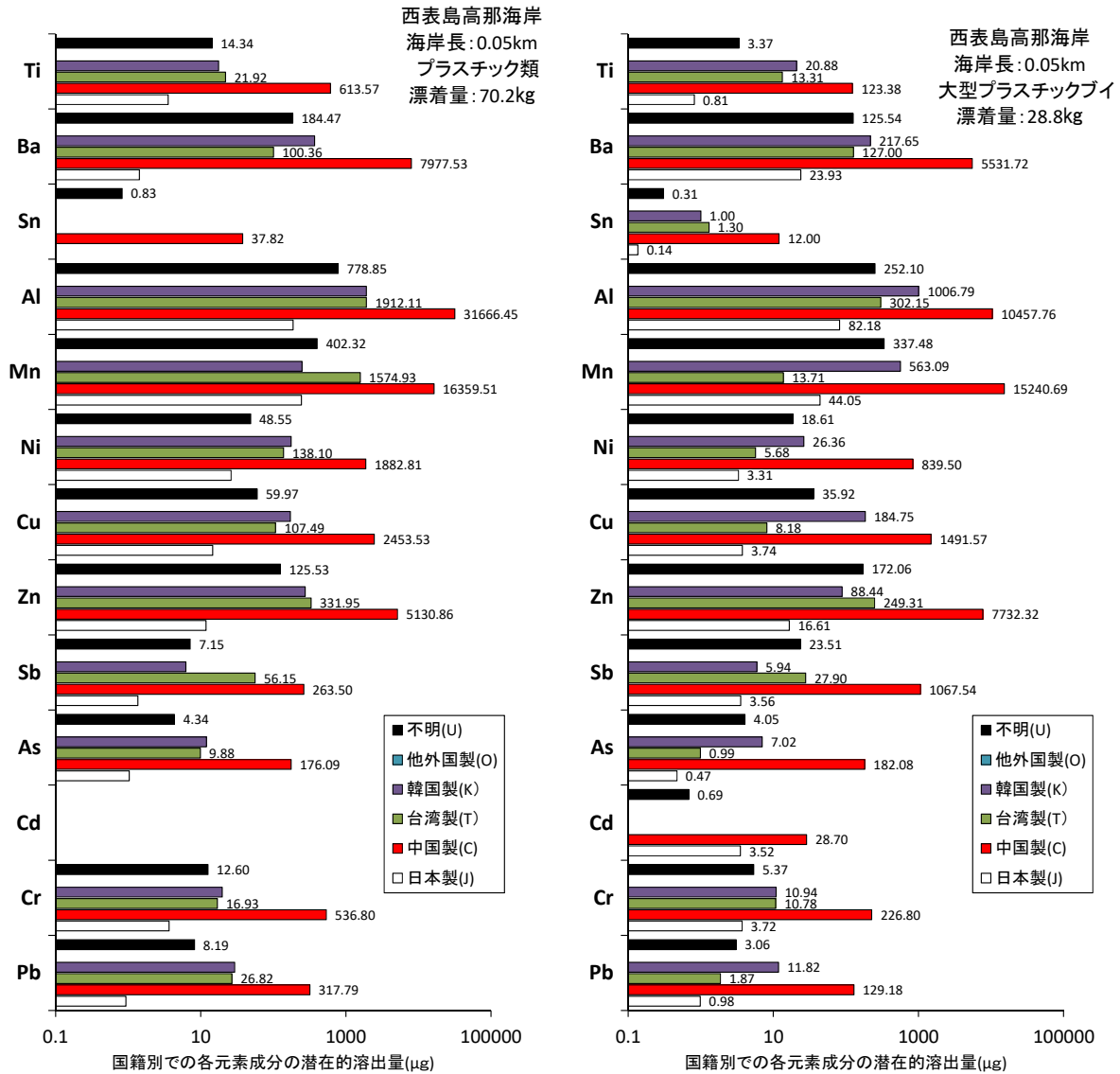


図 5-11(a) 西表島高那海岸：プラスチック類と大型プラスチックブイの場合での各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-8(b) 西表島南風見田浜:プラスチック類と大型プラスチックブイの場合の
国籍別に算定解析

a)プラスチック類(T_a)

国籍区分	調査海岸での国籍別 漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AOX(j)} \cdot \alpha^{AOX(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AOX(j)} \cdot m_a^X$ (個) $\cdot m_a^X$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中国製(C)	11.1	56.71	95.80	0.00	31.42	47.02	915.64	437.85	336.00	2919.46	5651.09	6.75	1423.64	109.50
台湾製(T)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韓国製(K)	4.2	32.49	21.83	0.00	13.22	6.90	303.35	188.93	195.04	274.67	2107.04	0.00	408.36	19.41
他外国製(O)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	8.3	57.34	68.73	0.00	26.83	81.13	825.56	344.01	319.08	3143.92	4959.80	3.66	871.73	81.11
累計	23.6	146.54	186.36	0.00	71.48	135.05	2044.54	970.78	850.12	6338.05	12717.94	10.41	2703.73	210.02

b)大型プラスチックブイ(T_γ)

国籍区分	調査海岸での国籍別 漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AOX(j)} \cdot \gamma^{AOX(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AOX(j)} \cdot m_\gamma^X$ (個) $\cdot m_\gamma^X$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中国製(C)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
台湾製(T)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韓国製(K)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
他外国製(O)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
累計	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

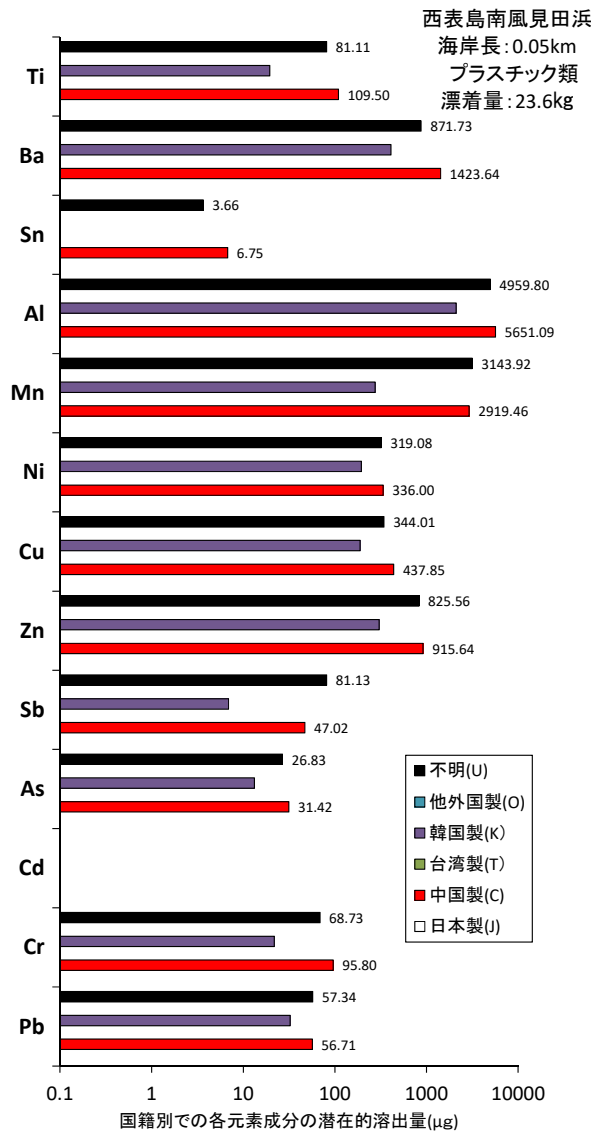


図 5-11(b) 西表島南風見田浜:プラスチック類と大型プラスチックブイの場合での各元素成分
の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-8(c) 座間味島チシ西海岸：プラスチック類と大型プラスチックブイの場合
の国籍別に算定解析

a)プラスチック類(T_a)

国籍区分	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AOX(j)}(kg) \cdot \alpha^{AOX(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AOX(j)}(kg) = \sum p(j) \cdot x$ (個)・m _a ^x (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.5	1.16	4.58	0.00	1.29	1.70	14.77	18.27	32.67	304.41	233.17	0.05	1.78	4.45
中国製(C)	10.8	55.18	93.21	0.00	30.58	45.75	890.89	426.01	326.92	2840.56	5498.36	6.57	1385.17	106.54
台湾製(T)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韓国製(K)	1.9	14.70	9.88	0.00	5.98	3.12	137.23	85.47	88.23	124.26	953.19	0.00	184.74	8.78
他外国製(O)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	3.3	17.76	26.92	0.00	9.46	12.64	260.72	132.44	111.96	817.31	1671.18	1.66	392.92	29.94
累計	16.5	88.80	134.58	0.00	47.31	63.22	1303.61	662.19	559.78	4086.53	8355.89	8.28	1964.60	149.71

b)大型プラスチックブイ(T_b)

国籍区分	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AOX(j)}(kg) \cdot \gamma^{AOX(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AOX(j)}(kg) = \sum p(j) \cdot x$ (個)・m _b ^x (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.05	0.25	0.93	0.88	0.12	0.89	4.15	0.93	0.83	11.01	20.54	0.03	5.98	0.20
中国製(C)	0.92	4.66	8.18	1.04	6.57	38.52	278.97	53.81	30.29	549.86	377.30	0.43	199.58	4.45
台湾製(T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韓国製(K)	0.16	1.18	1.09	0.00	0.70	0.59	8.84	18.48	2.64	56.31	100.68	0.10	21.76	2.09
他外国製(O)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	0.27	1.45	2.44	0.46	1.77	9.56	69.76	17.50	8.06	147.47	119.12	0.14	54.32	1.61
累計	1.40	7.54	12.64	2.37	9.15	49.56	361.73	90.72	41.82	764.65	617.64	0.70	281.64	8.35

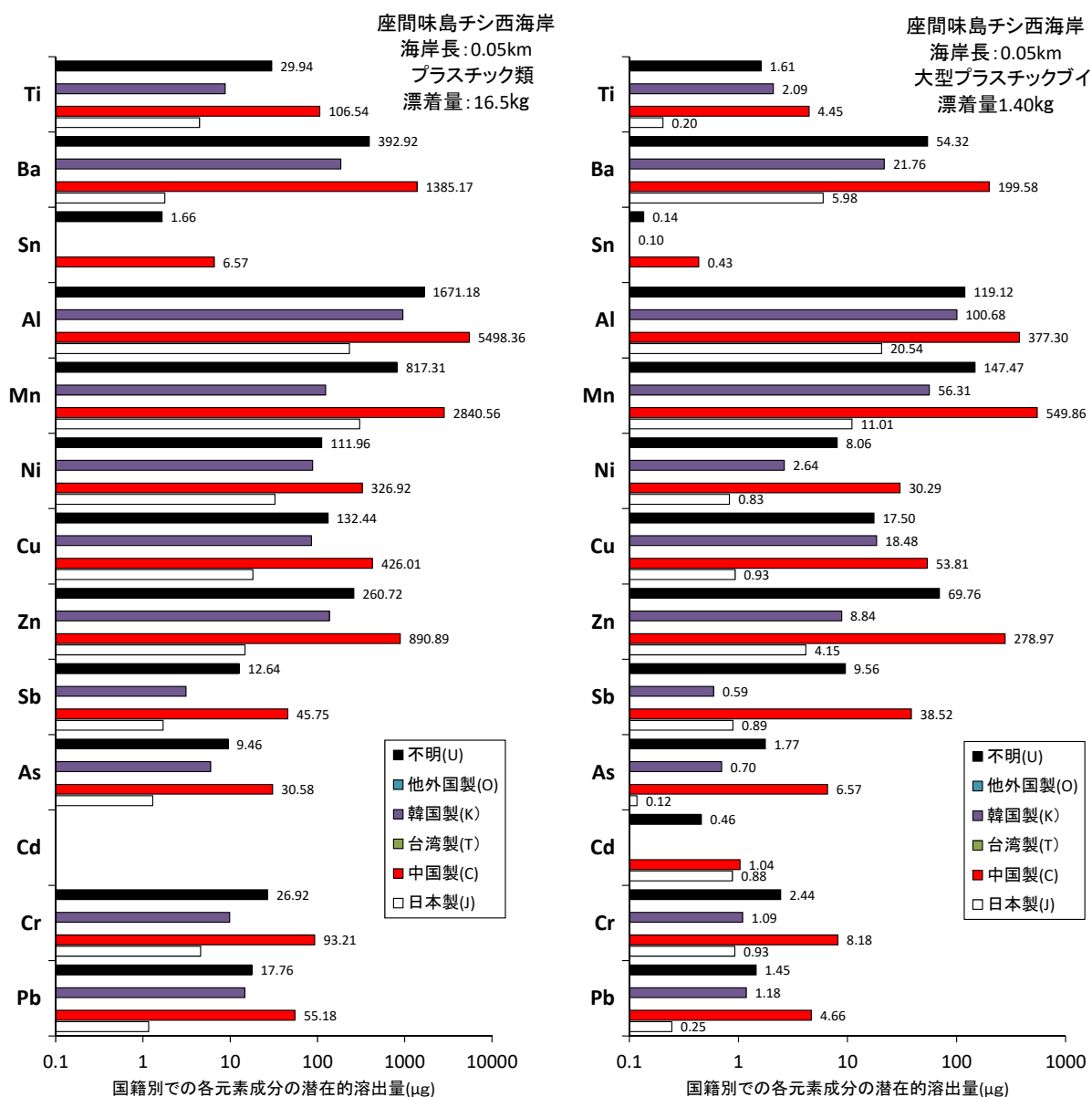


図 5-11(c) 座間味島チシ西海岸：プラスチック類と大型プラスチックブイの場合での各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

表 5-8(d) 座間味島阿真ビーチ:プラスチック類と大型プラスチックブイの場合
の国籍別に算定解析

a)プラスチック類(T _a)														
国籍区分	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AO(j)}(kg) \cdot \alpha^{AO(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AO(j)}(kg) = \sum p(j) \cdot x$ (個)・ $m_a \cdot x$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中国製(C)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
台湾製(T)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韓国製(K)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
他外国製(O)	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	0.1	0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76
累計	0.1	0.72	1.22	0.01	0.32	0.77	7.95	4.47	4.72	42.59	60.28	0.02	8.56	0.76

b)大型プラスチックブイ(T _b)														
国籍区分	調査海岸での国籍別漂着質量(kg)	調査海岸長(0.05km)での各元素成分の国籍別潜在的溶出量 $\sum M^{AO(j)}(kg) \cdot \gamma^{AO(j)}$ (μg)												
	$\sum M^{AO(j)}(kg) = \sum p(j) \cdot x$ (個)・ $m_a \cdot x$ (kg/個)	Pb	Cr	Cd	As	Sb	Zn	Cu	Ni	Mn	Al	Sn	Ba	Ti
日本製(J)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
中国製(C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
台湾製(T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
韓国製(K)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
他外国製(O)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
不明(U)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
累計	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

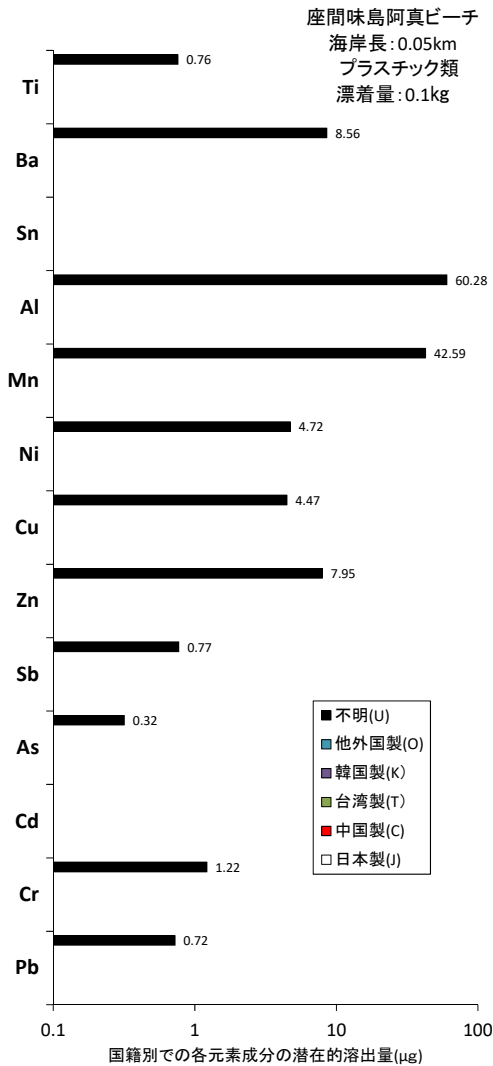


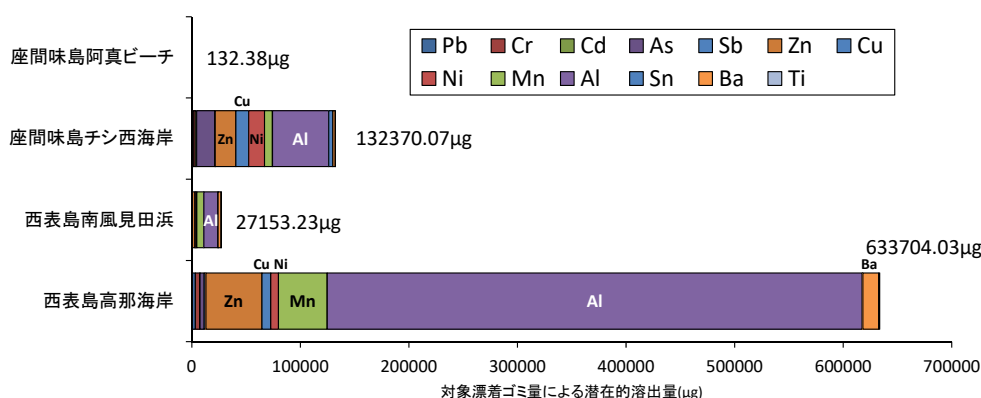
図 5-11(d) 座間味島阿真ビーチ:プラスチック類と大型プラスチックブイの場合での各元素成分の潜在的溶出量の国籍別比較

6. 海洋漂着ゴミの回収除去・軽減抑制対策の重要性～対象4海岸からの警鐘～

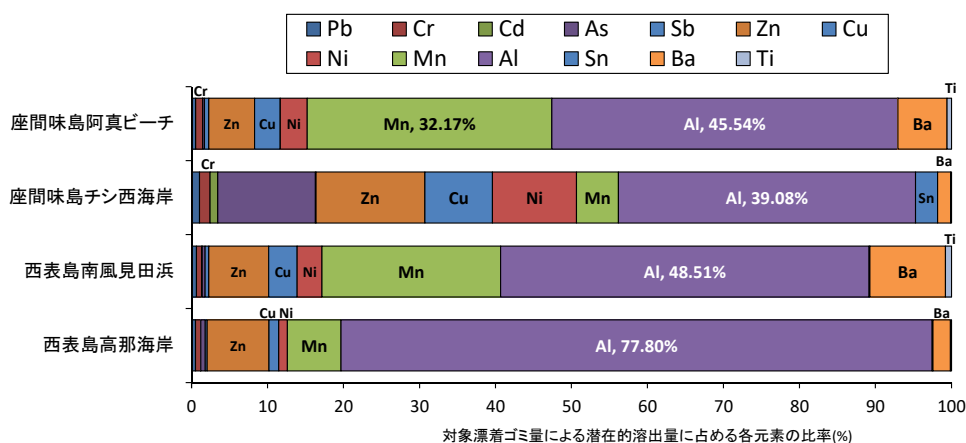
これまで4海岸を対象に実施した同一モニタリング調査結果(調査期間 60日(2019年12月～2020年2月), 調査海岸長 50m)に基づいて, 海洋漂着ゴミによる有害リスクを定量的に把握するために, 評価モデルによる重金属類等の潜在的溶出量の評価を試みてきた. 有害元素成分の溶出性は, 海洋ゴミの漂着量をはじめ, 構成素材の種類や国籍(生産国)状況など, 漂着する海洋ゴミの量と質に大きく左右されることが分かった.

今回は, 西表島と座間味島を対象に, 両島において, 特に漂着量の多い高那海岸とチシ西海岸, 漂着量の少ない南風見田浜と阿真ビーチをそれぞれ取り上げ, 潜在的溶出性に関するモデル解析を実施し, 重金属類等の潜在的溶出ポテンシャルの比較検証を試みてきた.

さらにここでは, 海洋ゴミの漂着量の多少に着目して, 図6-1と図6-2にそれぞれ4海岸での潜在的溶出量を併記して比較検証している. 当然のことと言えるが, 両図より, 海洋漂着ゴミによる重金属類等の潜在的溶出ポテンシャルは, 漂着ゴミのトータル量に大きく依存していることが理解できる. また各有害元素の潜在的溶出性のリスクは, 漂着ゴミの量的構成比率や国籍(生産国)比率によって左右され, 発泡スチロール類や中国製ゴミの比率の高い海岸域では, Al, Mn, Zn, Baなどの有害リスクの高まる傾向にあることが明瞭に分かる.



(a) 4海岸での潜在的溶出量の比較



(b) 4海岸での潜在的溶出量比率の比較

図6-1 西表島と座間味島での対象4海岸での潜在的溶出性の比較検証

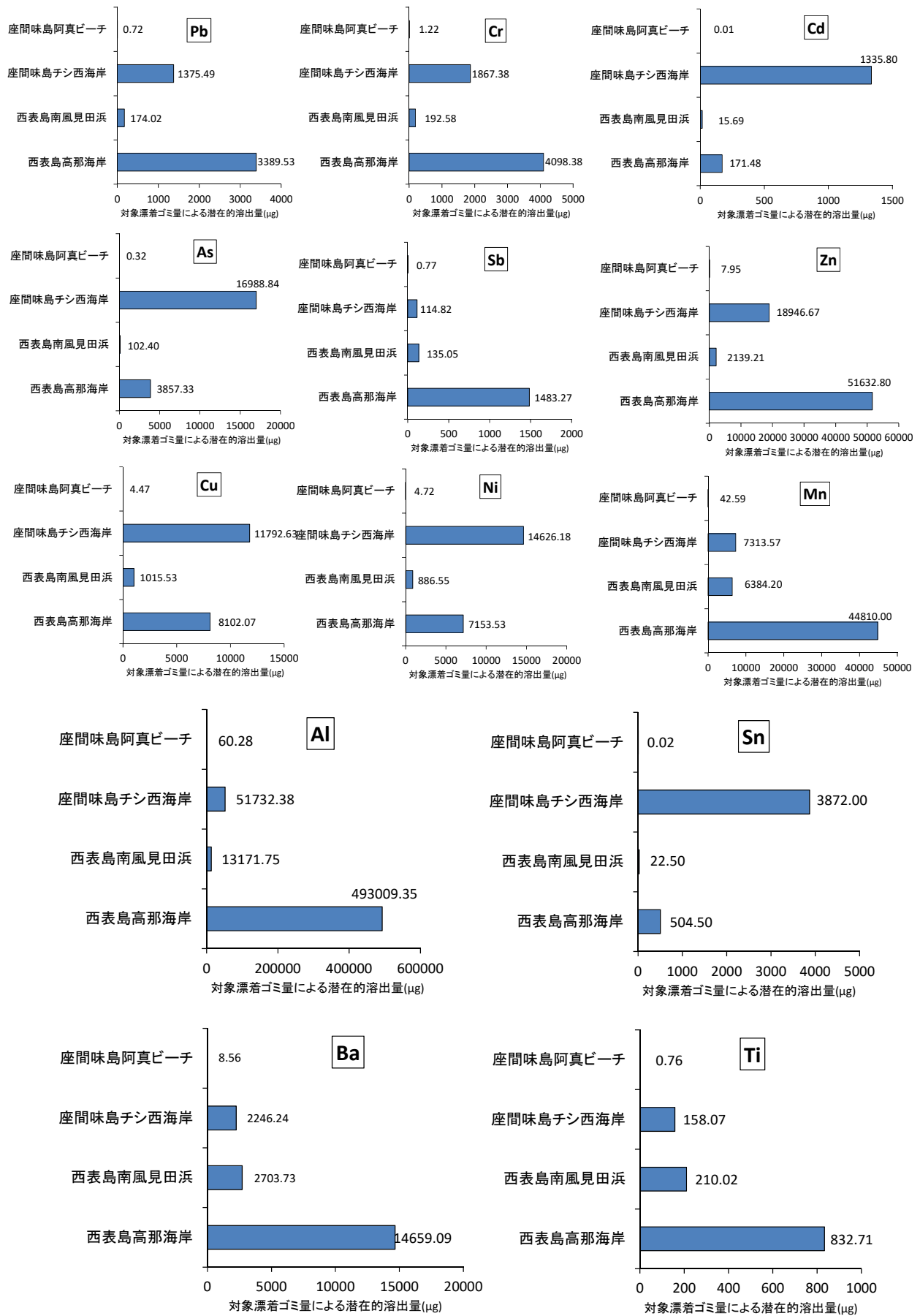


図 6-2 西表島と座間味島での対象 4 海岸での元素成分ごとの潜在的溶出性の比較検証

以上、対象4海岸での一連の潜在的溶出量の算定解析を通し、有害化学物質の潜在的溶出ポテンシャルを支配する最も大きな要因は海洋ゴミの漂着量にある。しかも構成素材や国籍(生産国)も重要なファクターとなっていることが分かった。即ち、漂着廃プラスチックの種類とその漂着量が有害化学物質の潜在的溶出性を大きく支配する要因となっていることがモデル解析によって、科学的に検証されたと言える。

そのためにも、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の漂着が年々深刻度を増す沖縄島嶼では、停滞・放置を許さない持続的な回収除去による海岸保システムを、如何に造り上げるかが最も重要な課題と言える。

7. 所感～深刻化するマイクロプラスチック対策の強化を急げ

廃プラスチックによる海洋・海岸汚染問題が地球規模的な広がりを見せる中、社会的にも大きな関心事となっている昨今では、全国的にもかなりの頻度で大規模に清掃活動の実施される海岸が多く見られる。だが特に、近隣アジア諸国(主に中国、韓国)からの海洋越境ゴミの大量漂着が繰り返される沖縄島嶼をはじめ日本海沿岸・離島などでは、未だに海洋漂着ゴミに埋め尽くされ、自然破壊を齎している海岸・沿岸光景に遭遇する機会が多い。外来廃プラスチックなどの海洋ゴミは海浜域に棲息・繁茂する動植物生態系への甚大なダメージとなっていることは、これまでの専門家会議でも明らかとなっている。

ここでは、筆者の長年の沖縄島嶼での調査成果を踏まえて、廃プラスチックの海洋ゴミの中でも、殆ど漁業・水産関係に特定される海洋発泡スチロール(ブイ・漁箱に利用)を取り上げる。これまでのモデル解析でも指摘したように、多孔質な組織構造を有し破碎性や有害化学物質の吸着性の高い発泡スチロール類は、マイクロプラスチックを構成する主要な素材の供給源となっていることを明かし、早急な使用方法の見直しや規制強化が必要であることに警鐘を鳴らす。

(1) 海洋発泡スチロール類の海岸破壊の深刻な実態

沖縄島嶼の海洋漂着ゴミの大半は生活系と漁業系の外来廃プラスチックに由来している。中でもペットボトルなどの廃プラ容器類に加え、特に漁業用ブイや漁箱に使用された発泡スチロール類の大量漂着が深刻である(写真 7-1)。海岸線を白色に染め上げる景観破壊を引き起こしており、しかも破碎した夥しい量の小塊が植生帯に食い込み、しかも専門家会議により底生生物や二枚貝などによる摂食リスクが検証されており、動植物生態系にとって甚大なリスクとなっている。

筆者の2019年沖縄春季調査(3・4月)では、海洋漂着ゴミのカウント調査の中で、大きさ約30cm以上の発泡スチロール類の漂着数量を調べている。八重山・宮古諸島7島48海岸(調査海岸距離28.28km)で確認した発泡スチロール類の総数量は22,944個に達し、調査海岸距離1km当たり換算すると811個であった(図7-1)。そのうち八重山諸島の6島39海



写真 7-1 2019 年沖縄春季調査での八重山・宮古

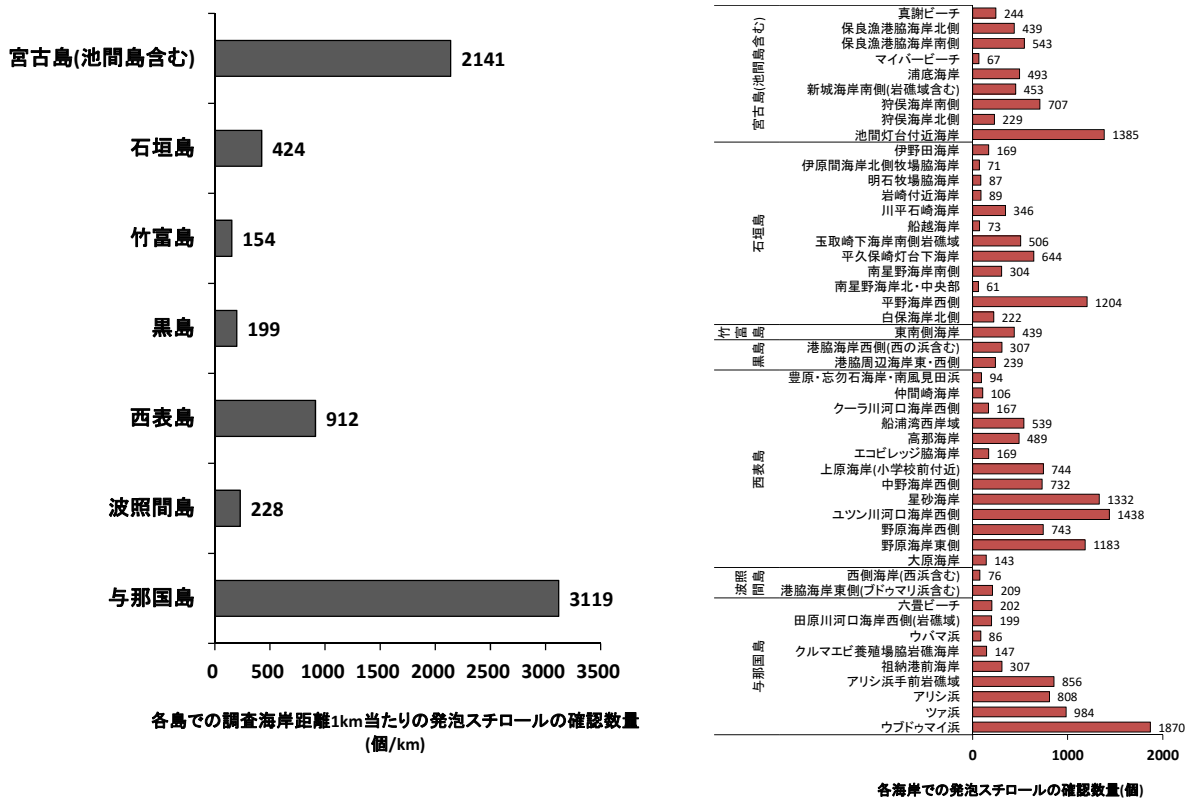


図 7-1 八重山・宮古島での各島嶼と海岸での発泡スチロールの確認

岸(調査海岸距離 26.15km)では 18,384 個で、1km 当たり 703 個、宮古島の 9 海岸(調査海岸距離 2.13km)では 4,560 個で、1km 当たり 2,141 個となる。宮古島では八重山の約 3 倍の非常に高い漂着度合であった。

発泡スチロール類の漂着量は海岸や島嶼によって、また清掃状況によっても異なり、かなり相違は認められた。だが八重山では、確認数量 1,000 個を超える海岸が 5 か所(与那国島のウブドゥマイ浜 1,870 個、西表島野原海岸東側 1,183 個・ユツン川河口海岸西側 1,438 個・星砂海岸 1,332 個、石垣島平野海岸西側 1,204 個)、宮古では 1 か所(池間灯台付近海岸 1,385 個)確認された。各海岸での調査海岸距離が異なるので、1km 当たりを基準化して、島ごとに漂着量を比較すると、与那国島が 3,119 個/km で最も漂着度合が高く、次いで宮古島が 2,141 個/km であった。他の島嶼ではいずれも 1,000 個/km 以下となっており、西表島が 912 個/km、石垣島が 424 個/km、波照間島が 228 個/km、黒島が 199 個/km、竹富島が 154 個/km であった。漂着度合の高い島嶼では、全般的に海洋漂着ゴミの回収撤去が停滞傾向にある海岸が多く見られ、漂着発泡スチロール類による有害化学物質の極めて高い潜在的溶出ポテンシャルによる影響リスクが懸念された。

(2) 海洋発泡スチロールの環境リスク

上述したように、廃プラスチックの海洋漂着ゴミの中でも、発泡スチロール類は構造的に弱く、海洋での漂流過程のみならず、海岸漂着後も、岩礁や樹木等への接触・衝突や石砂上の滑動・転動などで容易に破断・損壊・磨壊し、微小化する性質がある。また軽質のため風による移動性が高く海浜植生帯の奥深くまで入り込み、海浜土壌を埋め尽くし動植物生態系にとっても甚大なリスクとなっている。しかも材質的に間隙・空隙に富んだ多孔質な組織構造であることから(写真 7-2)、これまでも指摘したように、有害物質を吸着する性質が極めて高く、Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb などの重金属類等などが、他の廃プラスチック素材や海浜砂からよりも高濃度で検出される。



写真 7-2 多孔質な組織構造を有する海洋発泡スチロールにはタールや異物などが間隙に吸着している

筆者による 2016 年の沖縄島嶼(11 島 57 海岸)での海岸マイクロプラスチック調査では、1m 四方調査枠(面積 1 m²)から検出された 57 海岸でのマイクロプラスチック(大きさ 5mm 以下の微細片)の総数量は 116,364 個に及び、1 海岸・1 m²当たりの平均的数量は 2041 個であった。そのうち発泡スチロール微細片が 58,352 個で総数量のほぼ半数(50.1%)を占めており、プラスチック微細片(42,088 個)の約 1.4 倍の数量であった(図 7-2)。なお、発泡スチロール素材が 1,000 個/m²を超える海岸は 57 海岸中 11 海岸で確認された(図 7-3)。与那国島四畳半ビーチでは最大の 12,627 個/m²検出され、海岸マイクロプラスチックの 96.1%を占めていた(写真 7-3)。沖縄島嶼では、海岸マイクロプラスチックが 1,000 個/m²以上検出された

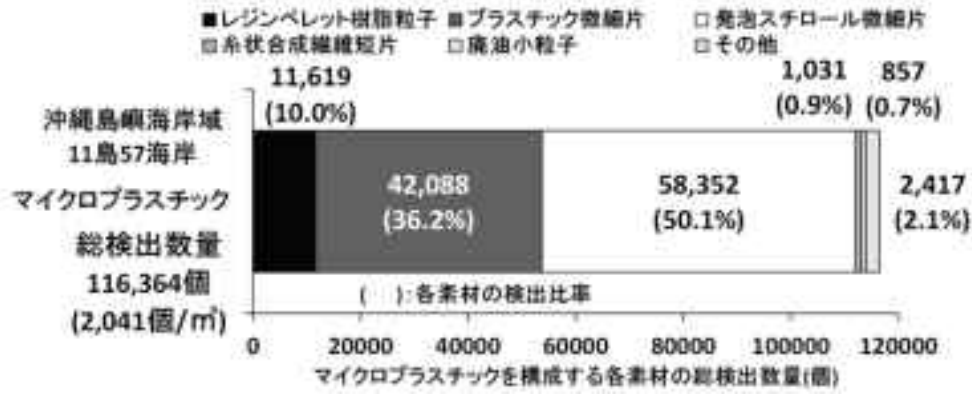


図 7-2 沖縄島嶼海岸域でのマイクロプラスチックの総計分析(2016年調査)

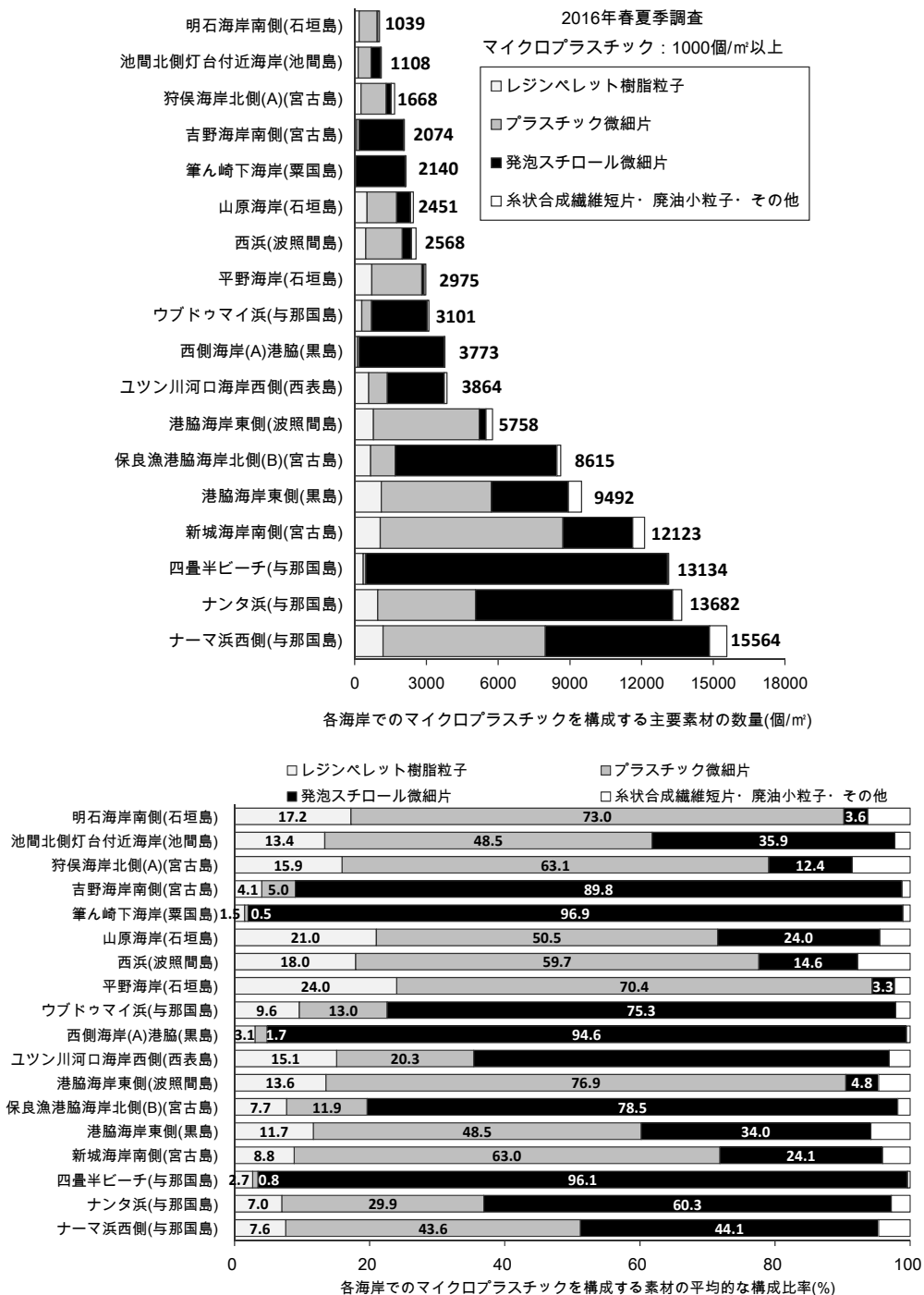


図 7-3 マイクロプラスチックが 1000 個/m²以上検出された海岸での素材構成(2016年調査)

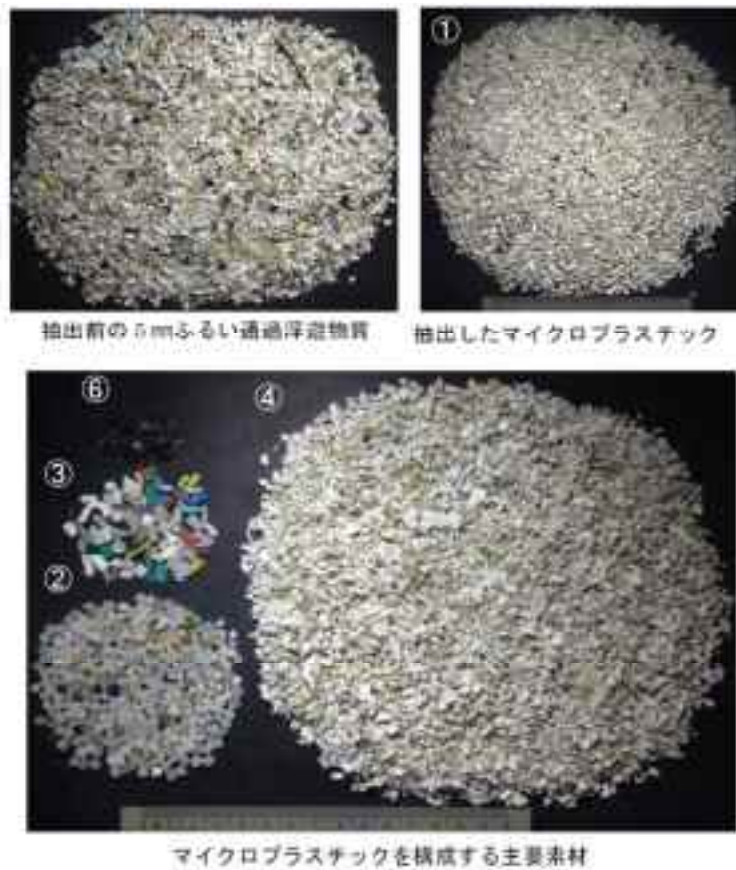
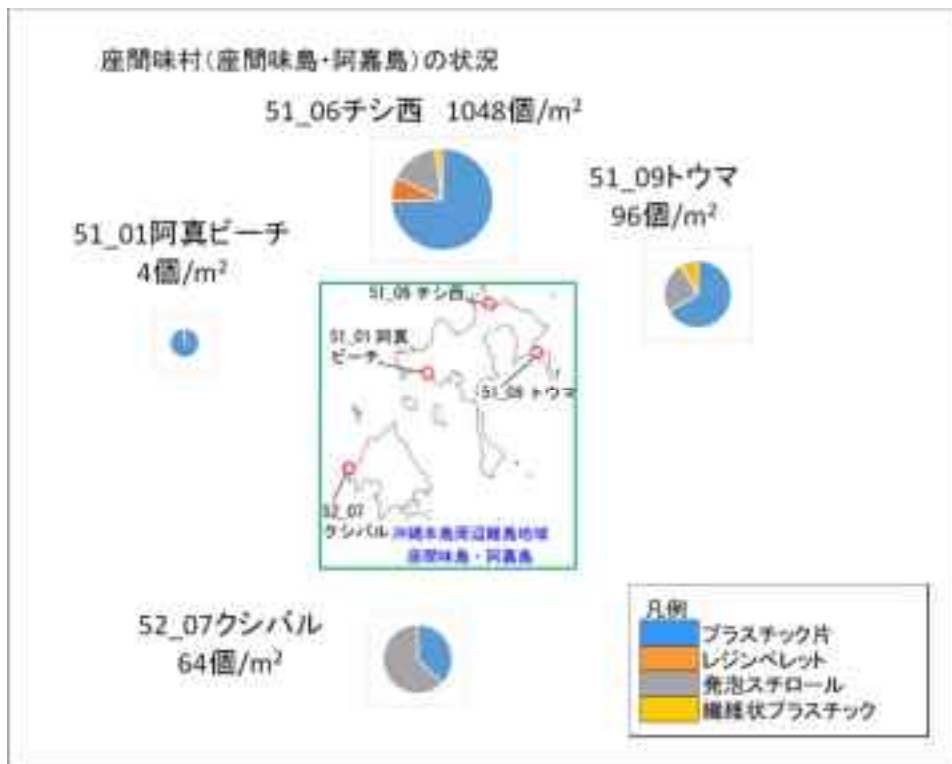
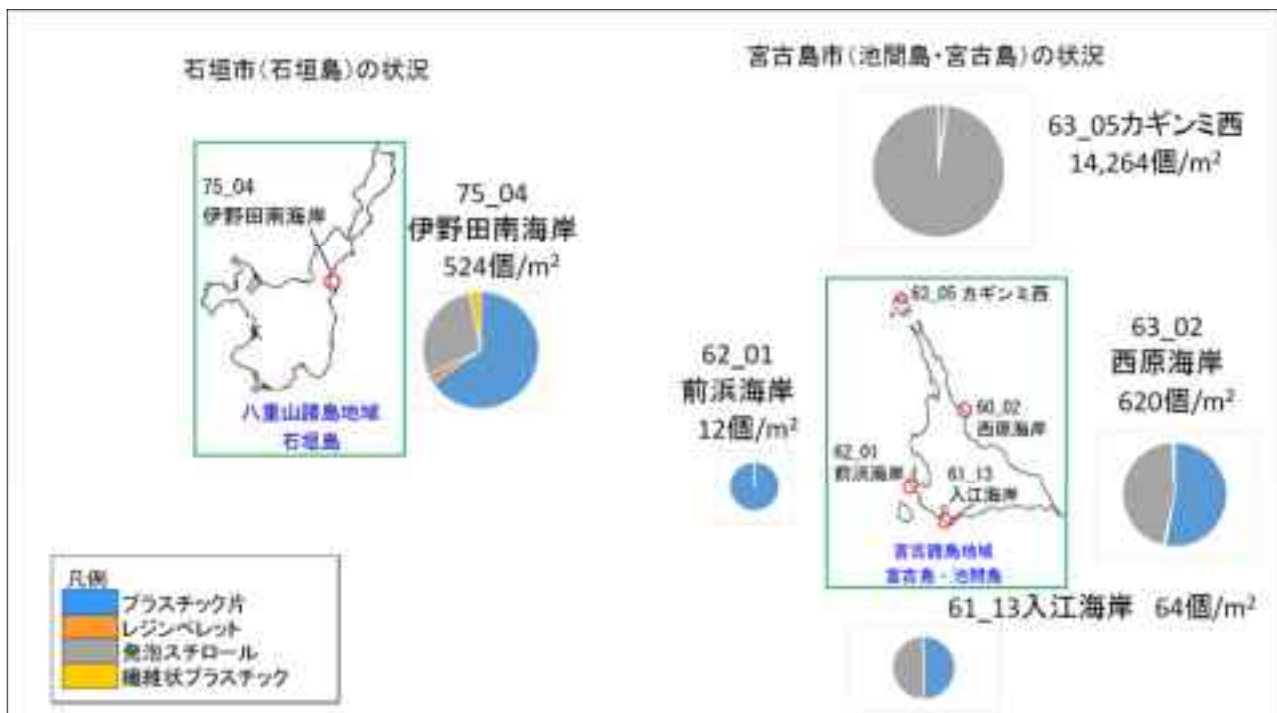


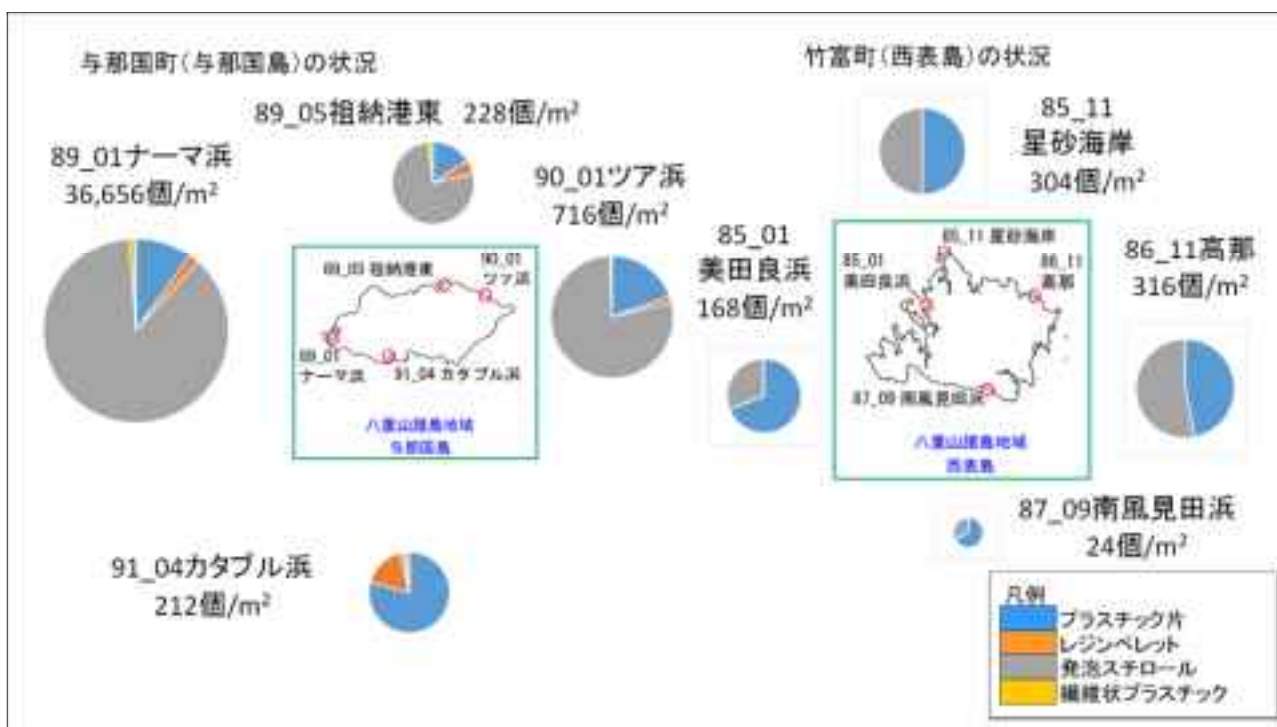
写真 7.3 与那国島四畳半ビーチでのマイクロプラスチックを構成する素材状況において、発泡スチロールの微細片がマイクロプラスチックの96.1%(個数比率)を占めている



(a) 座間味島・阿嘉島でのマイクロプラスチックの実態



(b) 石垣島・宮古島でのマイクロプラスチックの実態



(d) 与那国島・西表島でのマイクロプラスチックの実態

図 7.4 2019年12月沖縄県による沖縄島嶼でのマイクロプラスチック調査
(専門家会議資料2引用, 2020.2.21)

海岸は 57 海岸のうち 18 か所で確認された。しかもそのうち 8 海岸では発泡スチロール素材が 60%以上を占め、マイクロプラスチックの主要な素材となっていることが分かった。同様に、2019 年 12 月に実施された沖縄県の海岸調査においても(専門家会議参考資料 2, 2020.2.21), マイクロプラスチックを構成する発泡スチロール微細片が、特に八重・宮古諸島の与那国島, 西表島, 石垣島, 宮古島や本島周辺座間味島などの多くの調査海岸で、大半を占めていることが報告されている(図 7-4)。

(3) 早急な対策を

海洋・海岸で検出されるマイクロプラスチック化した微小な発泡スチロール類の殆どは、漁業・水産活動で使用された発泡スチロールブイと漁箱類が発生源となっている。多孔質な組織構造の発泡スチロール類は廃プラスチック類の中でも有害化学物質の吸着性が最も高く、汚染物質を広範囲に移動・拡散させる「運び屋」の役割を担っている。沖縄島嶼のみならず、全国的に海岸環境への影響リスクが懸念されている処理処分の厄介な海洋漂着ゴミである。剥き出しの発泡スチロールブイの禁止・規制をはじめ、発泡スチロール類の海上での使用見直しや海洋への流出防止対策への早急な強化が、我が国のみならず、グローバルな視点から求められる。

最後に、これまで取り組んできた海洋漂着ゴミのモニタリング調査はじめ、マイクロプラスチック調査や海浜生物への影響リスク調査などを総括的に活用して、海生生態系に配慮した海岸・沿岸水域の保全システムの在り方などについて総括する。

まず、沖縄県(専門家会議資料 2020.2.21)による 2019 年 12 月と 2020 年 2 月の海洋漂着ゴミのモニタリング調査結果(海岸長 50m 範囲の 2 か月間の漂着量)とマイクロプラスチック調査結果(25cm 四方調査枠)との関係を図 7.5 に示す。調査は与那国島, 西表島, 石垣島, 宮古島, 池間島, 座間味島, 阿嘉島の 7 島 17 海岸で行われている。マイクロプラスチック(MP)調査は、一海岸で汀線下, 汀線, 汀線陸側, 植生帯の 4 か所で行われており、地点によってマイクロプラスチックの現存量はかなり異なっているのが分かる(先の図 7.4 の結果は、一海岸での 4 か所の平均値を求め面積 1 m²当たりの個数に換算している)。

だが、各海岸で検出されるマイクロプラスチックの最大数量は、汀線陸側と植生帯で検出される場合が殆どで、海洋漂着ゴミ量と強い相関性が認められる。そこで、各海岸で検出されたマイクロプラスチックの最大数量に着目し、海浜小生物への影響リスクを評価しようと試みたのが図 7.6 である。小生物のリスク評価は沖縄芸大の藤田先生による調査結果に基づいて、表 7.1 にまとめている。マイクロプラスチックを体内に取り込んでいる個体数の検出率を、便宜的にリスク評価として用いている。

調査事例が少ないので、ここでは座間味島北側・ニタ海岸(北側)は、モニタリング調査海岸の島北側に位置するチシ西海岸に、座間味島南側海岸・ウハマ海岸(南側)は阿真ビーチに

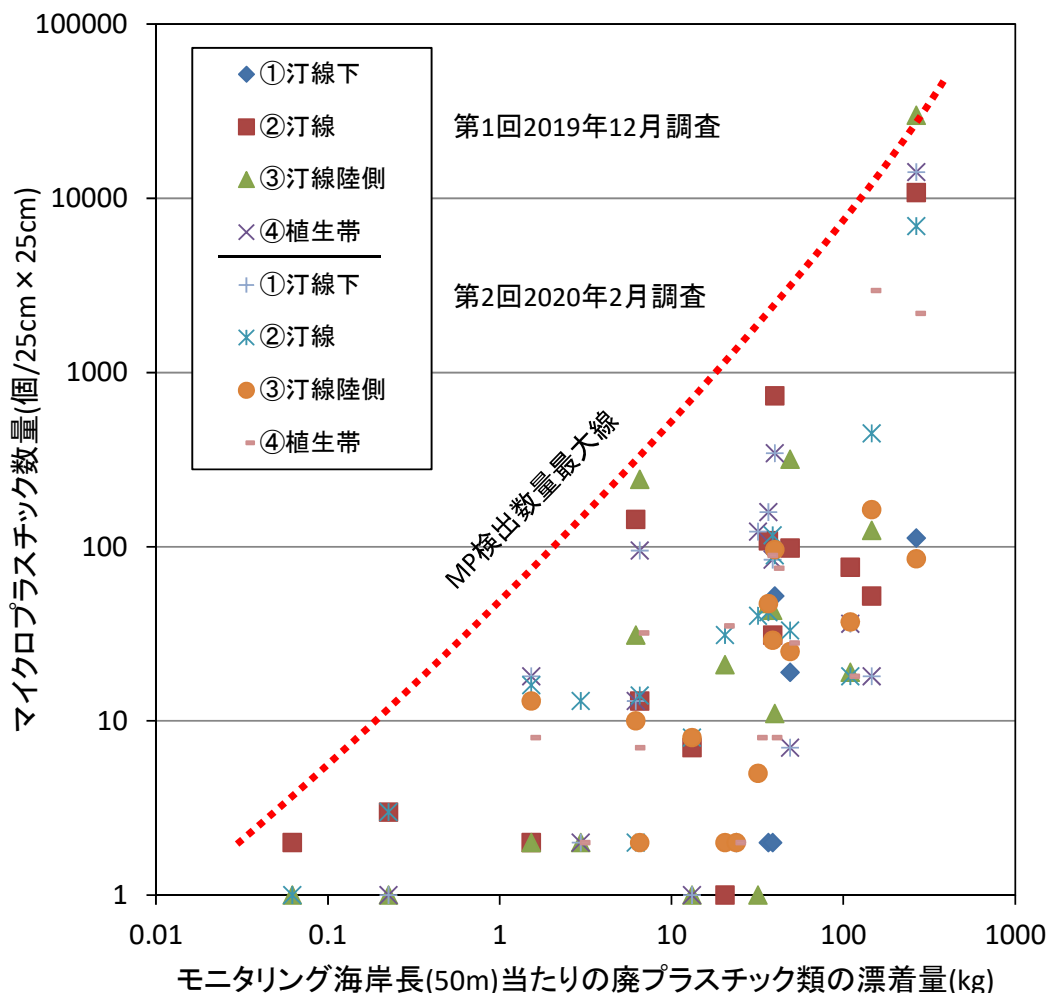


図 7.5 沖縄島嶼での各海岸の漂着ゴミ量とマイクロプラスチックの現存量との関係

表 7.1 海浜域に棲息する底生小生物のマイクロプラスチックの個体内検出状況

2018年度藤田先生による調査結果					
海岸名	生物種名	調査個体数 (個)	MP検出個体数 (個)	検出比率 (%)	MP検出数 (個)
座間味島北側海岸	ムラサキオカヤドカリ	10	5	50	1~5
	スナホリガニ	11	2	18.1	1
	ツノメガニ	5	0	0	
	ミナミスナガニ	3	2	66.7	1
座間味島ニタ海岸(北側)	イソハマグリ	20	20	100	
座間味島南側海岸	ムラサキオカヤドカリ	10	1	10	2
	ツノメガニ	5	0	0	
座間味島ウハマ海岸(南側)	イソハマグリ	20	1	5	1
与那国島ナーマ浜(北側)	イソハマグリ	5	5	100	2~12
与那国島カタブル浜(南側)	イソハマグリ	5	0	0	
多良間島北側海岸	イソハマグリ	5	3	60	1

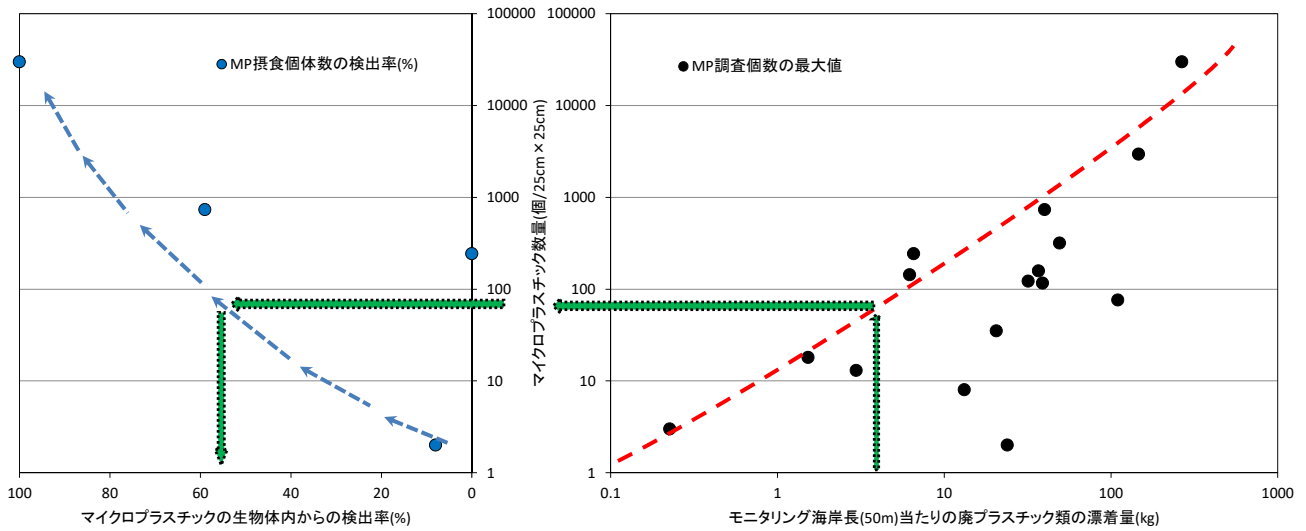


図 7.6 海浜生態系に配慮した持続的な海浜保全システムの検討モデル

応させている。またマイクロプラスチックの検出率は生物の種名を区別せずに算出している。図 7.6 において、当然、今後、調査データの蓄積は必要であるが、海洋ゴミの漂着量とマイクロプラスチックの現存量との関係評価付けが可能となり、海浜生態系に配慮した軽減防止対策にとって重要となる、適切な回収除去作業の在り方や持続的な海岸保全システムの確立に向けたたたき台として検討するのに有効と思われる。

今後さらに、データの蓄積と共に、生物の体内への取り込み状況(個体検出率)を評価する統一的な手法(例えば、一定の調査範囲で、一定の検体個数を調べ検出率の評価を行う)を検討することが求められる。

