

4. 2. 2 分析サンプルと成分分析

蛍光 X 線分析と原子吸光分光分析の両成分分析を実施するために、前章で既述しているが、分析サンプルの前処理を下記のように行った。

① 蛍光 X 線分析

プラスチック片自体に含有している有害化学物質(素材に添加・混合・塗布されている物質)の溶出性に着目しているため、漂着サンプルは採取後、プラスチック表面に吸着・付着している汚れや塩分等を完全に除去した。スコッチブライトを用いて入念に汚れを拭き取りながら、脱イオン水を流水させて洗浄した後、さらに超音波を作用させて 20 分間再洗浄した。水分を切り約 24 時間風乾した後、プラスチック表面に手が触れないよう留意しながら、直径約 4cm の円盤状に裁断して分析サンプルとした(写真 4.3)。

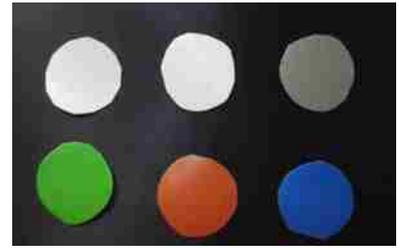


写真 4.3 円盤状の分析サンプル
(蛍光 X 線分析用)

② 原子吸光分光分析

蛍光 X 線分析の場合と同様に、プラスチック表面に吸着・付着した汚れを完全に洗浄除去した後、単体サンプルごとに区分し、ハサミで数ミリ四方以下の大きさに細かく裁断し、約 10g を計量して分析サンプルとした(写真 4.4)。



写真 4.4 単体サンプル(容器 1 個)からなる細片状の分析サンプル(原子吸光分光分析用)

③ 溶出試験

原子吸光分光分析に用いるプラスチック片から溶解する有害化学物質の溶出液の作製のための試験である。前章で詳述したように、「環告 46 号」に準拠して行っている。プラスチック類ゴミの国籍や種類・タイプによる溶出性の評価に着目した分析では、溶媒液として脱イオン水(pH5.93)の純水に塩酸(HCl)を添加し、pH を 5.84 とした HCl 調製液を用いた。またプラスチック類ゴミからの酸性度の違いによる有害化学物質の溶解性(pH 効果)を検証する分析では、pH5.84 の場合に加え、pH を 3 種類に調製した HCl 調製液(pH4.69, 2.59, 0.65)を用いた。即ち、酸性雨(pH5.6 以下の雨水)の平均的 pH に近い pH4.69 溶媒液(0.0001% HCl 水溶液)、海生生物の体内への取り込みや食酢に近い pH2.59 溶媒液(0.01% HCl 水溶液)、バッテリー液に近い pH0.65 溶媒液(1% HCl 水溶液)を作製し、有害化学物質の溶出性に及ぼす pH 効果についても検討した。

溶出試験では、約 10g の分析サンプルを 200ml の広口ガラス容器に入れ、溶媒液を 30ml 添加し(固液比 1:3)した後、1 箇月の浸潤期間を設け静置した。これは漂着ゴミが海岸に打ち上がった後、風雨に曝され放置された状況などを想定した。浸潤期間中には、1 週間ごとに 1 時間の水平振とう(振とう幅 4~5cm, 毎分 200 回)を 4 回繰り返す、有害化学成分の溶出促進を図った(写真 4.5)。浸潤期間終了時の振とう後約 10~30 分間静置して、溶媒液を遠心分離機(毎分 3000 回転, 約 20 分間)に掛け、上澄み液を吸引濾過(孔径 0.45 μ m)して濾液を抽出し溶出検液を作製した。



前処理された分析サンプル



写真 4.5 溶出試験での振とう状況

溶出検液中の有害化学物質については、水質・土壌環境基準等に規定されている無機系重金属類等を中心に、人を含め生態系に好ましくないとされるAs, Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, Al, Ni, Sn, Mn, Sb, Ti, Baの13元素を原子吸光分光法によって分析した。各元素の溶出量は「ppb($\mu\text{g/l}$)」オーダーで検出するが、ここではサンプルの単位乾燥質量1kg当りからの溶出量「 μg 」に換算して、溶出量は「 $\mu\text{g/kg}$ 」単位で表示する。

4. 3 蛍光X線分析による主要含有元素成分組成

漂着ゴミの大半はプラスチック類ゴミで占められている。先節で既述したように、プラスチックには用途・機能性等を向上させる目的から、各種の添加剤等が加えられている。これらの添加剤等には種々の化学物質が使用されている。そのためプラスチックはCとHを主成分としているが、少量・微量ではあるが様々な化学成分を含有している可能性が高い。そこでここでは、沖縄県宮古島・西表島・与那国島などの多くの海岸でランダムに採取した漂着プラスチック類ゴミの分析サンプル(131サンプル)を用いて(表4.3, 写真4.1参照)、主要な含有元素成分組成について論じる。分析は蛍光X線分析による。分析データでは、各測定元素の含有量は検出元素の総質量を100とし、それに対する割合として百分率(%), 即ち、質量%で表示される。

蛍光X線分析による対象とした131サンプルの分析サンプルの含有元素成分組成を、大型丸ブイ類、棒型浮子(フロート細)類、樽型浮子(フロート太)類、丸型浮子(丸フロート)類、ヌタウナギ具(口・筒部)とタコツボ、容器類に区分して、図4.2(a)~(c)に表示している。同図では炭素(C)と酸素(O)の主成分(水素(H)は非測定)とそれ以外の元素成分に(図4.2(a)), さらにそれ以外の元素成分を比較的含有量の高い元素成分(図4.2(b))と有害元素成分を主体としたもの(図4.2(c))にそれぞれ区別して、含有成分組成を示している。

この分析結果から明らかなように、各種のプラスチック片には炭素(C)と酸素(O)以外に、含有量は様々であるが、25種類以上の多種類の元素成分が含有されていることがわかる。また分析サンプルの種類・タイプや国籍によっても、プラスチック片を構成している含有元素成分組成にはかなり相違のあることがわかる。ここでは水素(H)の測定をしていないので、CとOの両成分で質量%は100%に近い値になるものと推察していた。しかし多くの分析サンプルにおいて、CとO以外の元素成分の含有質量%が50%を超えるサンプルが多数検出される(図4.2(a))。特に、棒型浮子(フロート細)類と樽型浮子(フロート太)類の分析サンプルでそのような傾向が顕著にみられる。CとO以外の元素成分では塩素(Cl), カルシウム(Ca), ケイ素(Si)の含有量が高いサンプルが多い。また硫黄(S)を20%程度含有している棒型浮子も検出されている。特に、棒型・樽型浮子類の中でも中国製の青色フロート類などでは、塩素(Cl)の含有質量%が50%を超えるサンプルが大半である(図4.2(b))。このようなサンプルはClがプラスチック素材の主要な元素成分となっており、不完全な焼却によって有毒なダイオキシン類が発生するリスクの高い塩化物系プラスチックであることが推察できる。

さらに、図4.2(c)に示す有害元素の含有状況に着目する。各有害元素成分の含有割合は、やはり種類・タイプや国籍により分析サンプル間でかなり異なっているが、含有質量%で概ね数%範囲内となっている。中でもチタン(Ti), アルミニウム(Al), 鉛(Pb), 亜鉛(Zn)の含有量の高いサンプルが多い。特にTiはプラスチック容器類と丸型浮子類, Alは大型丸ブイ類, Pbは中国製の青色等棒型浮子類と一部の樽型浮子類, Znは一部の樽型・棒型浮子類で、そのような傾向が検出される。なお含有量は低いが、棒型浮子類の中には錫(Sn)を含有しているサンプルも散見される。また棒型浮子(6-6(中国・濃青))ではアンチモン(Sb)や臭素(Br), 大型丸ブイ類(5-2(中国・黒茶), 7-2(中国・黒))ではバリウム(Ba)の質量%の比較的高いサンプルが確認される。

次節では、各有害元素に着目し、各分析サンプルでの含有状況の傾向と特徴などについて、さらに詳細に検証を試みる。

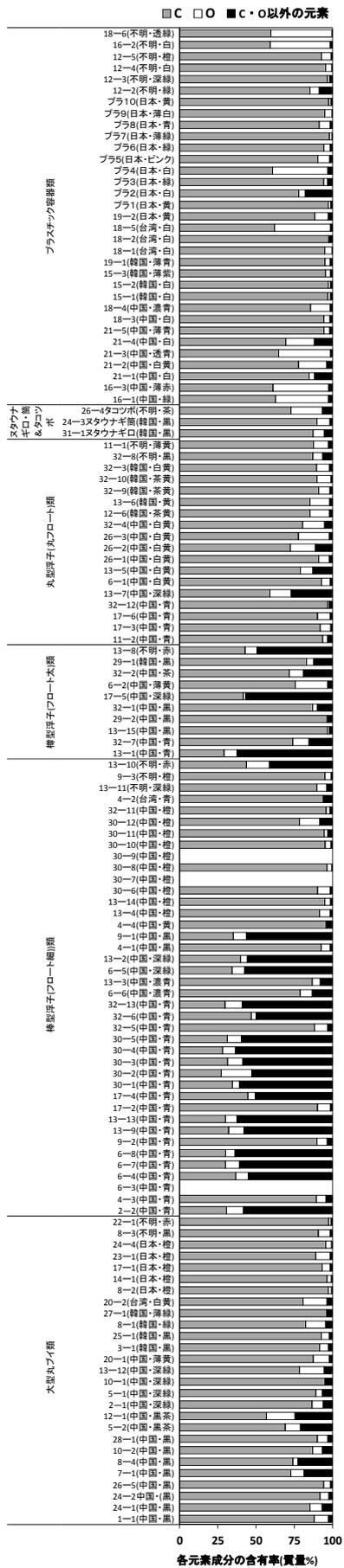


図 4.2(a) 各分析サンプルでの C と O 及びそれ以外の元素の含有成分組成

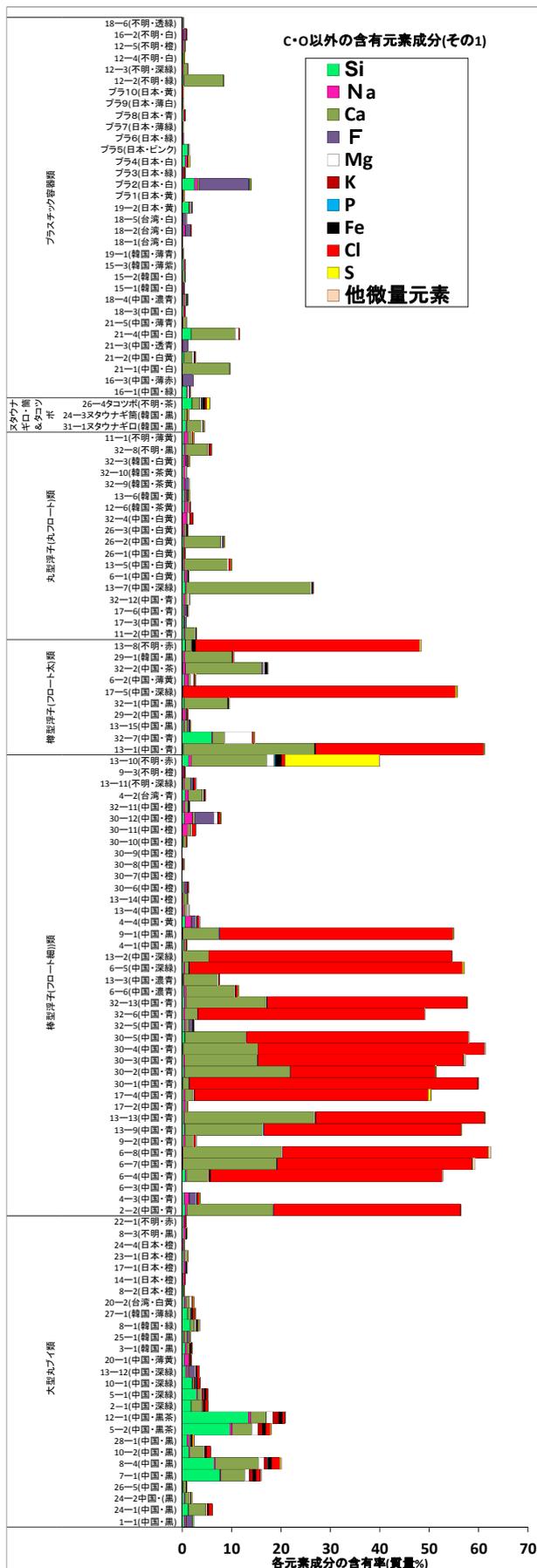


図 4.2(b) C と O 以外の元素の含有成分組成(その 1)

4. 4 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有状況

ここでは焼却時に有害なダイオキシン類やガス(二酸化硫黄 SO₂)を生成する可能性の高い塩素(Cl)と硫黄(S)に加え、これまで指摘してきた Cr, Pb, Zn, Ni, Cu, Cd, As, Mn, Al, Ti, Sn, Sb, Br, Ba の 14 元素について図 4.3 に提示している。上述したように、各元素の含有状況はスケール的にかなり異なっていることがわかる。含有質量%では概ね、Cl は 10%オーダー、Al と Ti は 1%オーダー、S・Pb・Zn は 0.1%オーダー、Cr・Cu・Mn・Sn・Sb・Ba・Br は 0.01%オーダー、Ni・Cd・As は 0.001%オーダーとなっている。また分析サンプルの種類・タイプによって、検出される含有元素の有無はかなり異なっておることもわかる。Cl, S, Cr, Ni, Cu, Mn, Al, Ti, Sn, Sb などは互いの元素間での含有質量%のオーダーは異なっているが、ほとんどの分析サンプルから検出される。また Cl と Pb は明らかに棒型浮子類と樽型浮子類で含有量の高いことがわかる。さらに棒型浮子類では他のサンプルに比較して Cd・Sn・Sb・Br で高い質量%を示すサンプルが検出される。Zn は樽型・棒型浮子類の一部のサンプルで、Mn と Al は大型丸ブイ類、Ti は容器類と丸型浮子類で高い含有量が検出される傾向にある。分析元素の中でも Cr・Sn・Sb・Br・Ba などでは、突出して高い含有質量%が検出されるサンプルが確認される。

さらに上記 16 元素成分の分析結果に炭素(C)と酸素(O)を加え、種類・国籍ごとに含有量を再整理して、比較表示したのが図 4.4 である。各元素成分の含有質量%が分析サンプル間でかなり異なっている場合が多いので、C・O・Ba 以外の元素成分については、含有率(質量%)を表す横軸スケールは対数目盛で表示している。これらの図から明らかなように、いずれの元素成分の場合でも、同一種類でしかも同一国籍のサンプル間において際も含有量にはかなりばらつきのあることがわかる。この結果からは、プラスチック類ゴミの種類・タイプや国籍による特質・傾向・相違等を明瞭に読み取ることは難しい。これは、種類・タイプや国籍のみならず、材質・色調・添加剤・劣化状態などの複雑な要因によるものと思われる。

なお図 4.5 には、上記の有害元素成分を含めた 18 元素成分の他に、各分析サンプルでいずれも検出される主要な 8 元素成分(Si, Na, Ca, Mg, K, P, Fe, F) の含有状況を例示している。これらの 8 元素成分は水質や土壤環境基準等に規定されている有害元素ではないが、一連のプラスチックサンプルから検出されることがわかる。このような各種のプラスチック類ゴミの含有元素成分組成をみると、各元素成分の含有量には差異はあるが、プラスチック自体には有害元素成分を含め、多種類の元素成分が混入していることが理解できる。

図 4.4 と図 4.5 中での+印は、プラスチック類ゴミのそれぞれの種類・タイプにおける各国籍での含有質量の平均値を示している。各種類・タイプのプラスチック類ゴミで国籍間での平均値を比較したのが図 4.6 である。また図 4.7 には種類・タイプ別に各元素成分の含有量を国籍別に比較している。このように整理することによって、各種類・タイプでの各含有元素成分の程度や、国籍間での相違・特徴を概ね評価することができる。これまで論述してきたように、有害元素成分である Cl, Ti, Al, Pb, Zn, Ba などの含有状況が種類・タイプや国籍でかなり明瞭に把握することができる。

ちなみに図 4.8(a)には小型浮子類の中で典型的な中国製の棒型浮子(色調：青色と橙色)と樽型浮子(色調：青色)、図 4.8(b)には韓国製のヌタウナギ具口・筒部(色調：黒色)と不明のタコツボ(色調：茶色)の分析事例を提示している。海岸域には様々なタイプの小型浮子類が打ち上がっているが、青色の両浮子は橙色のタイプに比較して、Cl・Pb・Ti の含有量が取り分け高いことがわかる。また韓国製のヌタウナギ具の口と筒部はいずれも色調は黒色であるが、三角型の口部では Br・Ba・Sb の含有量に富んでおり、両部位で素材・添加剤などが異なっている可能性がある。タコツボは国籍が判別できないが、ハングル文字表記の同タイプの漂着を何度も確認しているの、その種の国籍のものと推察される。この茶色のタコツボでは、Al・S・Cl の高い含有量に特徴がみられる。

図 4.3 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有質量%の状況(その 1)

(Cl, S, Cr)

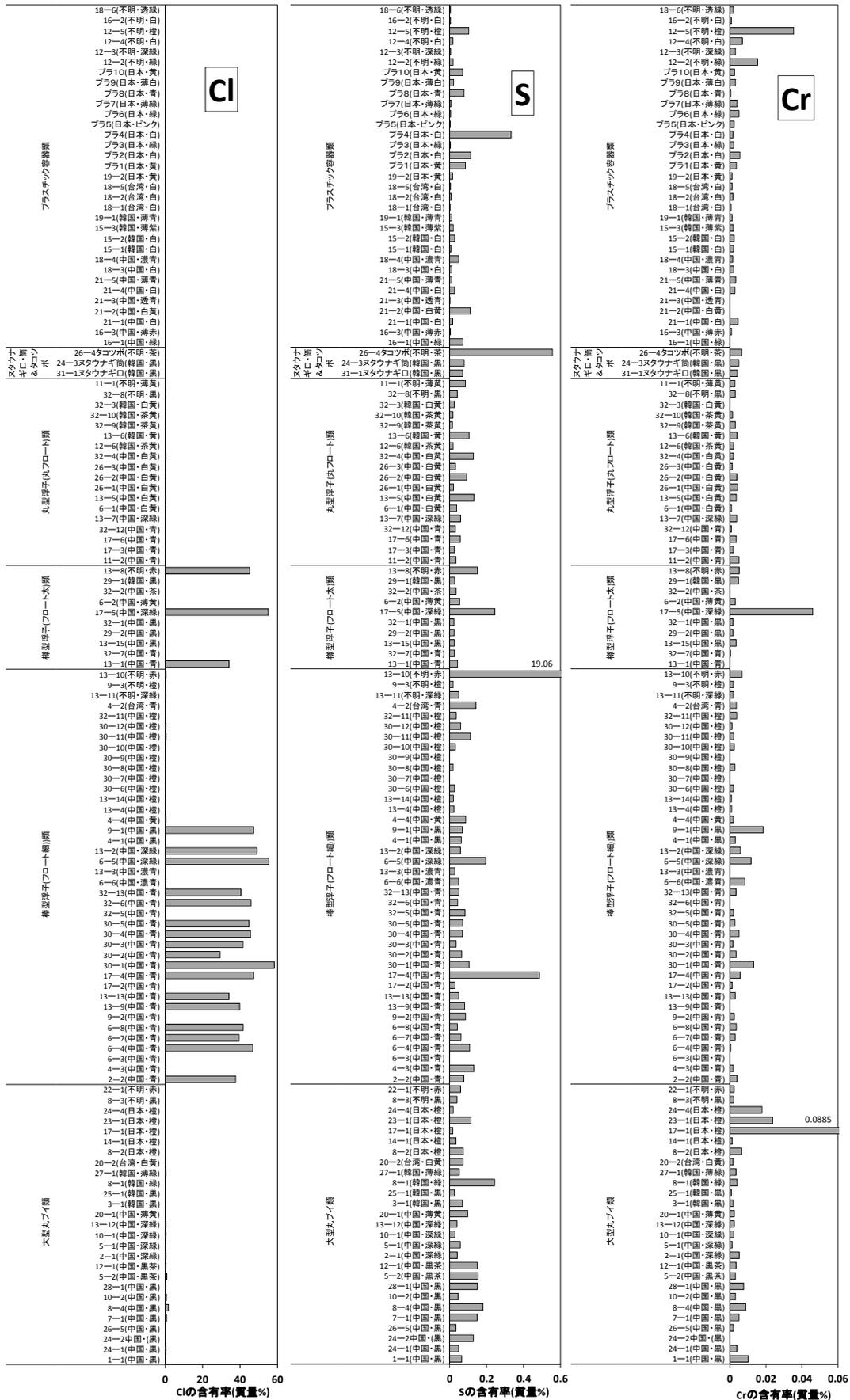


図 4.3 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有質量%の状況(その 2)
(Pb, Zn, Ni)

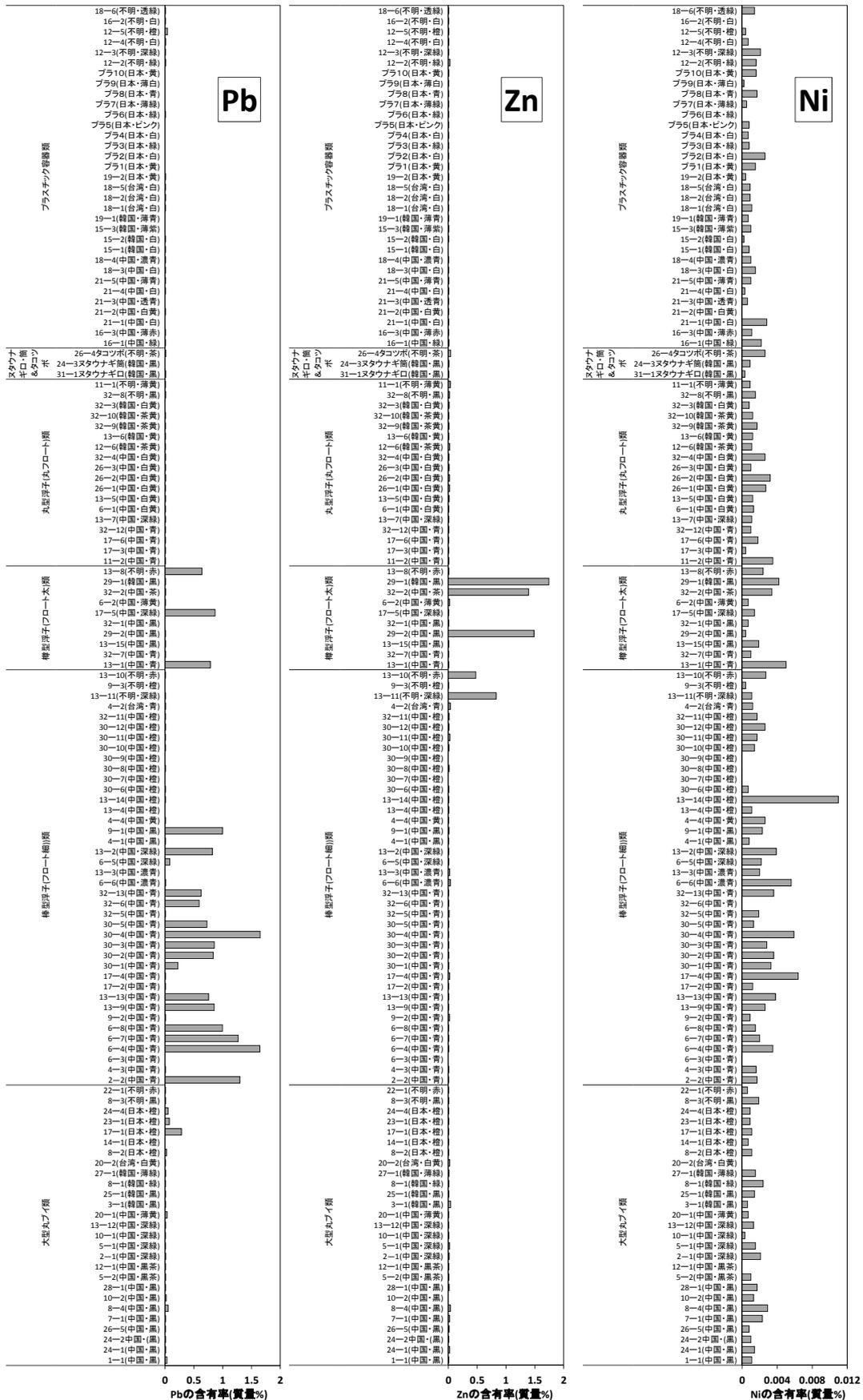


図 4.3 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有質量%の状況(その 3)

(Cu, Cd, As)

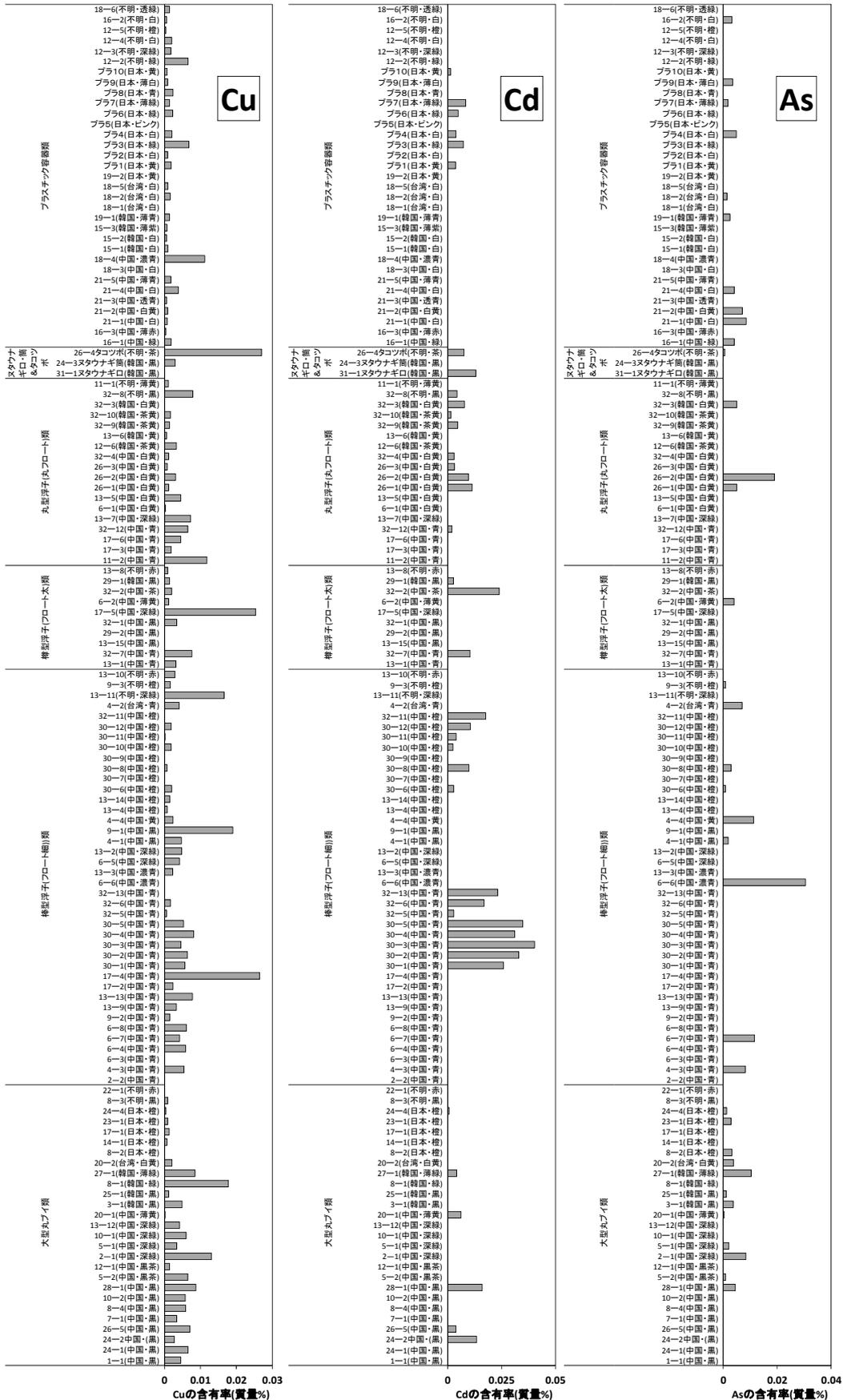


図 4.3 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有質量%の状況(その 4)

(Mn, Al, Ti)

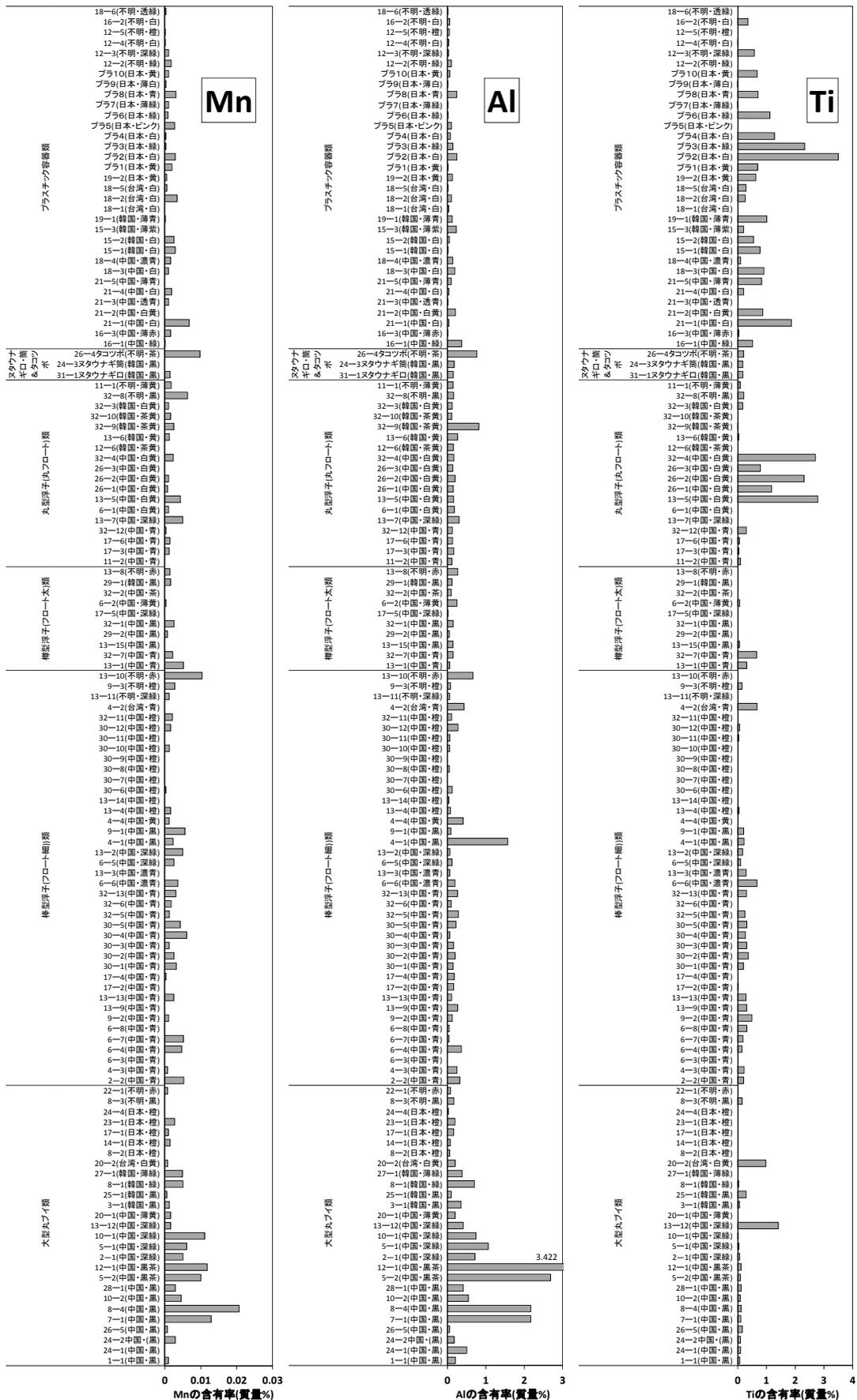


図 4.3 各分析サンプルにおける有害元素成分の含有質量%の状況(その 5)

(Sn, Sb, Br, Ba)

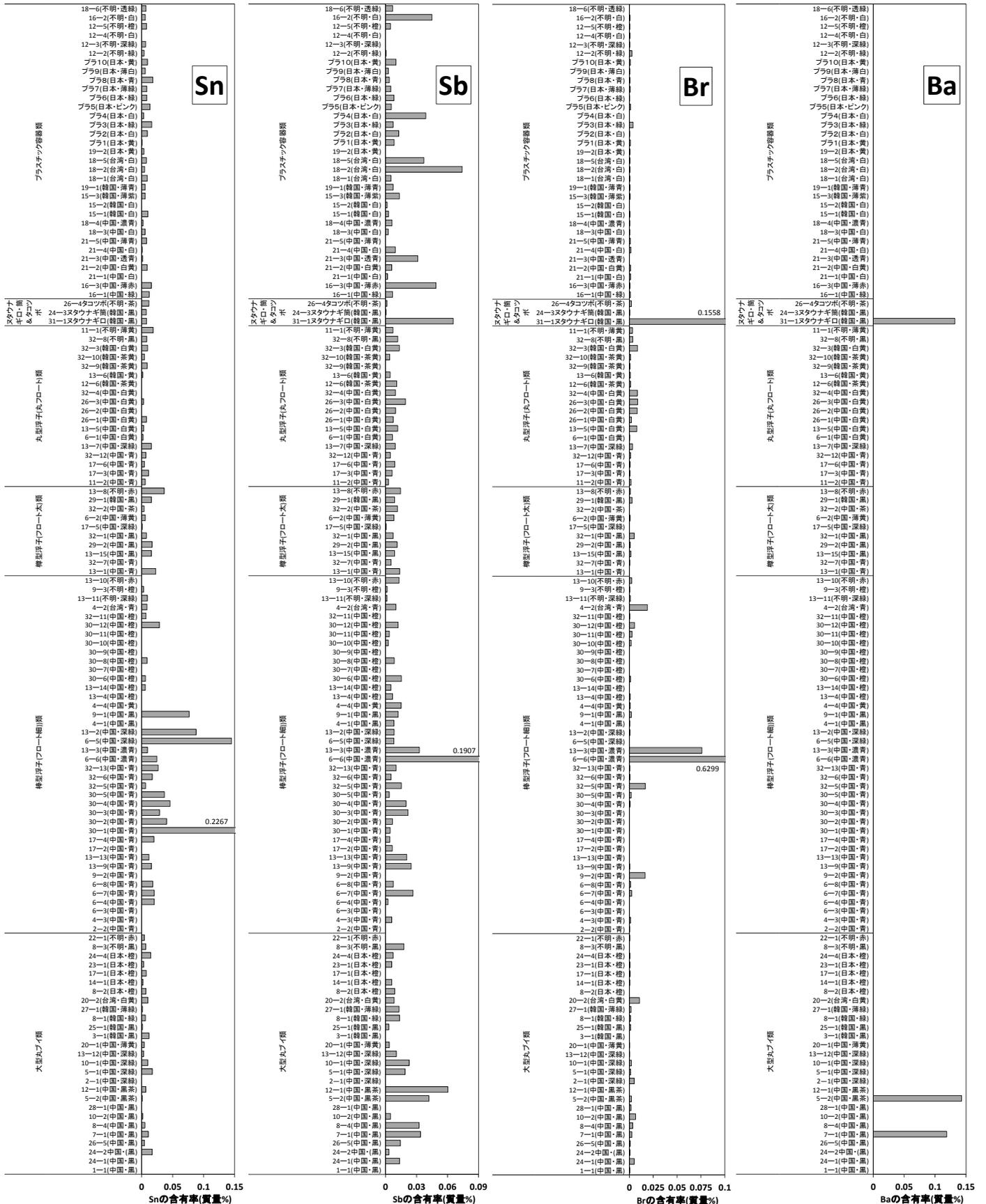


図 4.4 各種類・タイプでの国籍ごとの有害元素成分の含有質量%の状況(その 1)



図 4.4 各種類・タイプでの国籍ごとの有害元素成分の含有質量%の状況(その 2)

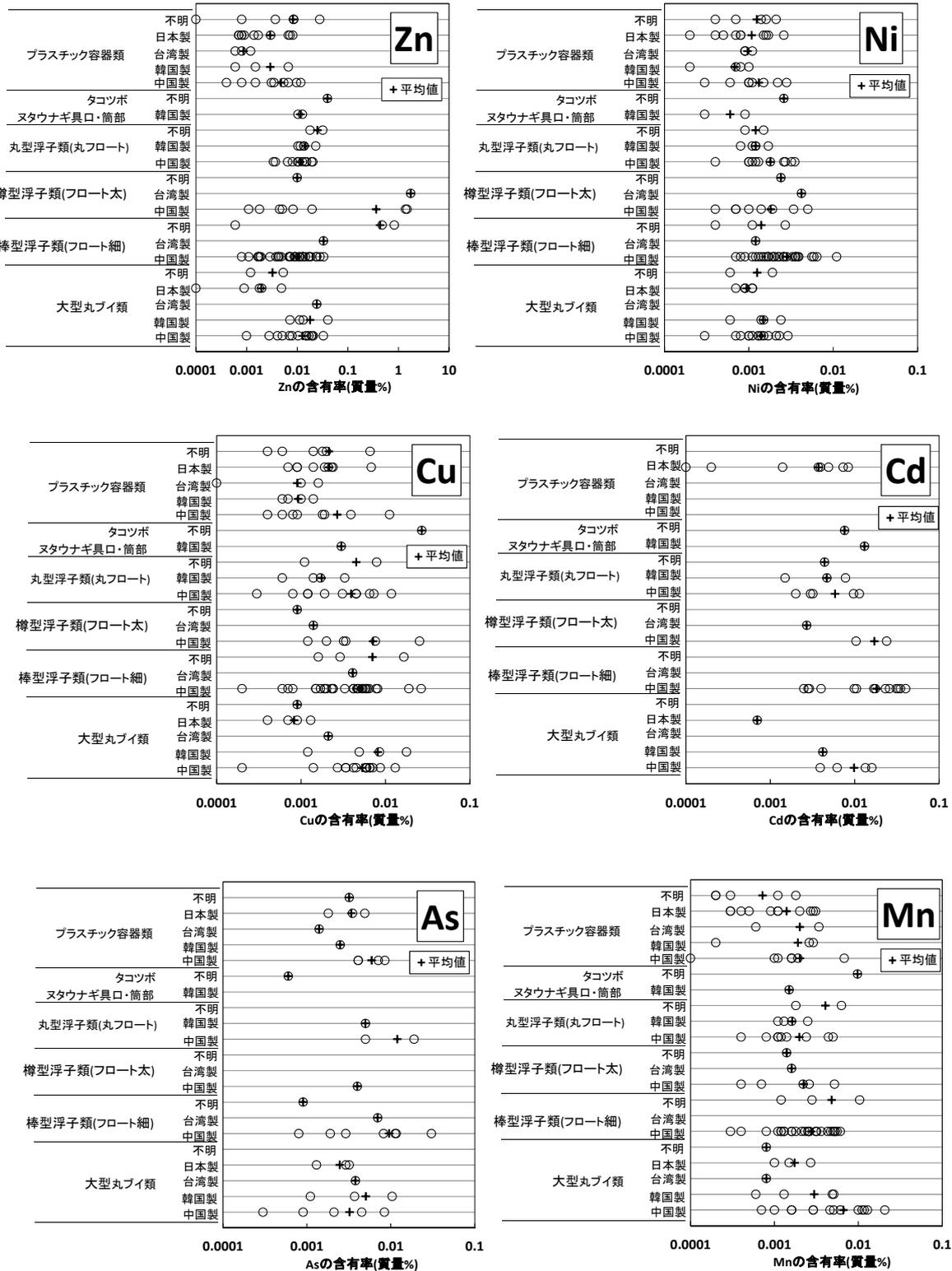


図 4.4 各種類・タイプでの国籍ごとの有害元素成分の含有質量%の状況(その 3)

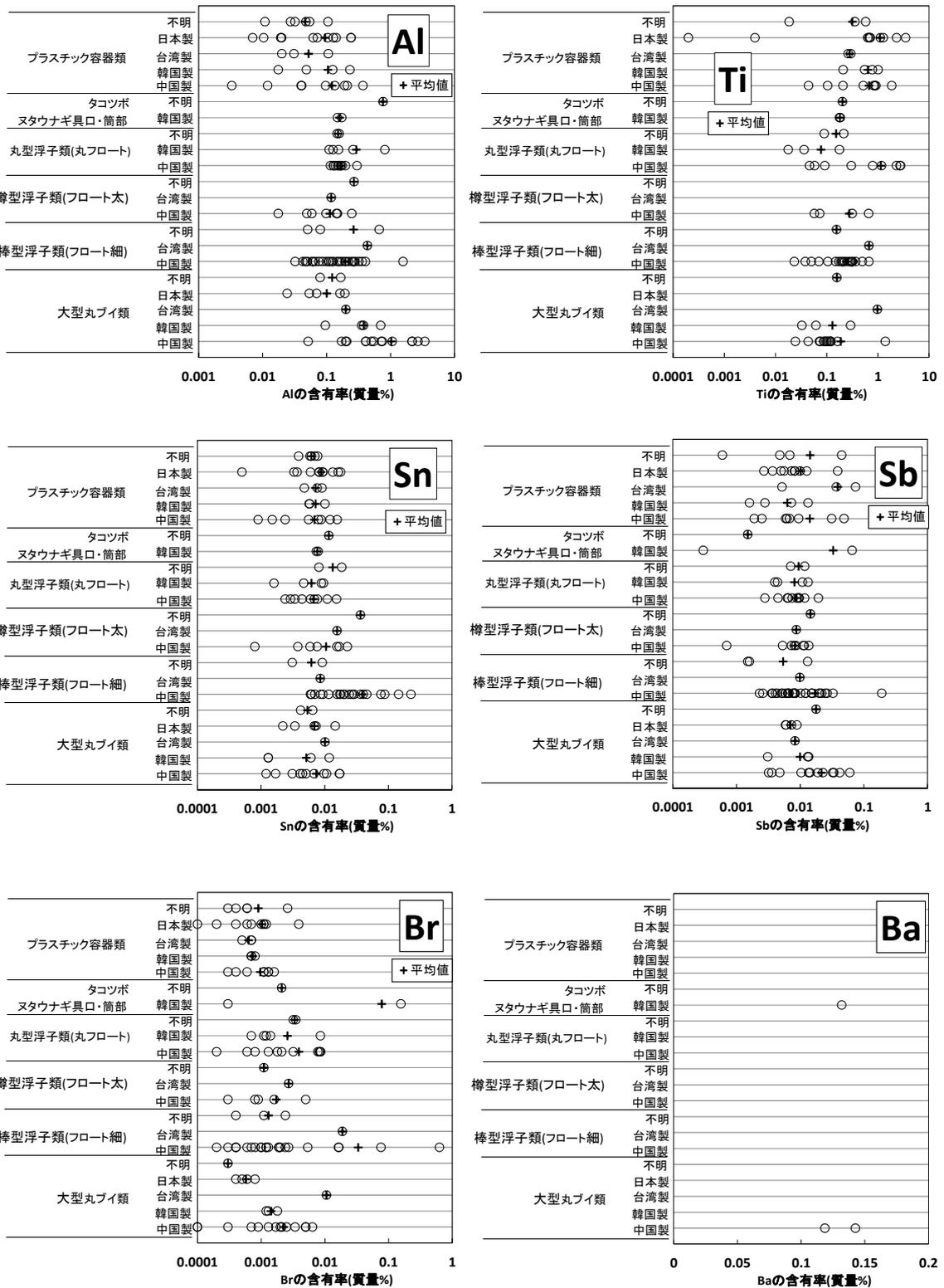


図 4.5 各種類・タイプでの国籍ごとの主な元素成分の含有質量%の状況

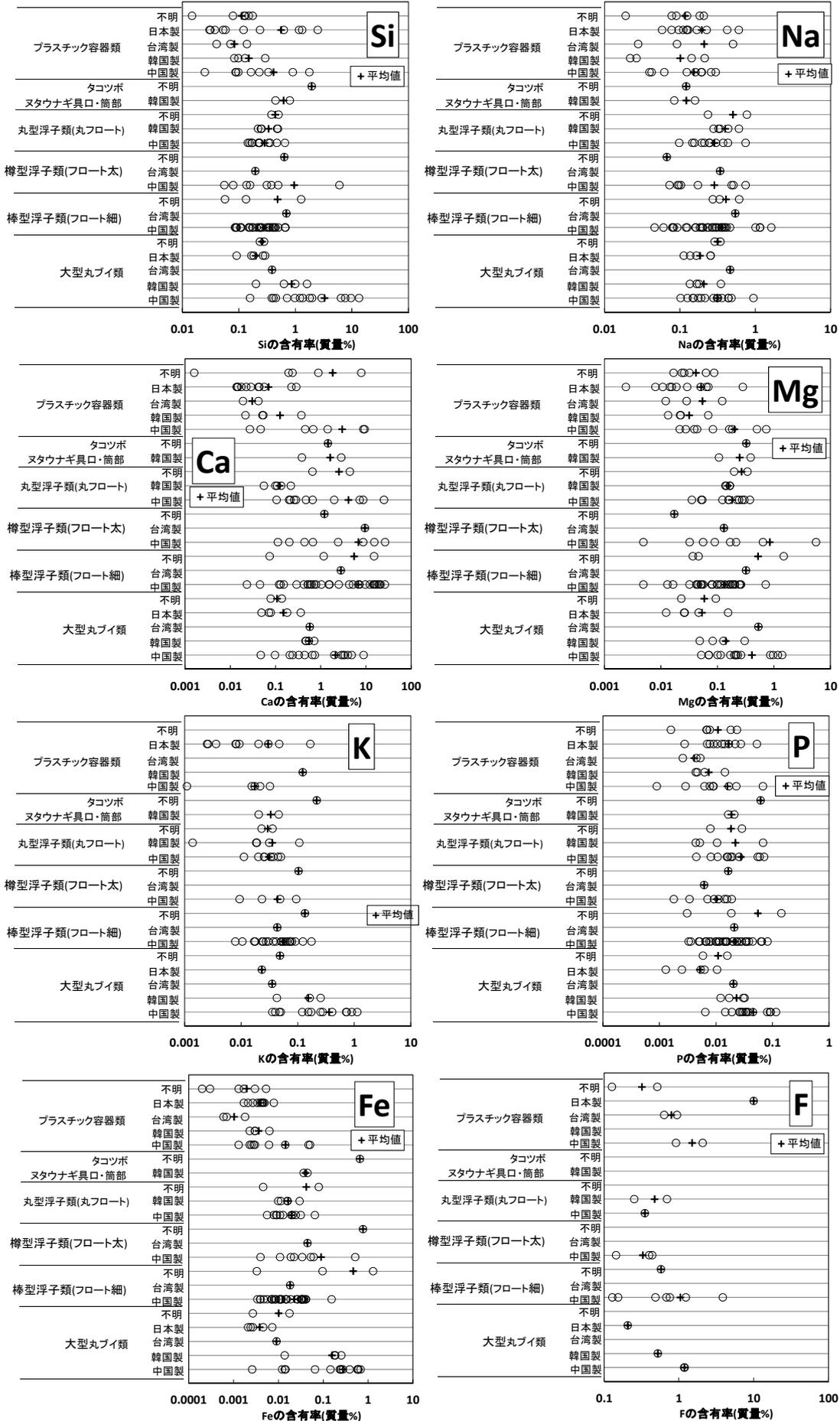


図 4.7 各種類・タイプでの国籍ごとに平均値で表示した含有質量%の状況

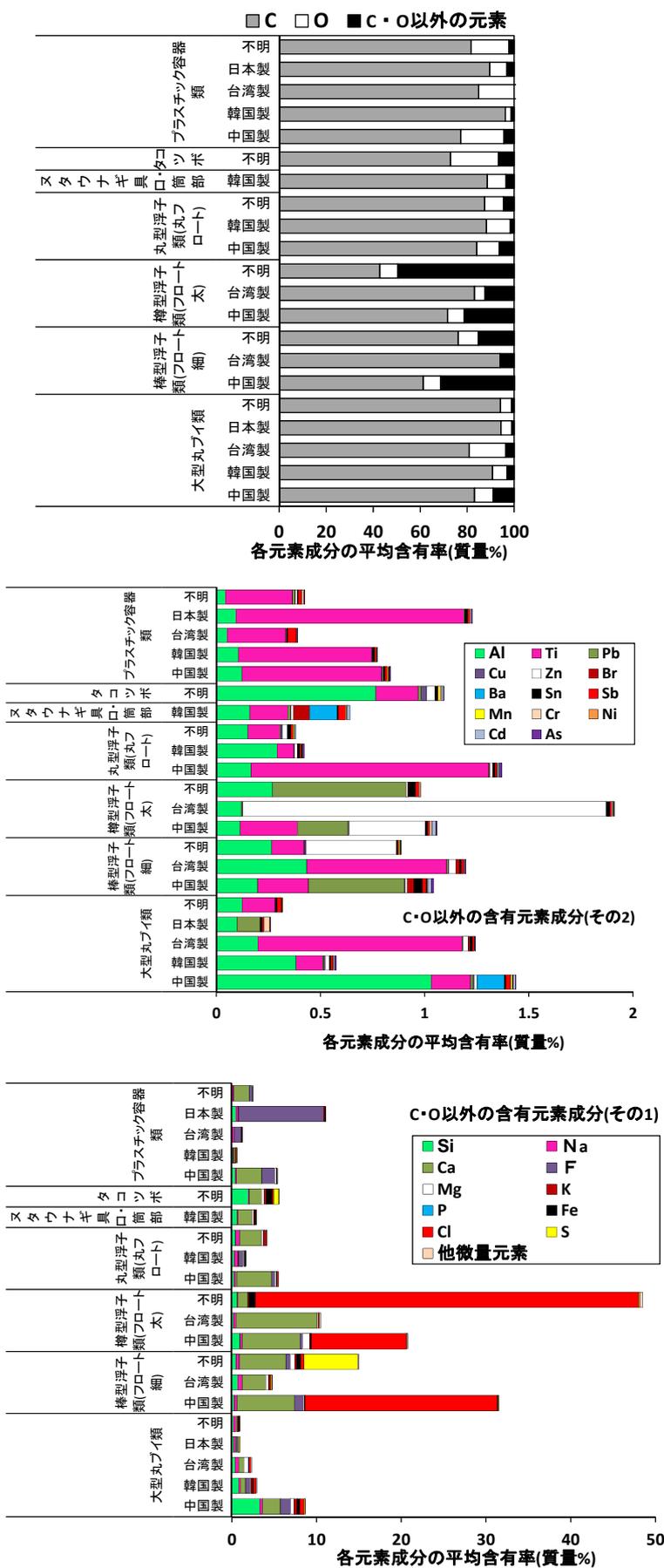
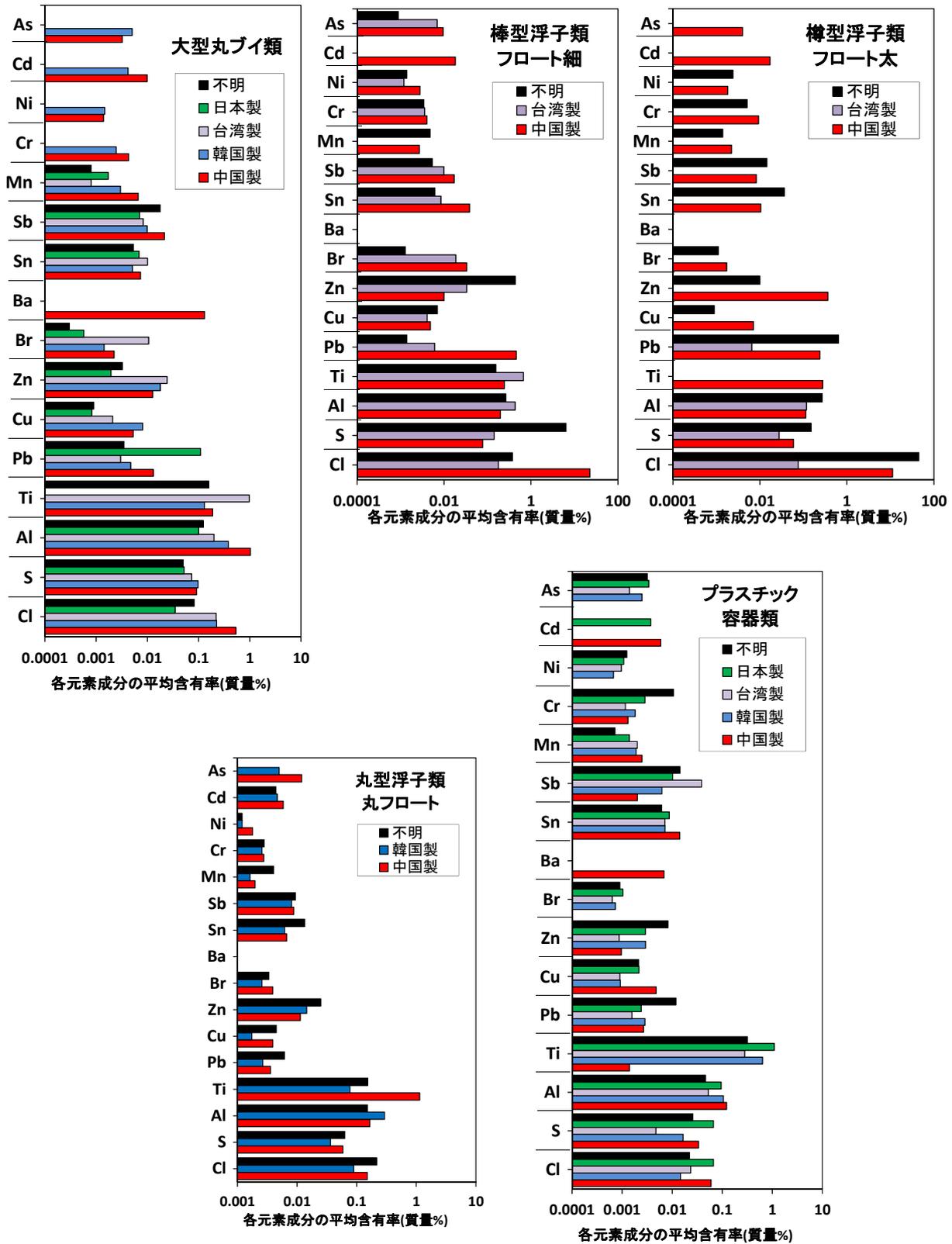


図 4.7 種類・タイプ別に区分し、各有害元素成分の平均含有質量%の国籍別の比較



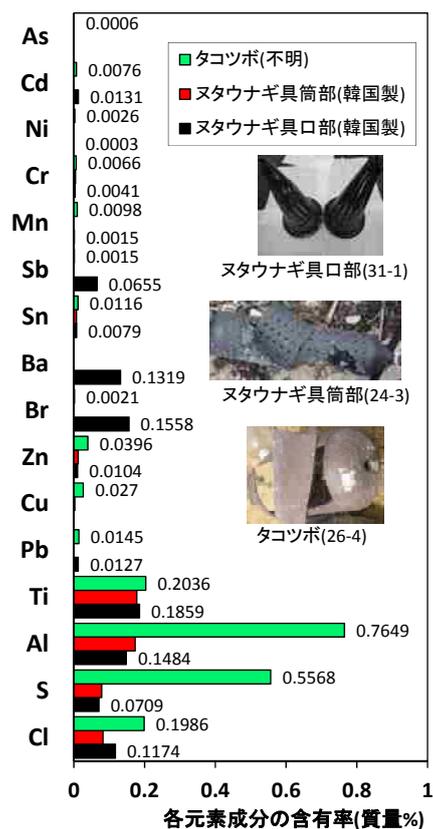
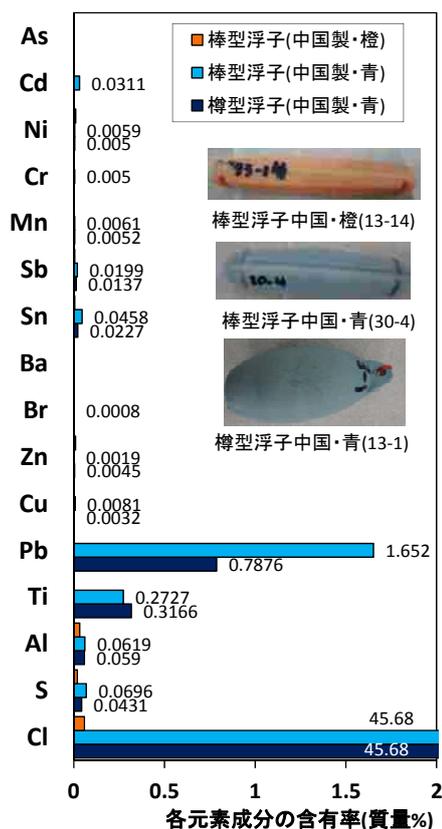


図 4.8(a) 三種類の中国製小型浮子類の分析事例 図 4.8(b) 韓国製ウナギ具とタコツボの分析事例

このようにプラスチック類は炭化水素を基本成分としているが、少量・微量ではあるが各種の元素が検出されるのは、既述したように、着色剤（顔料）、難燃剤、絶縁剤、可塑剤、軟化剤、発泡剤等、用途に応じて様々な添加剤等が混入されているためと推察される。特に Br, P, Cl, Sb, Al, Mg は難燃剤として、Zn と Ti 等は着色剤（顔料）、P, Cl 等は可塑剤として添加・混入されている可能性が高い。ここでは色調での評価は試みていないが、概ね Al, Ca, Si, Ti, Cl などは色調の相違によらず含有されている元素成分といえる。

以上、漂着プラスチック類ゴミの素材自体には種々の有害元素が含有されていることが明らかとなった。プラスチック類ゴミの場合には、特に回収除去の停滞によって細粒化が進展し、生物の誤飲やそれに伴う有害化学物質の体内濃縮など、直接的な生態系への汚染リスクが懸念されることから、次節では、漂着プラスチック片からの有害元素成分の溶出性について論述する。

4. 5 原子吸光分光分析による有害元素成分の溶出量評価

漂着プラスチック類ゴミからの有害化学物質の溶出性を定量的に評価するために、上述の蛍光 X 線分析での含有量評価に用いたもの同一の分析サンプルを用いている(写真 4.1 参照)。即ち、形状・色調・硬さ等の外見的に異なる大型丸ブイ類(26 サンプル)、棒型浮子(フロート細)類 (40 サンプル)、樽型浮子(フロート太)類 (10 サンプル)、丸型浮子(丸フロート)類(18 サンプル)、ヌタウナギ漁具(口・筒部)とタコツボ(3 サンプル)、容器類(23 サンプル)を分析対象とした。但し日本製容器類(サンプル番号ブラ 1~10)の 10 サンプルについては、ここでは分析していない(pH 効果の検証で分析)。なお分析サンプルのサンプル番号は、蛍光 X 線分析サンプルの場合と同じ番号を付している。

先述したように、採取プラスチック類ゴミは脱イオン水(純水)中で入念に超音波洗浄して表面の汚れを除去した後、漂着ゴミの単体サンプルごとに、細かく裁断し均一に混ぜ合わせて分析サンプルを作製している。本節では、漂着プラスチック類ゴミ自体の種類・タイプや国籍による影響を評価することに主眼を置いているので、溶出試験での溶媒液の pH は塩酸(HCl)で調製し、pH=5.84 での溶出検液を用いた場合での有害元素成分の溶出性の検証を試みている。対象とした有害元素は Cr, Zn, Al, Ni, Cu, Cd, As, Pb, Mn, Sn, Sb, Ba, Ti の 13 元素とし、分析は原子吸光分光分析法によった。プラスチック類ゴミからの溶出量はサンプル 1 kg 当りからの溶出量「 μg 」に換算し、単位は「 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 」で表示する。

原子吸光分光分析法では「 $\mu\text{g}/\text{l}$ (ppb)」レベルで分析が可能で、蛍光 X 線分析法よりも高精度であることから、蛍光 X 線分析(含有量)では検出できなかった元素成分の溶出性の評価が可能となる。また各元素成分の溶出性においては、必ずしも含有量の高い元素成分が高い溶出性を呈するとは限らない。元素成分によっては、溶解性の低いものや、溶媒液の pH の影響を大きく受けるものや殆ど受けないものなどがあり、多様な性質を有している。

そこで、原子吸光分光分析による大型丸ブイ類(26 サンプル)、棒型浮子(フロート細)類 (40 サンプル)、樽型浮子(フロート太)類(10 サンプル)、丸型浮子(丸フロート)類(18 サンプル)、容器類(23 サンプル)の各分析サンプルについての 13 成分の有害元素の溶出量をそれぞれ図 4.9(a)～図 4.9(e)に示している。

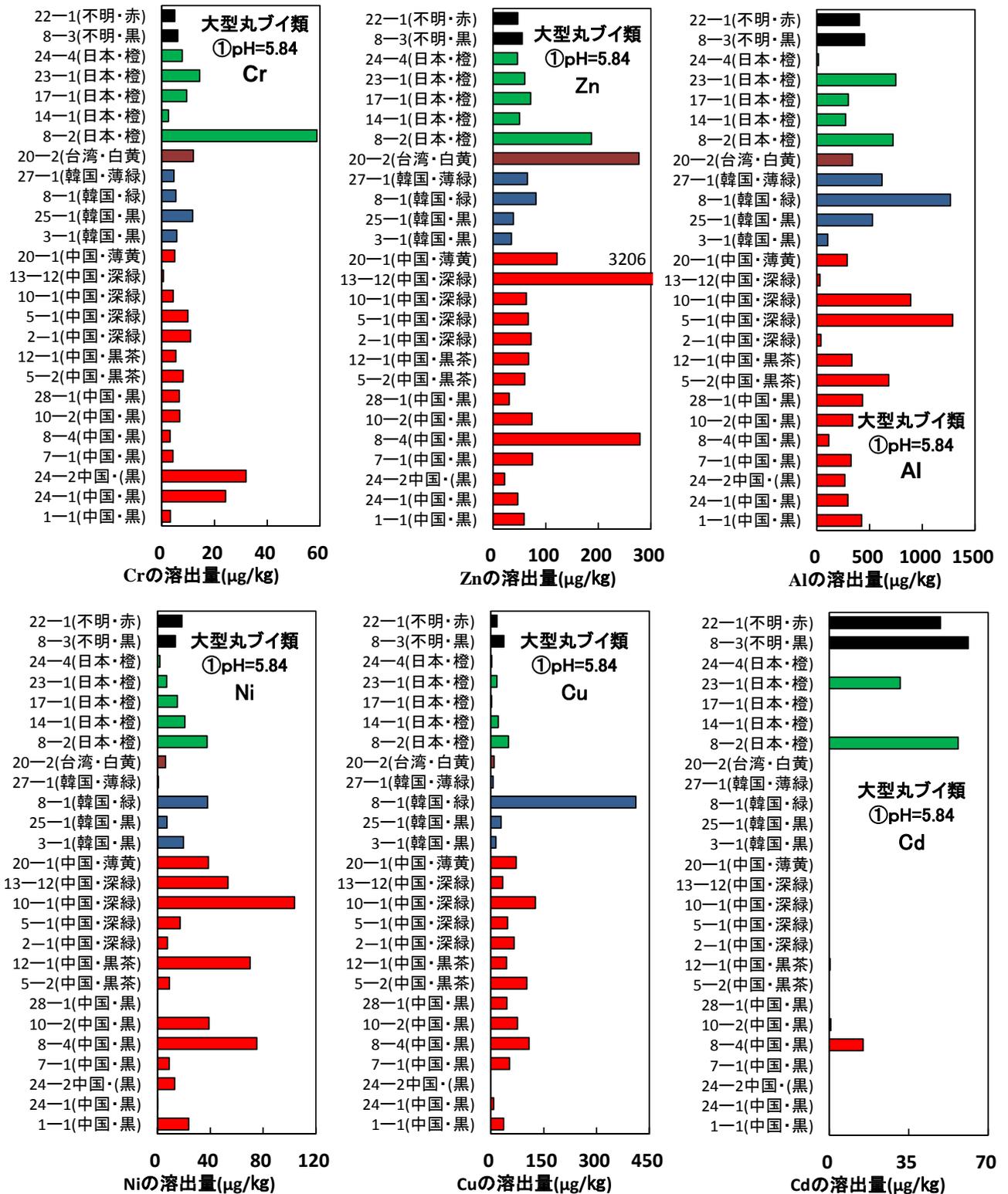
これらの分析結果から明らかなように、同一種類・タイプに区分した分析サンプル間においても、素材・国籍・色調・劣化度合などの影響によるのか、いずれの有害元素成分でもかなり異なった溶出量を呈していることがわかる。大略的な傾向としては、各種・タイプにおいていずれも Mn, Al, Ba, Cu, Zn の溶出量が非常に高く概ね 100~1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ オーダー、次いで Cr・Ni, Ti, Pb, Sb が 10~100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ オーダーの分析サンプルが多い。Pb の含有量が高かった棒型浮子(フロート細)類と樽型浮子(フロート太)類では、その溶出量も高く、特に棒型浮子類では 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ を超える分析サンプルが検出される。また Cr の溶出量も全般的に比較的高く、50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ を超える分析サンプルが大型丸ブイ類、棒型浮子類、容器類で確認される。分析対象とした元素成分の内 Cd, Sn, Sb 以外の 10 元素は、溶出量には差異はあるが、ほとんどすべての分析サンプルで検出された。Cd はいずれの種類・タイプの場合でも非検出の分析サンプルが大半で、丸型浮子類と容器類では 1 サンプルで検出された。Sn も同様で、棒型浮子類、樽型浮子類、丸型浮子類、容器類での検出率は低いが、棒型浮子類と樽型浮子類の中には溶出量の比較的高いサンプルが確認される。Sb は大型丸ブイ類、棒型浮子類、丸型浮子類でかなり高い溶出量が検出されるサンプルもあるが、樽型浮子類では溶出量は低くしかも非検出のサンプルも確認される。

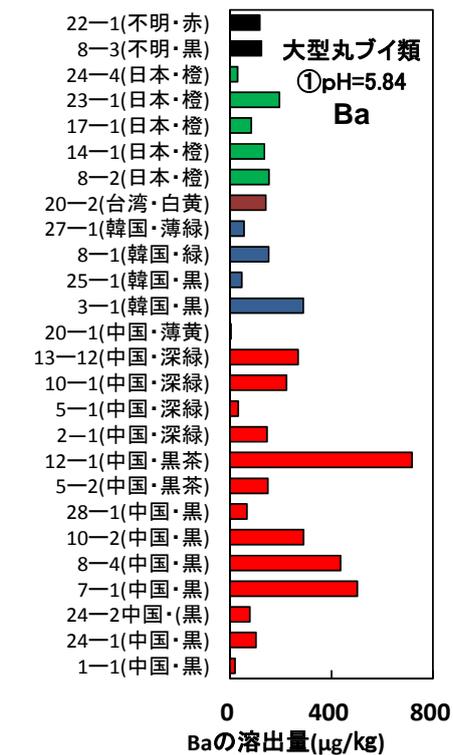
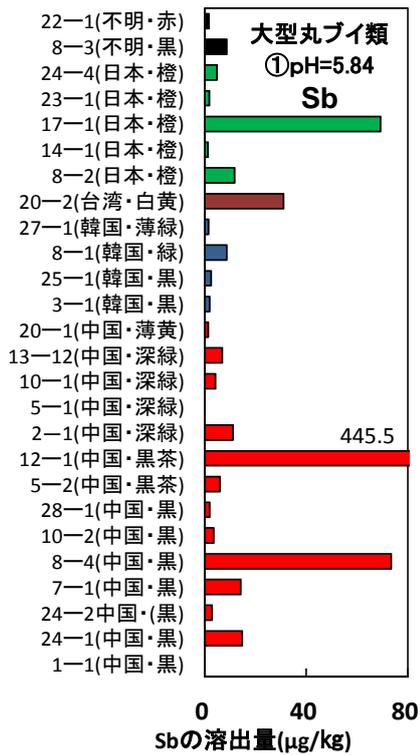
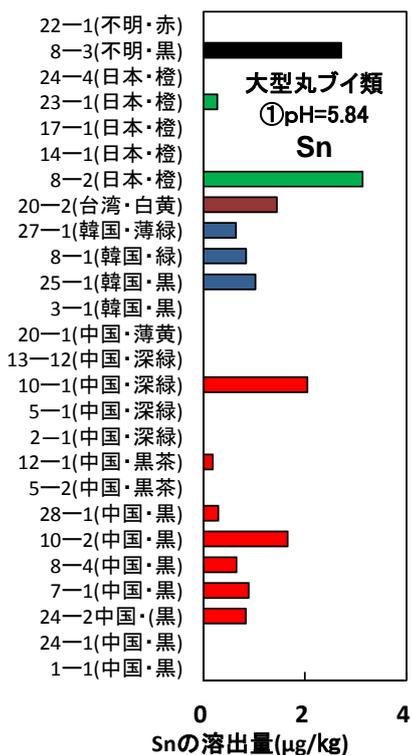
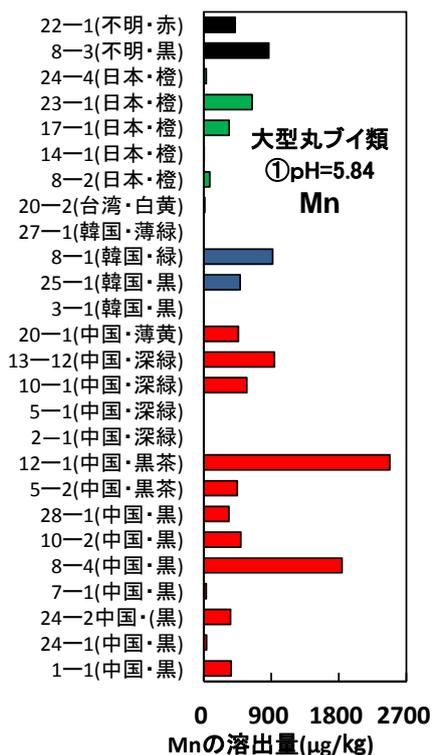
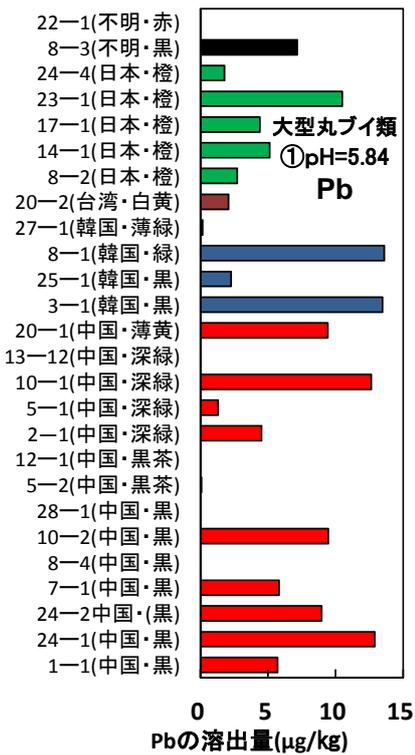
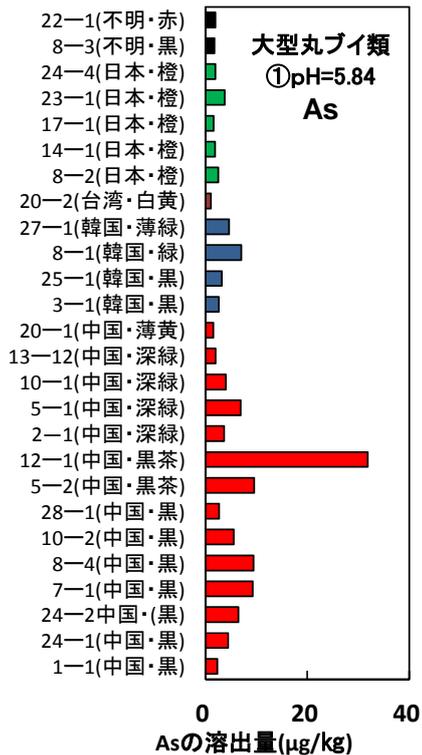
さらに図 4.10(a)には韓国製ヌタウナギ漁具(黒色)の口と筒部、図 4.10(b)には茶色のタコツボ(不明)での各有害元素成分の溶出性を示している。なおタコツボの場合には、参考例として溶媒液の pH が 2.96 の場合も提示している。上述した各種類・タイプの分析サンプルの場合と類似し、ヌタウナギ漁具とタコツボのサンプルにおいても、Al, Mn, Ba, Zn の溶出量が他の分析元素に比較して高いことがわかる。ヌタウナギ漁具では口と筒部の分析サンプルで多少溶出性が異なっており、Al と Mn では筒部、Ba と Zn では口部のサンプルで、高い溶出性が検出される傾向が認められる。Pb・Cr に加え、他の元素成分の溶出量はいずれも低く、大半の元素成分では数 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下の溶出量となっている。タコツボの結果では、溶媒液の pH の相違が溶出量に影響を及ぼしていることがわかる。特に Zn, Al, Cu, Ba の溶出性が大きく左右され、pH が 2.96 の場合には、溶出量が 2~8 倍に増加している。しかし溶出量の低い他の元素成分では、pH による明瞭な増加傾向は認められない。即ちこの結果は、プラスチック片を浸潤させる溶媒液の酸性度を高くすると(pH を小さくする)、高い溶出性を呈する元素成分が含まれていることを示している。そのため海生生物の体内に取り込まれた場合には、溶解する有害元素成分によって汚染リスクが高まることになる。また大量漂着したプラスチ

ック類ゴミが長期間野ざらしにされていると、酸性雨(pH5.6 以下の雨水)等で劣化したプラスチック片から有害化学物質の溶解が進行し、海浜域の水質・土壌汚染が懸念される。

なお漂着プラスチック類ゴミに関する有害元素成分の溶出性に及ぼす pH の効果については、後節で詳述する。

図 4.9(a) 大型丸バイ類の分析サンプルに関する有害元素成分の溶出性





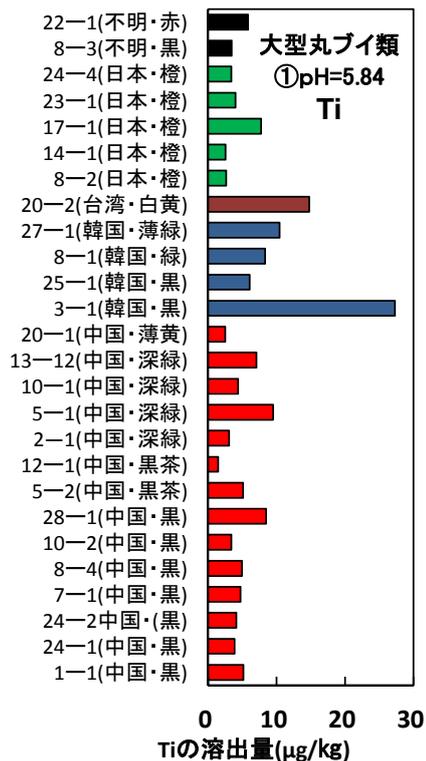
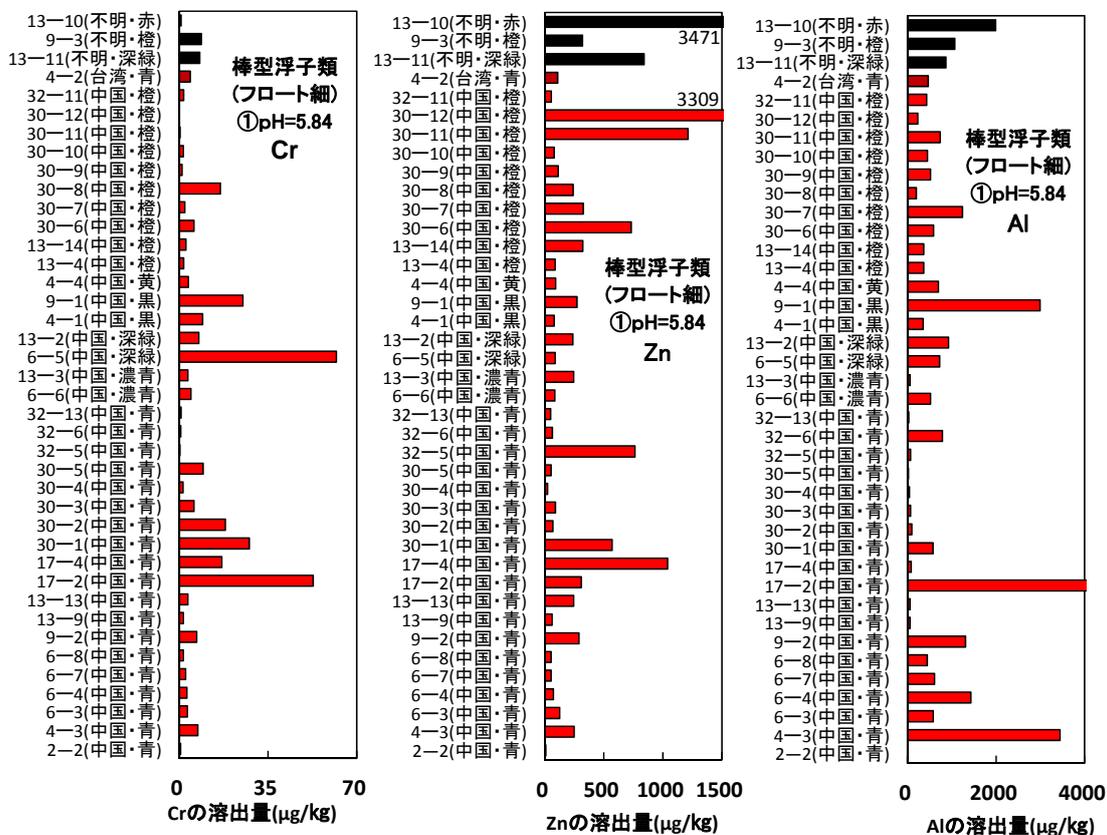
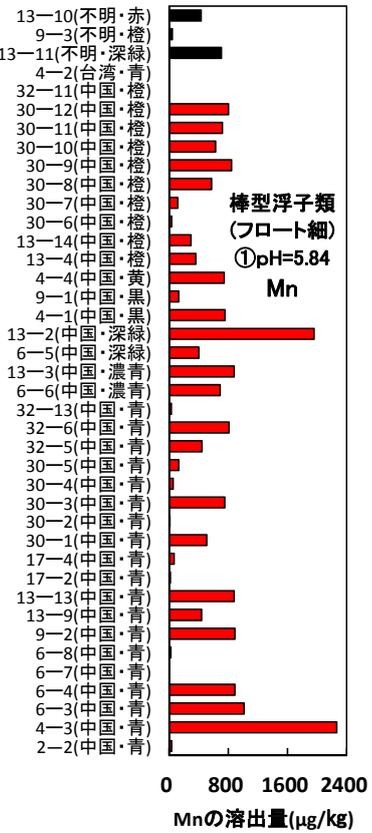
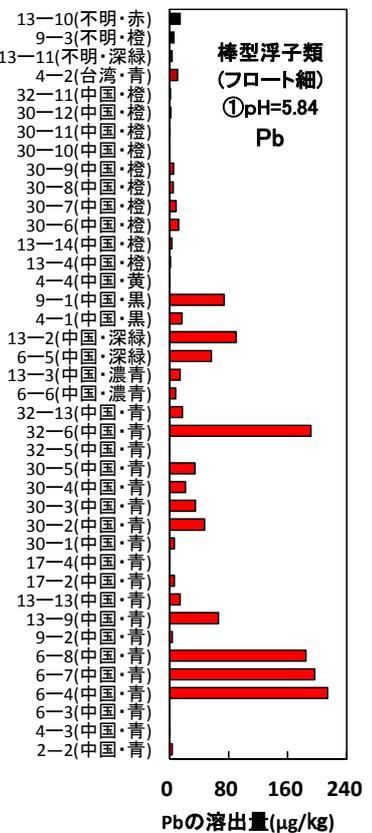
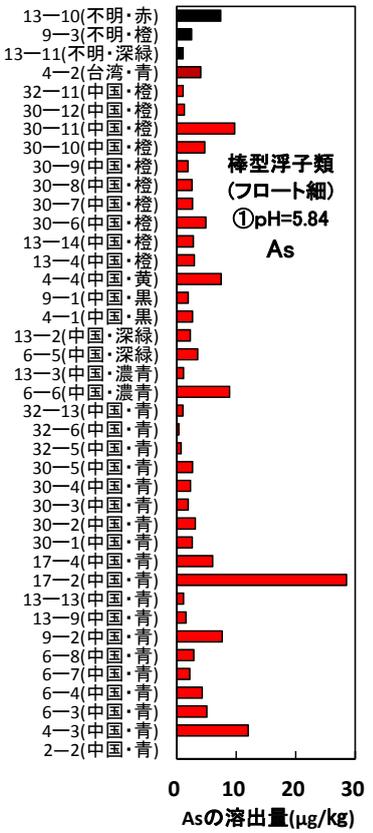
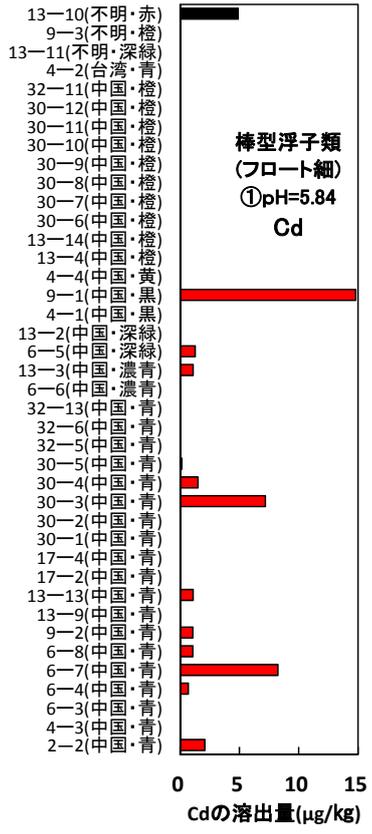
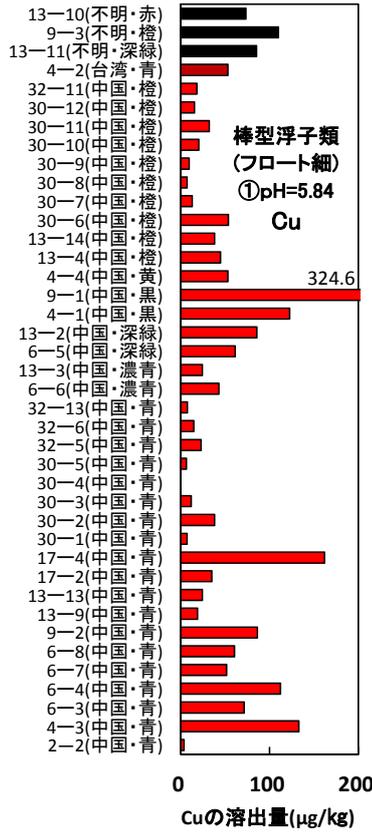
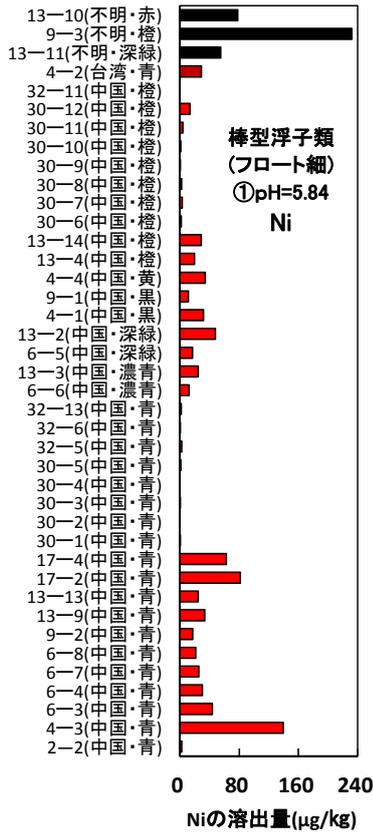


図 4.9(b) 棒型浮子(フロート細)類の分析サンプルに関する有害元素成分の溶出性





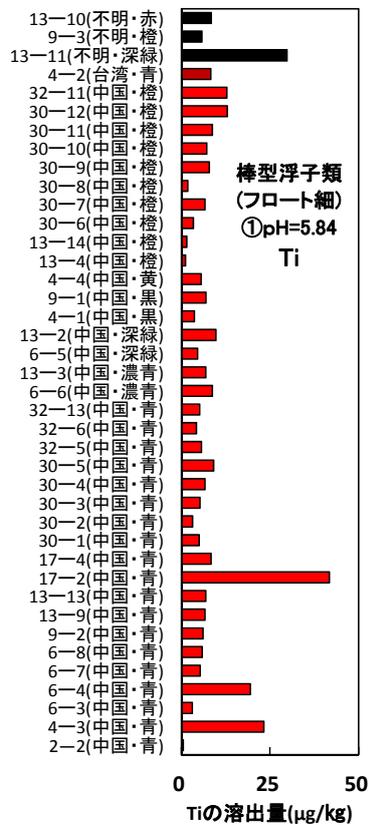
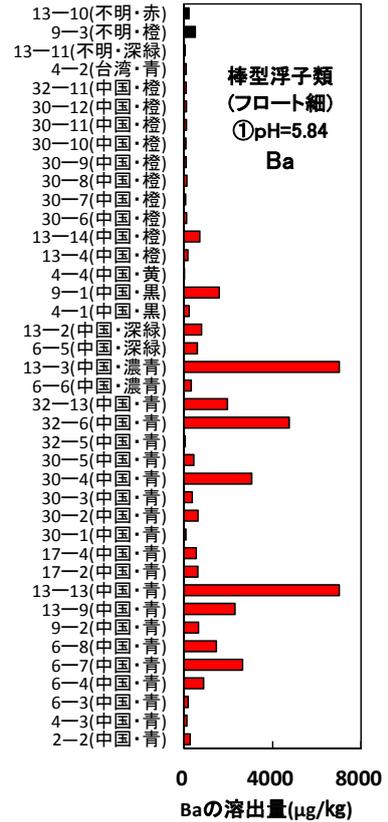
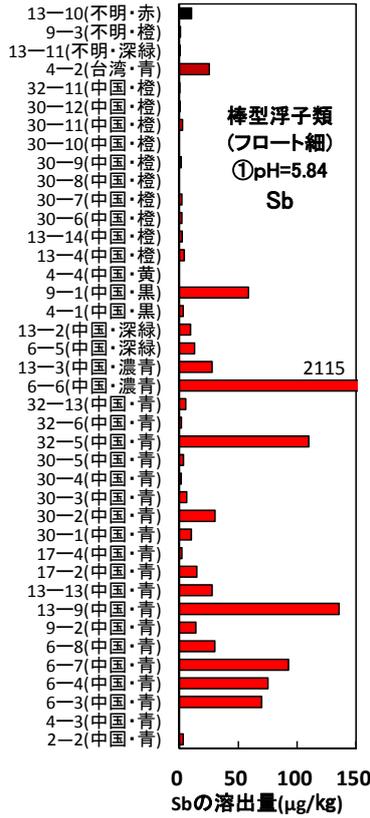
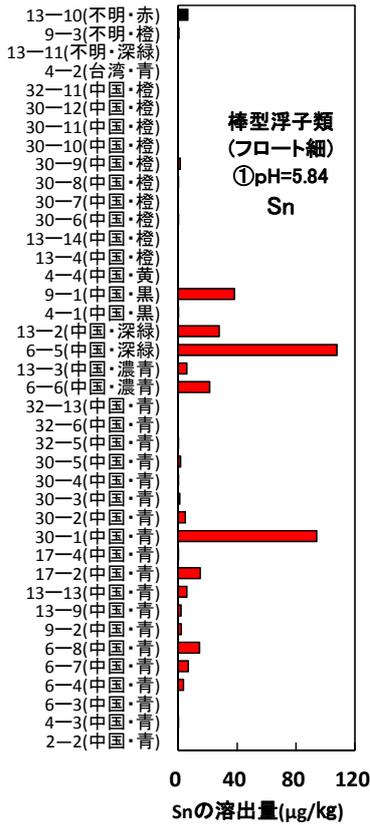


図 4.9(c) 樽型浮子(フロート太)類の分析サンプルに関する有害元素成分の溶出性

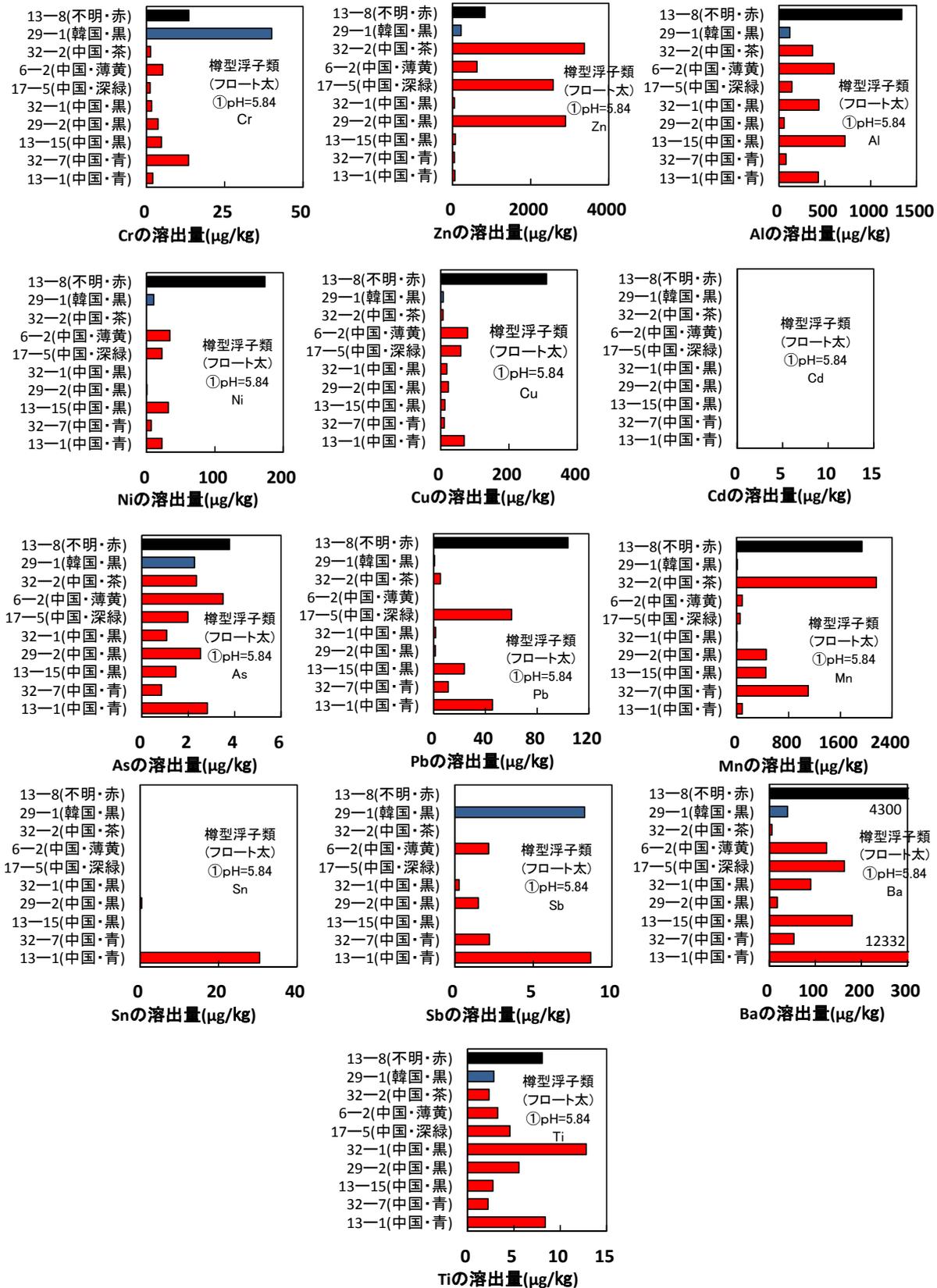


図 4.9(d) 丸型浮子(丸フロート)類の分析サンプルに関する有害元素成分の溶出性

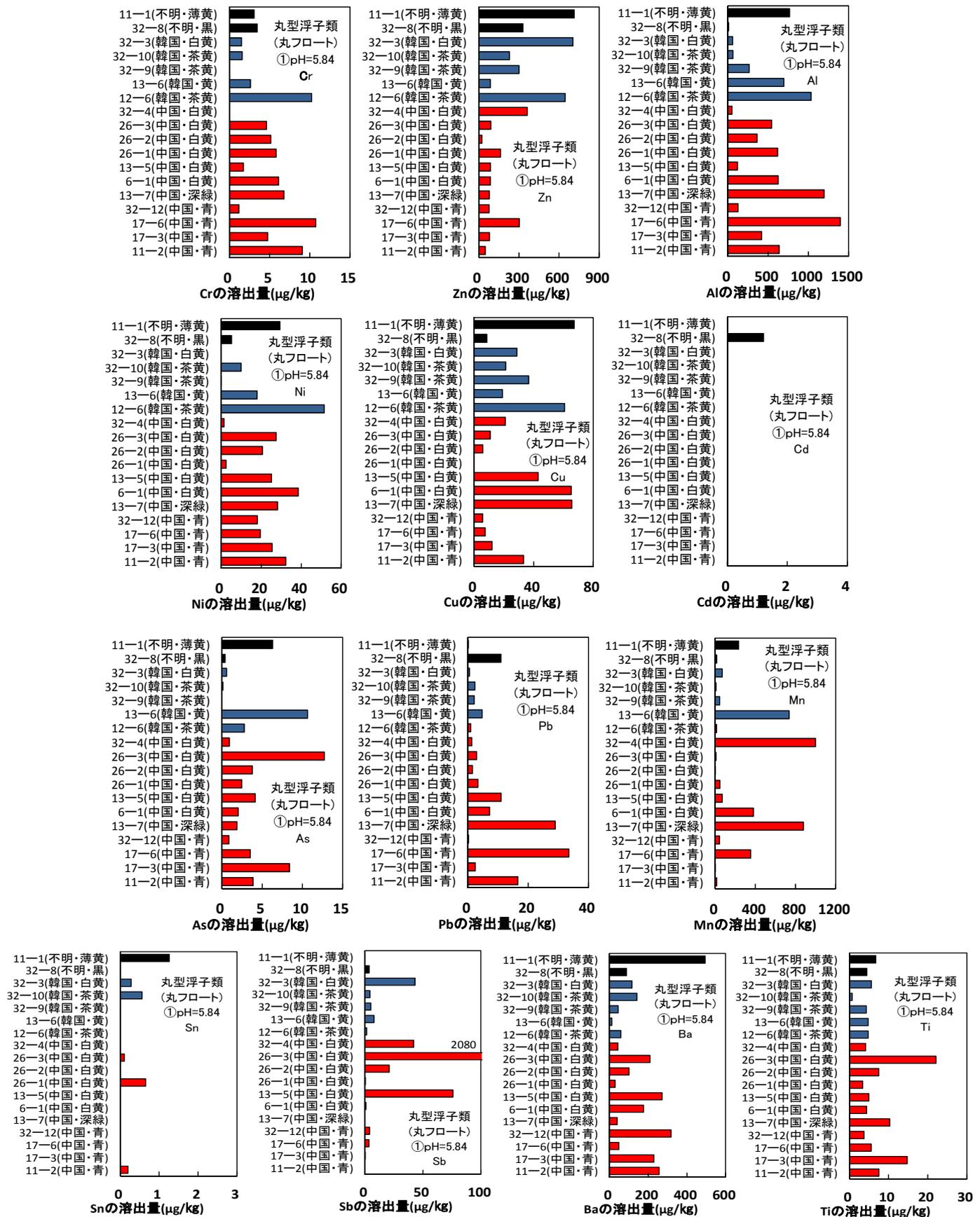
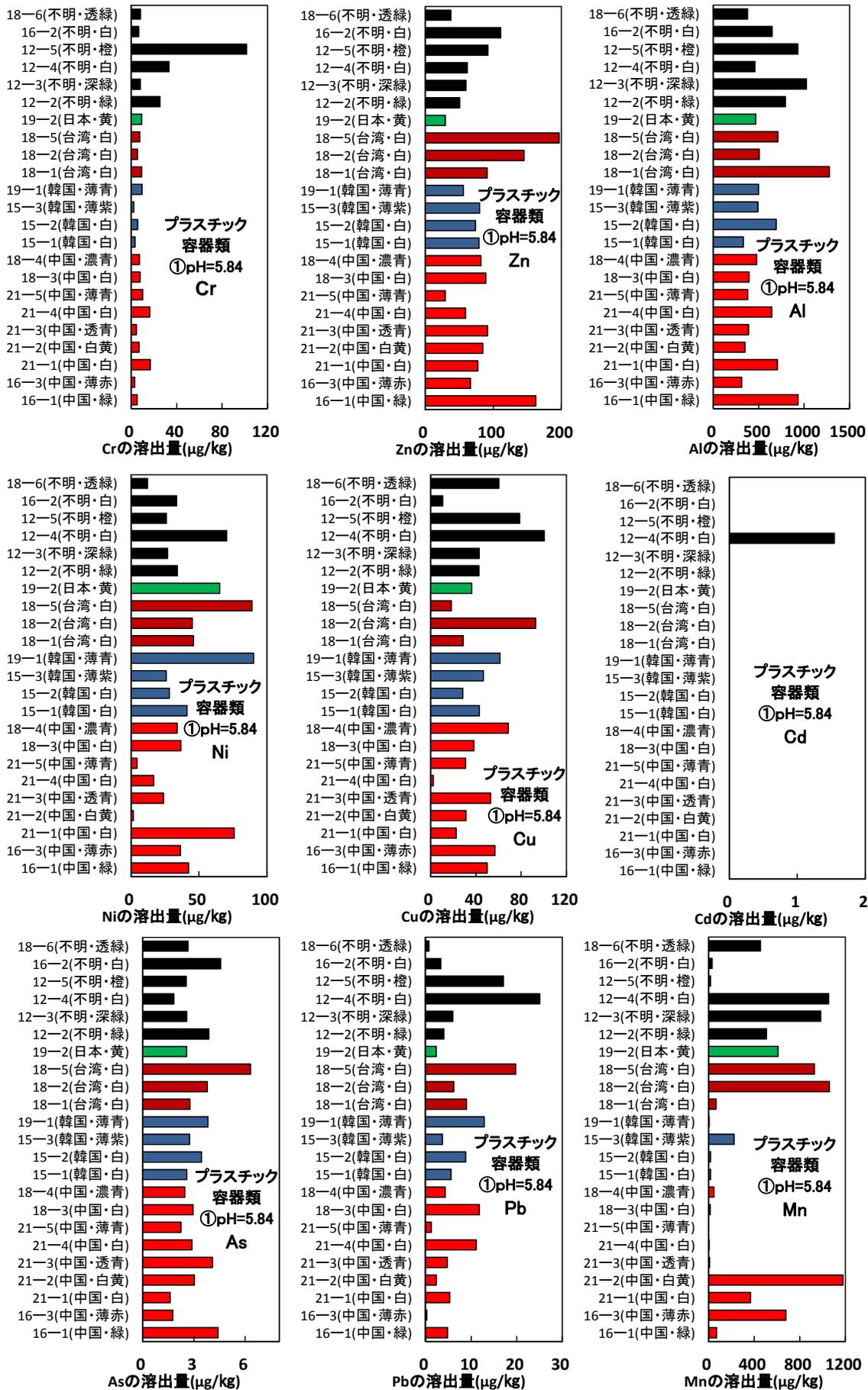


図 4.9(e) プラスチック容器類の分析サンプルに関する有害元素成分の溶出性



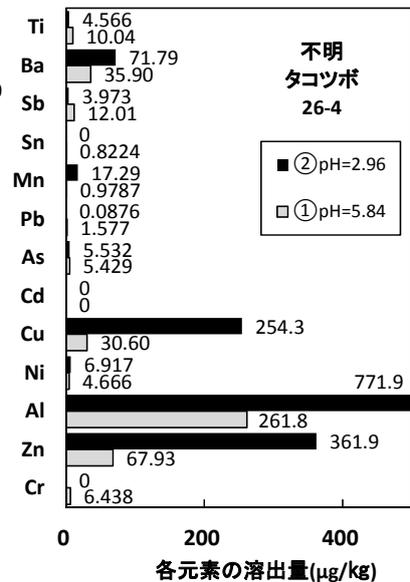
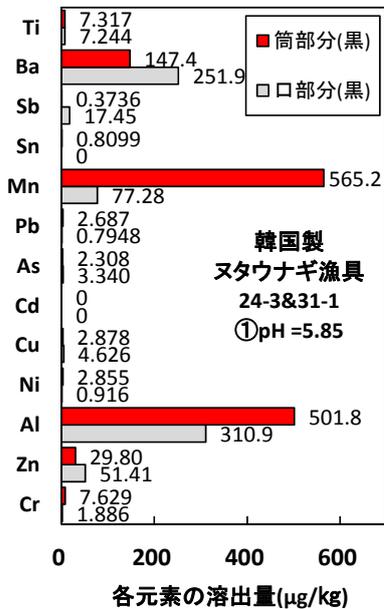
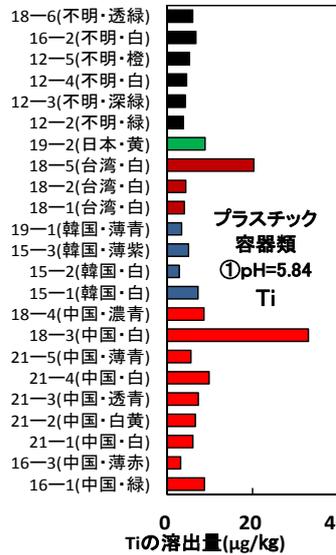
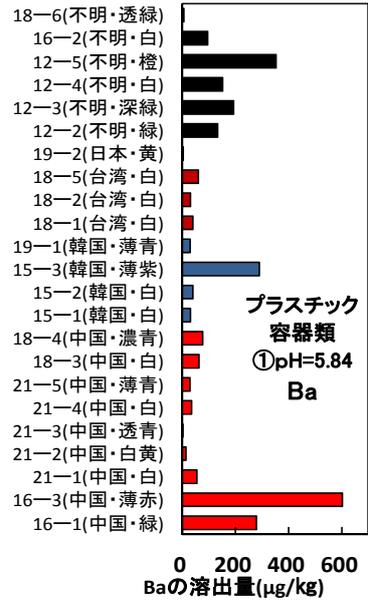
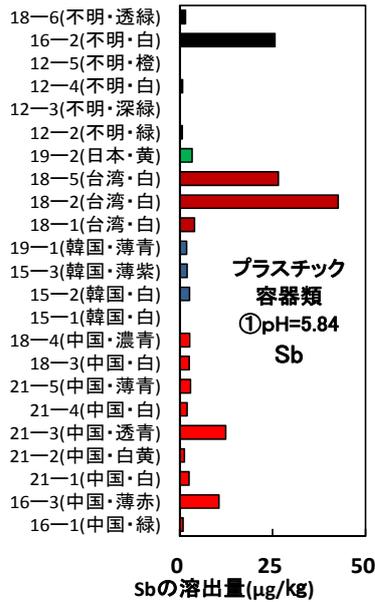
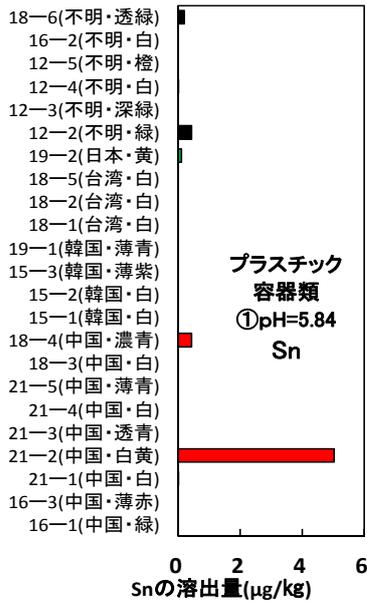


図 4.10(a) ヌタウナギ漁具(口・筒部)の分析サンプルでの有害元素成分の溶出性

図 4.10(b) タコツボの分析サンプルでの有害元素成分の溶出性と溶媒液の pH 効果

4. 6 各種類・タイプのプラスチック類ゴミの国籍別・平均的溶出性の評価

前節で説明した各分析サンプルでの溶出量を種類・タイプごとに再度整理し、有害元素成分の溶出性における国籍の相違・特徴について概説すると共に、各種類・タイプのプラスチック類ゴミにおける有害元素成分の平均的な溶出量について評価を試みる。

図 11 には、大型丸ブイ類、棒型浮子(フロート細)類、樽型浮子(フロート太)類、丸型浮子(丸フロート)類、スタウナギ漁具(口・筒部)・タコツボ、容器類の 6 種類に区分して、分析対象とした 13 元素成分について、その溶出量を国籍別に整理し表示している。プラスチック類ゴミの種類・タイプや元素成分によって、溶出量には分析サンプル間でかなり差異が認められる場合が多い。特に各種類・タイプの漂着ゴミでは、下記に列挙する元素成分でそのような傾向が窺われる。

- ①大型丸ブイ類：Zn, Cu, Cd, As, Mn, Ti
- ②棒型浮子(フロート細)類：Zn, Al, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn, Sb, Ba, Ti
- ③樽型浮子(フロート太)類：Zn, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn, Ba
- ④丸型浮子(丸フロート)類：Mn, Sb
- ⑤スタウナギ漁具(口・筒部)・タコツボ：Mn
- ⑥容器類：Cr, Cu, Mn, Ti

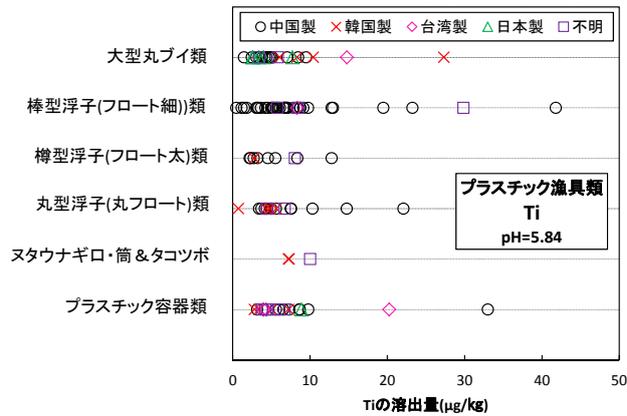
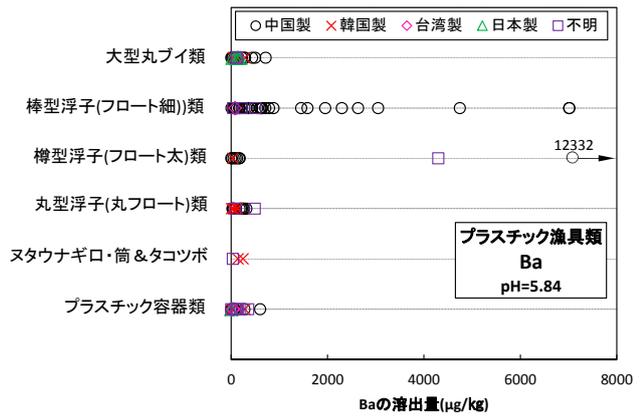
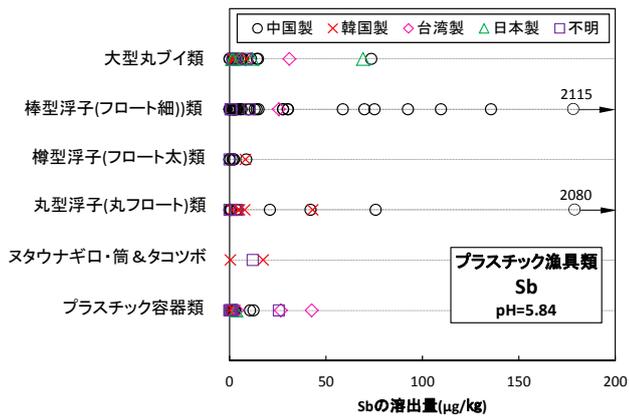
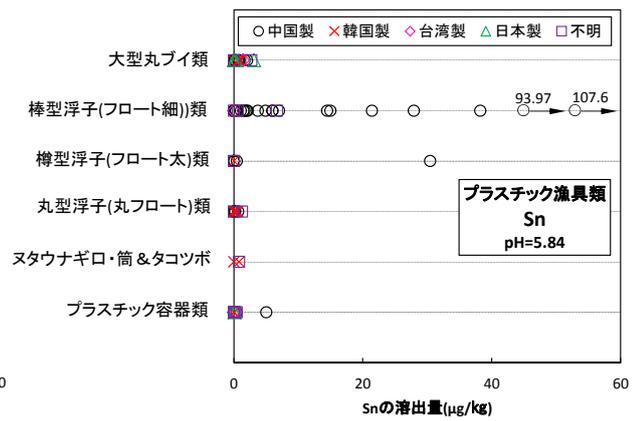
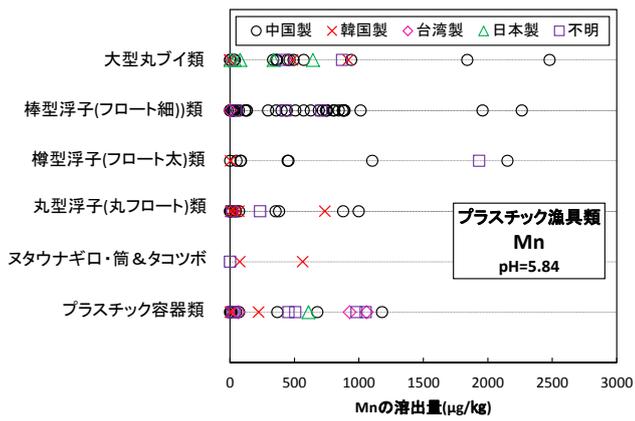
種類・タイプや国籍によって、分析サンプル数がかかなり異なっているので、一概に評価することは難しいが、溶出量においてばらつきの大きな元素成分は、国籍、材質(成形助剤・着色剤等の添加剤)、劣化度合の相違の影響を受けているものと思われる。特に、棒型浮子(フロート細)類と樽型浮子(フロート太)類では、溶出量にかなり相違のある元素成分が検出されることは、素材や添加剤などに差異のあるものが多数製造されているためと推察される。ここでの国籍別の分析サンプル数は中国製 80 サンプル、韓国製 16 サンプル、台湾製 5 サンプル、日本製 6 サンプル、不明 15 サンプルと偏りはあるが、各元素成分で高い溶出量が検出された種類・タイプとその国籍を下記にまとめている。

- ①Cr：大型丸ブイ類(日本製)、棒型浮子類(中国製)、容器類(不明)
- ②Zn：大型丸ブイ(中国製)、棒型浮子類(中国製・不明)、樽型浮子類(中国製)
- ③Al：棒型浮子類(中国製)
- ④Ni：棒型浮子類(不明・中国製)、樽型浮子類(不明)
- ⑤Cu：棒型浮子類(中国製)、樽型浮子類(不明)
- ⑥Cd：大型丸ブイ類(日本製・不明)
- ⑦As：大型丸ブイ(中国製)
- ⑧Pb：棒型浮子類(中国製・不明)
- ⑨Mn：大型丸ブイ(中国製)、棒型浮子類(中国製)、樽型浮子類(不明)
- ⑩Sn：棒型浮子類(中国製)、樽型浮子類(中国製)
- ⑪Sb：大型丸ブイ類(日本製・中国製)、棒型浮子類(中国製)、丸型浮子類(中国製)
- ⑫Ba：棒型浮子類(中国製)、樽型浮子類(中国製・不明)
- ⑬Ti：大型丸ブイ類(韓国製)、棒型浮子類(中国製・不明)、容器類(中国製)

以上の結果より、種類・タイプと国籍から、汚染リスク性の高い有害元素成分の傾向を捉えることができる。

図 4.11 各プラスチック類ゴミでの有害元素成分の溶出性における国籍の影響





さらに上述の分析結果に基づき、国籍別(中国製，韓国製，台湾製，日本製，不明)に溶出量の平均値を求め、各種類・タイプのプラスチック類ゴミについての有害元素成分の溶出性を再度比較したのが図 12(a)～図 12(e)である。国籍によっては分析サンプルの無い場合もあり，また分析サンプルが 1～数サンプルと少ない場合もある。

図 4.12(a) 種類・タイプ別の各有害元素成分の平均溶出量(中国製)

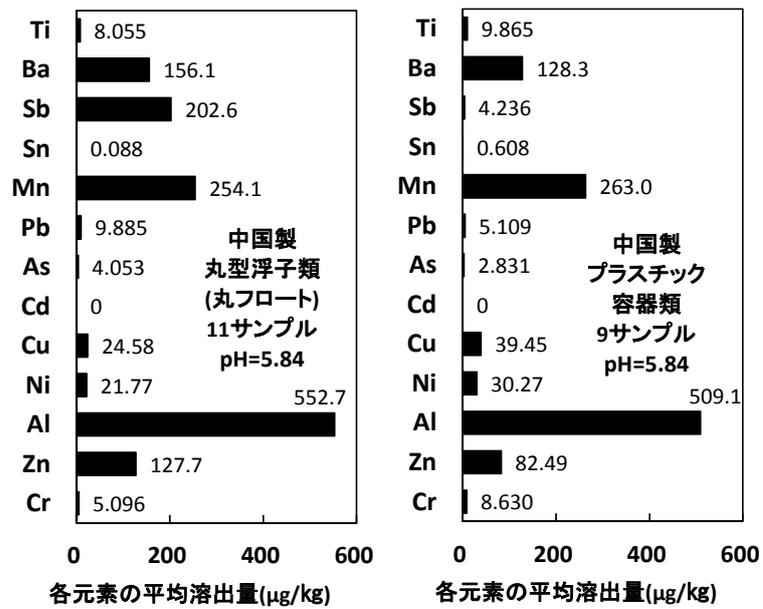
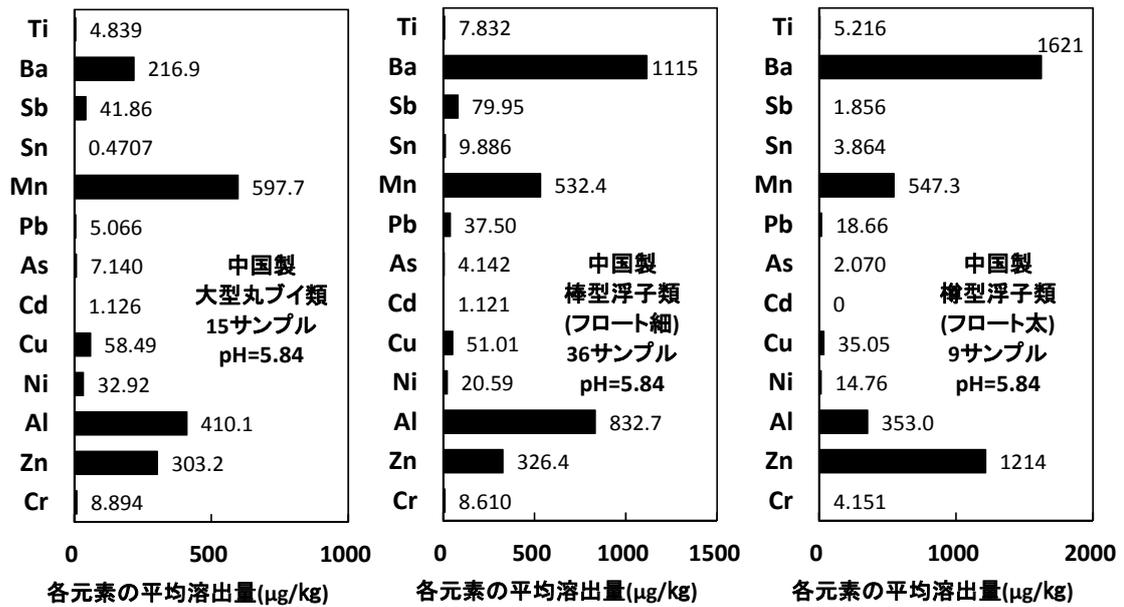


図 4.12(b) 種類・タイプ別の各有害元素成分の平均溶出量(韓国製)

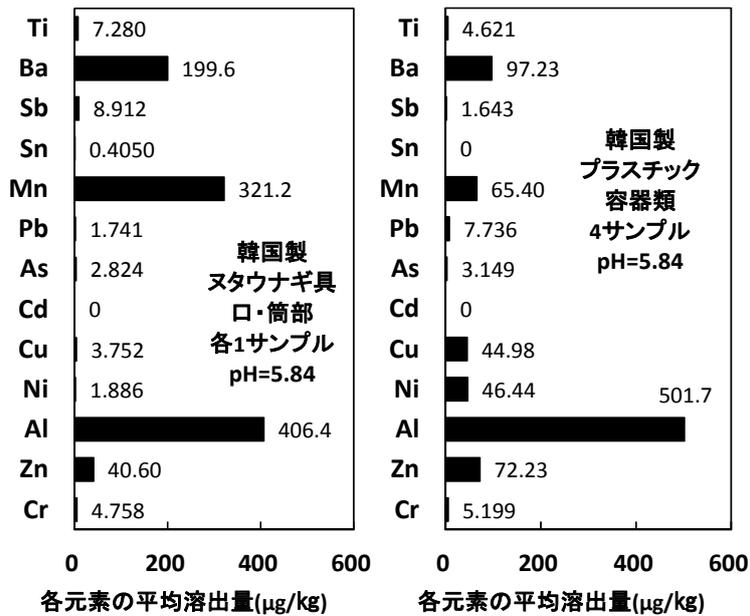
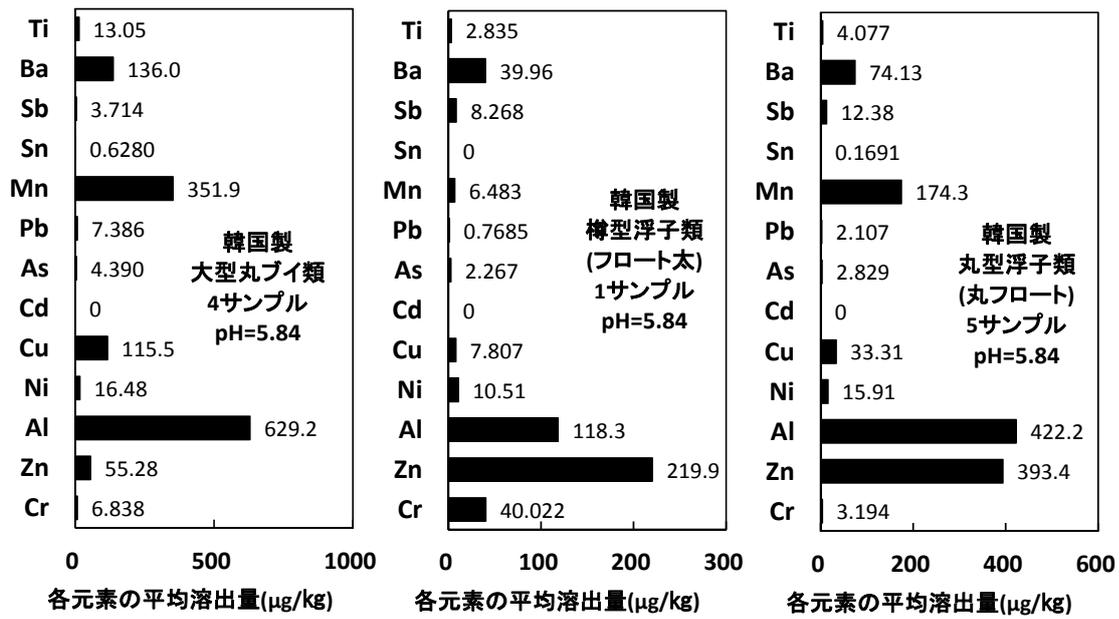


図 4.12(c) 種類・タイプ別の各有害元素成分の平均溶出量(台湾製)

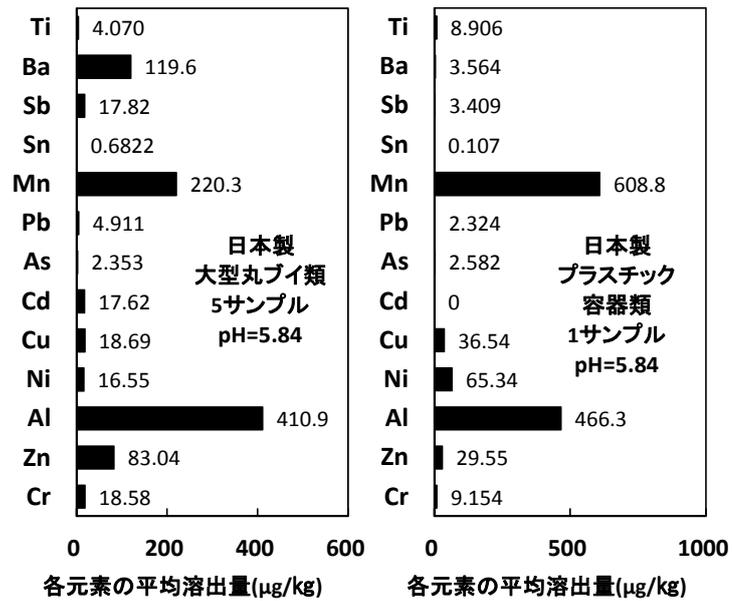
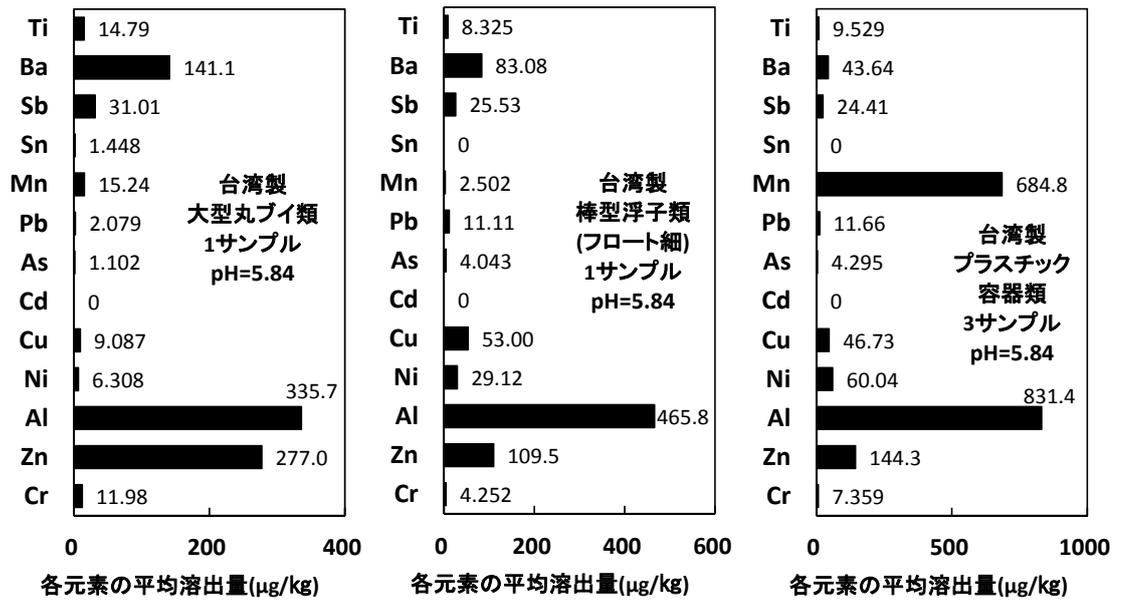


図 4.12(e) 種類・タイプ別の各有害元素成分の平均溶出量(不明)



これらの図より、国籍ごとに、各種類・タイプでの有害元素成分の溶出性の傾向と特徴を概ね定量的に把握することができる。不明を除き国籍ごとに各種類・タイプでの溶出量の高い上位 5 元素成分を下記に列挙する。

<中国製>

①大型丸ブイ類

Mn(597.7) > Al(410.1) > Zn(303.2) > Ba(216.9) > Cu(58.49)

②棒型浮子(フロート細)類

Ba(1115) > Al(832.7) > Mn(532.4) > Zn(326.4) > Sb(79.97)

③樽型浮子(フロート太)類

Ba(1621) > Zn(1214) > Mn(547.3) > Al(353.0) > Cu(35.05)

④丸型浮子(丸フロート)類

Al(552.7) > Mn(254.1) > Sb(202.6) > Ba(156.1) > Zn(127.7)

⑤容器類

Al(509.1) > Mn(263.0) > Ba(128.3) > Zn(82.49) > Cu(39.45)

<韓国製>

①大型丸ブイ類

Al(629.2) > Mn(351.9) > Ba(136.0) > Cu(115.5) > Zn(55.28)

②棒型浮子(フロート細)類

Zn(219.9) > Al(118.3) > Cr(40.02)・Ba(39.96) > Ni(10.51)

③丸型浮子(丸フロート)類

Al(422.2) > Zn(393.4) > Mn(174.3) > Ba(74.13) > Cu(33.31)

④ヌタウンギ漁具(口・筒部)

Al(406.4) > Mn(321.2) > Ba(1996) > Zn(40.60) > Sb(8.912)

⑤容器類

Al(501.7) > Ba(97.23) > Zn(72.23) > Mn(65.40) > Ni(46.44)・Cu(44.98)

<台湾製>

①大型丸ブイ類

Al(335.7) > Zn(277.0) > Ba(141.1) > Sb(31.01) > Ti(14.79)

②棒型浮子(フロート細)

Al(465.8) > Zn(109.5) > Ba(83.08) > Cu(53.00) > Ni(29.12)

③容器類

Al(831.4) > Mn(684.8) > Zn(144.3) > Ni(60.04) > Cu(46.73)

<日本製>

①大型丸ブイ類

Al(410.9) > Mn(220.3) > Ba(119.6) > Zn(83.04) > Cu(18.69)・Cr(18.58)

②容器類

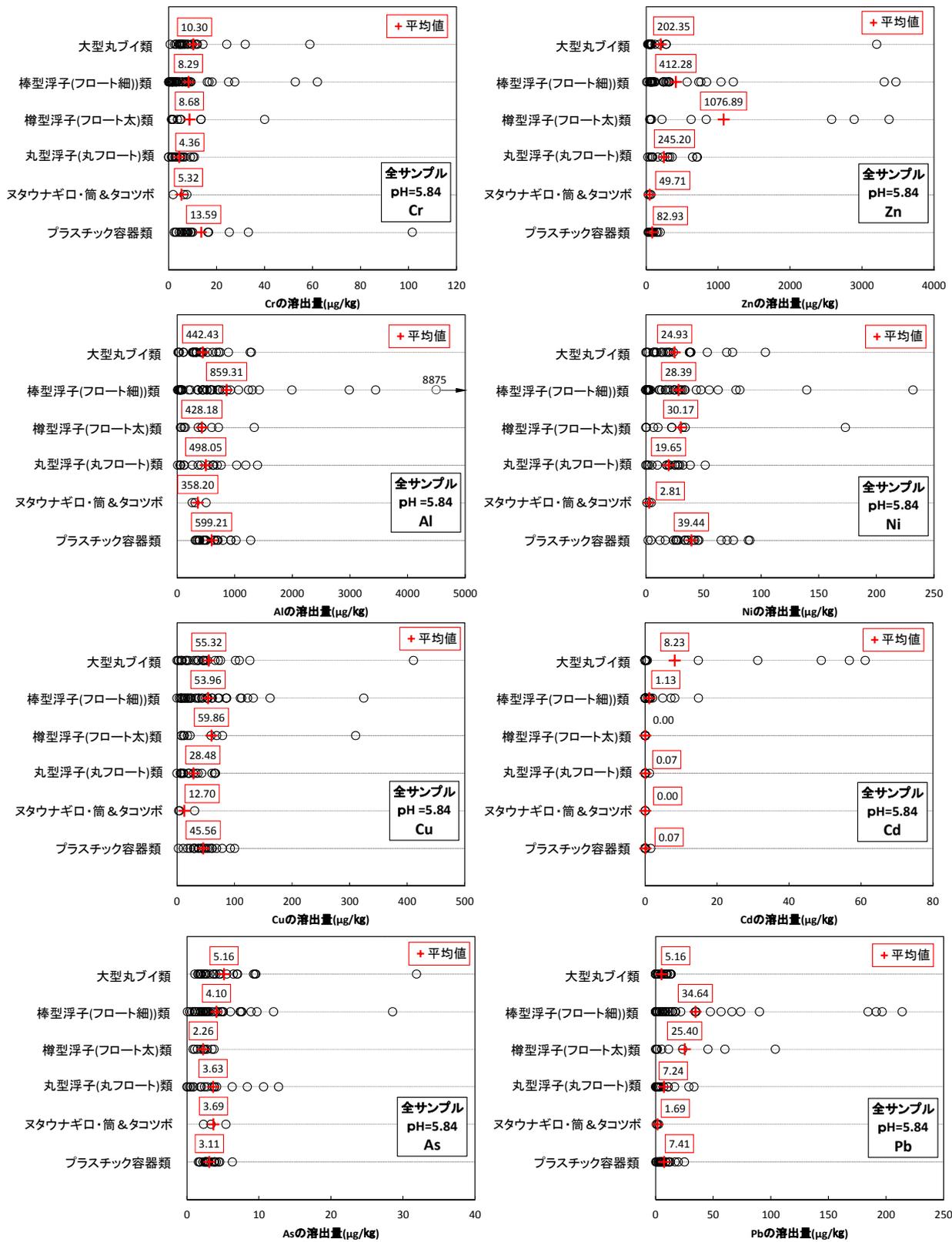
Mn(608.8) > Al(466.3) > Ni(65.34) > Cu(36.54) > Zn(29.55)

但し()内の数値は各種類・タイプでの溶出量の平均値で、単位は「 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 」である。

上記の溶出性の大小関係からも明らかなように、各プラスチック類ゴミにおいて、溶出量の絶対値は異なるが、溶出性の高い上位 5 元素成分は、概ね共通していることがわかる。ちなみに Pb の場合には、不明の樽型浮子(フロート細)類で $103.9\mu\text{g}/\text{kg}$ 、中国製棒型浮子(フロート太)類で $37.50\mu\text{g}/\text{kg}$ 、同樽型浮子(フロート太)類で $18.66\mu\text{g}/\text{kg}$ 、台湾製容器類で $11.66\mu\text{g}/\text{kg}$ と $10\mu\text{g}/\text{kg}$ を超えていたが、他ではいずれも $10\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下となっている。同様に Cr の場合には、韓国製樽型浮子(フロート太)類で $40.02\mu\text{g}/\text{kg}$ 、台湾製大型丸ブイ類で $11.98\mu\text{g}/\text{kg}$ 、日本製大型丸ブイ類で $18.58\mu\text{g}/\text{kg}$ 、不明樽型浮子(フロート太)類で $13.54\mu\text{g}/\text{kg}$ 、同容器類で $30.49\mu\text{g}/\text{kg}$ と比較的高い溶出量を呈し、他ではいずれも $10\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下となっている。

さらに上記の分析結果では、国籍により分析サンプル数が少ない場合もあり、偏りがあることから、各プラスチック類ゴミの溶出量に関する大略的な傾向を捉えるために、漂着ゴミの国籍を問わず、種類・タイプ

図 4.13 種類・タイプごとの各有害元素成分の溶出量の平均値



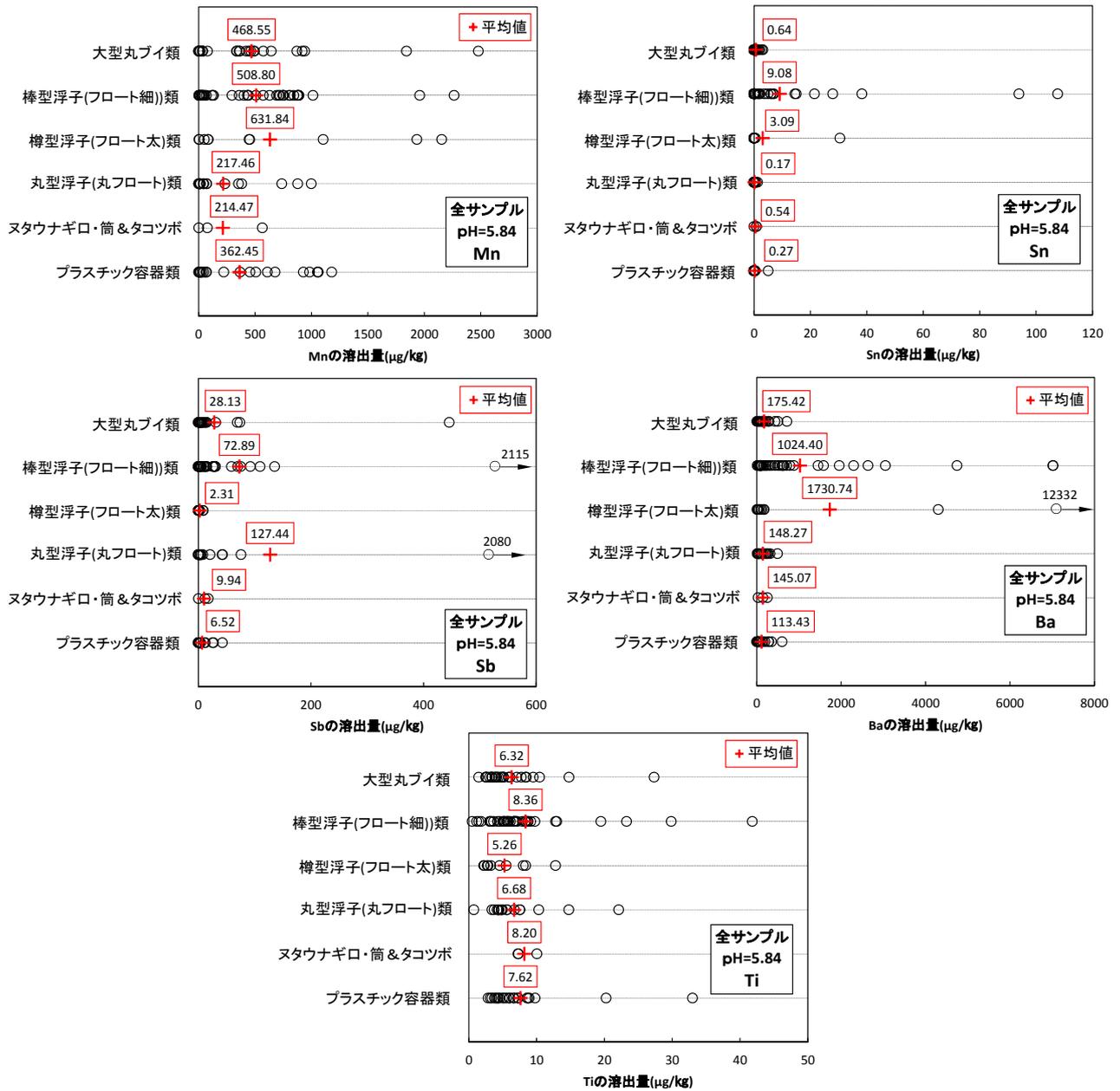
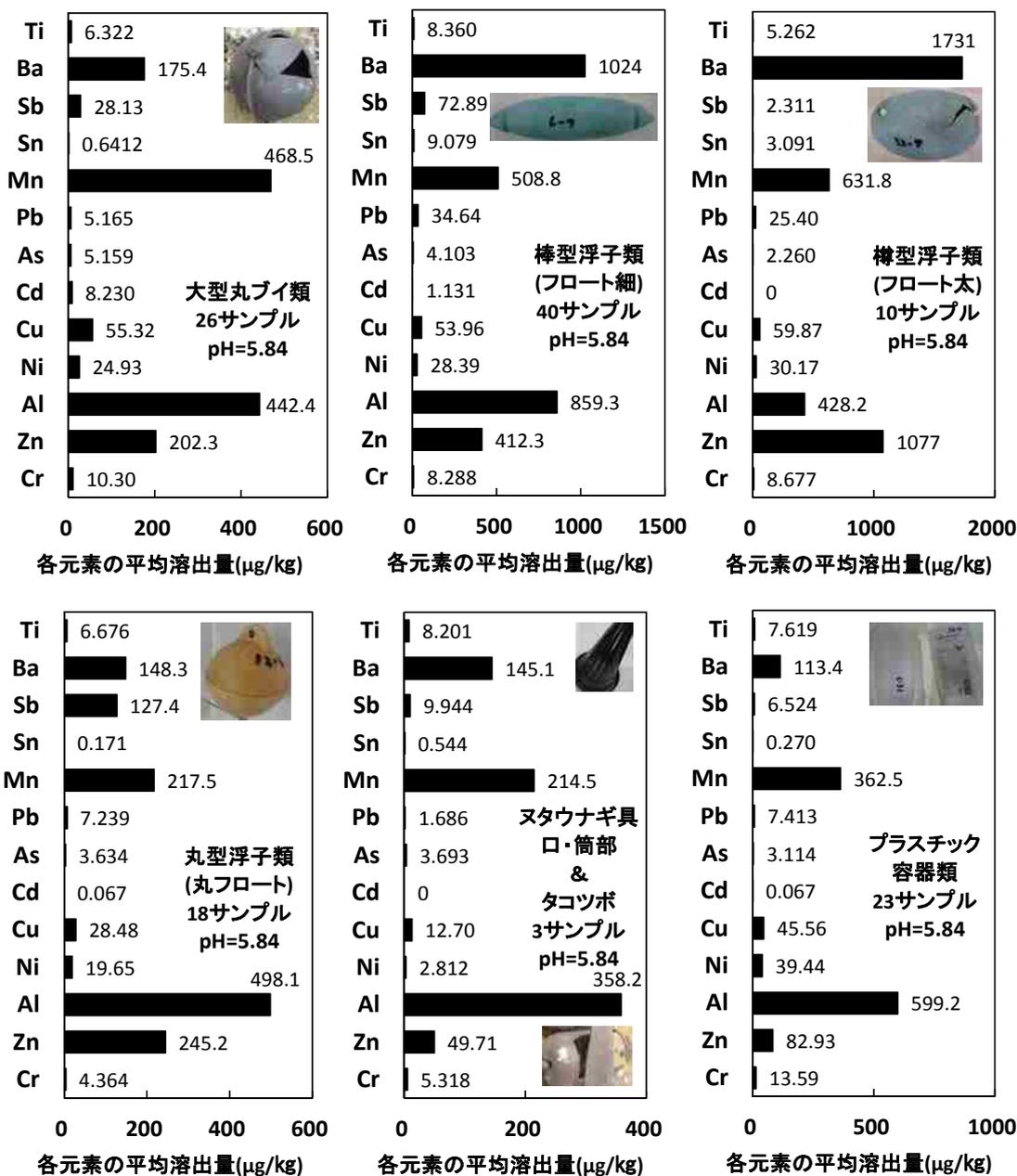


表 4.4 プラスチック類ゴミの種類・タイプごとの各有害元素成分の平均溶出量(溶媒液の pH=5.84)

分析元素成分 (μg/kg)	分析対象としたプラスチック類ゴミの種類・タイプと分析サンプル数					
	大型丸ブイ類	棒型浮子類 (フロート細)	樽型浮子類 (フロート太)	丸型浮子類 (丸フロート)	スタウナギ漁具(口・ 筒部)・タコツボ	容器類
	26サンプル	40サンプル	10サンプル	18サンプル	3サンプル	23サンプル
Cr	10.30	8.29	8.68	4.36	5.32	13.59
Zn	202.35	412.28	1076.89	245.20	49.71	82.93
Al	442.43	859.31	428.18	498.05	358.20	599.21
Ni	24.93	28.39	30.17	19.65	2.81	30.44
Cu	55.32	53.96	59.86	28.48	12.70	45.56
Cd	8.23	1.13	0.00	0.07	0.00	0.07
As	5.16	4.10	2.26	3.63	3.69	3.11
Pb	5.16	34.64	25.40	7.24	1.69	7.41
Mn	468.55	508.80	631.84	217.46	214.47	362.45
Sn	0.64	9.08	3.09	0.17	0.54	0.27
Sb	28.13	72.89	2.31	127.44	9.94	6.52
Ba	175.42	1024.40	1730.74	148.27	145.07	113.43
Ti	6.32	8.36	5.26	6.68	8.20	7.62

図 4.14 種類・タイプごとの各有害元素成分の平均溶出量の比較



溶出量の全平均値では、種類・タイプごとでの上位 5 元素成分の溶出性には下記の大小関係が認められる

①大型丸ブイ類

Mn(468.5) > Al(442.4) > Zn(202.3) > Ba(175.4) > Cu(55.32)

②棒型浮子(フロート細)類

Ba(1024) > Al(859.3) > Mn(508.8) > Zn(412.3) > Cu(53.96)

③樽型浮子(フロート太)類

Ba(1731) > Zn(1077) > Mn(631.8) > Al(428.2) > Cu(59.87)

④丸型浮子(丸フロート)類

Al(498.1) > Zn(245.2) > Mn(217.5) > Ba(148.3) > Sb(127.4)

⑤スタウナギ漁具(口・筒部)・タコツボ

Al(358.2) > Mn(214.5) > Ba(145.1) > Zn(49.71) > Cu(12.70)

⑥容器類

Al(599.2) > Mn(362.5) > Ba(113.4) > Zn(82.93) > Cu(45.56)

但し()内の数値は各種類・タイプでの溶出量の全平均値で、単位は「 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 」である。

高い溶出性を呈する上位 5 元素成分は、国籍別で評価した先の図 4.12(a)～図 4.12(e)に示した結果とほとんど類似している。やはりいずれのプラスチック類ゴミにおいても、Al, Mn, Ba, Zn, Cu が高い溶出性を示している場合が多い。丸型浮子(丸フロート)類では Sb, 容器類では Ni が比較的高い溶出性を呈し、Sb は 2.31～127.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 範囲、Ni は 2.810～30.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 範囲となっている。他の主な元素成分としては、Pb は 1.686～34.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 範囲で、それぞれ棒型浮子(フロート細)類で 34.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、樽型浮子(フロート太)類で 25.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ となっている。また Cr は 4.36～13.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 範囲、As は 2.260～5.159 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 範囲、Ti は 5.262～8.360 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 範囲となっている。

4. 7 漂着レジンペレットからの有害元素成分の溶出性

プラスチック類のゴミで厄介なのは、「レジンペレット」と呼ばれる直径数mm程度の細かい粒子状の樹脂である(写真 4.6)。レジンペレットはプラスチック製品を造るための中間材料で、溶解して用途に応じて着色し、添加剤を加えて加圧して容器類に加工される。またぬいぐるみや健康用具の詰めもの、パチンコ玉の洗浄材などとしても直接使用されている。海鳥・魚類等の海生生物の消化器官から検出される例が多数報告されており、誤食による栄養障害やノルフェノール等の有害化学物質の溶出などによる海洋生態系汚染が懸念されている^{*)}。レジンペレットの海洋への流出の主因は、プラスチック成型工場からの排出、船舶等による出荷・運搬時の漏出と考えられている。海岸域では、汀線付近で漂着ゴミと一緒に打ち上がっていることが多い。またプラスチック類のゴミが漂流・漂着過程で粒子状に細片してレジンペレット化するケースも確認されている。



写真 4.6 レジンペレット

さらに最近、レジンペレットは洋上で有害化学物質を吸着し、海流に乗って遠距離漂流する過程で、汚染物質を広く運搬・拡散させる役割があるともいわれている。

そこでここでは、海岸で採取したレジンペレットを超音波洗浄して表面の汚れを除去した後、レジンペレット自体からの有害元素成分の溶出性の評価を試みた。pH=2.59 の溶媒液(0.01% HCl 調製液)を用い、これまでのプラスチック類ゴミの場合と同様に、浸潤期間は 30 日として原子吸光分光分析により定量分析している。分析元素は Sn, Ti, Ba 以外の 10 元素成分(Al, Zn, Mn, Cu, Ni, Pb, Cr, As, Sb, Cd)とした。

なおレジンペレットは、上述したように、プラスチック容器類の中間材料であることと、個々の粒子の国籍判別が難しいことから、比較参考までに、後述する同溶出条件下(pH=2.59)で分析し

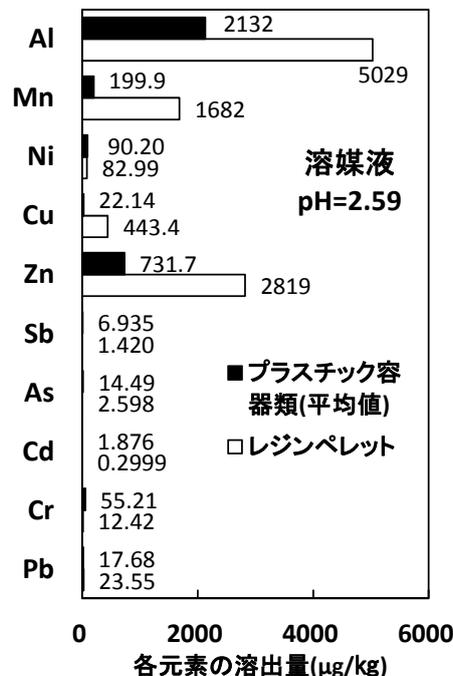


図 4.15 レジンペレットからの各有害元素成分の溶出性

た各国籍サンプル（総計 53 サンプル）での平均値(後述する図 4.19 参照)を併記する。

図 4.15 には、レジンペレットからの各有害元素成分の溶出量をプラスチック容器類と併記して示している。個々の元素成分に注目すると、レジンペレットでは Pb, Zn, Cu, Mn, Al の 5 元素成分において、プラスチック容器類よりも高い溶出性を示している。特に、Al, Zn, Mn では溶出量が 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ オーダーの値を呈している。また Cu は 443.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Pb は 23.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Cr は 12.42 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の溶出量となっている。溶媒液の pH が 2.59 の場合には、両サンプルでの各元素成分間での溶出量には、下記の大小関係が認められる。

<レジンペレット>

Al(5029)>Zn(2819)>Mn(1682)>Cu(443.4)>Ni(82.99)>Pb(23.55)>Cr(12.42)>

As(2.598)>Sb(1.420)>Cd(0.2999)

<プラスチック容器類(各国籍から成るサンプルの平均値)>

Al(2132)>Zn(731.7)>Mn(199.9)>Ni(90.20)>Cr(55.21)>Cu(22.14)>Pb(17.68)>

As(14.49)>Sb(6.935)>Cd(1.876)

但し容器類は全サンプルの平均値で、()内の溶出量の単位は「 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 」である。

溶出量の絶対値の異なる元素成分もあるが、レジンペレットでの各元素成分の溶出性の傾向は容器類に類似していることがわかる。

以上、粒子集合体のレジンペレットは表面積が大きくなることから、総じて、溶出性が促進される可能性が高い。またレジンペレットは、微小粒子で海洋生物の経口摂取しやすい外観を有している。本結果はレジンペレット表面に付着・吸着している汚れを超音波洗浄することで、ペレット粒子自体から溶出した有害化学物質の評価を試みたが、今後、漂流・浮遊中に吸着・付着する有害化学物質の解明も重要な課題となる。

4. 8 漂着プラスチック類ゴミの有害元素成分の溶出性に及ぼす pH 効果

前節では溶媒液の pH を 5.84 として、各種類・タイプのプラスチック自体からの有害元素成分の定量的評価を試みた。重金属類等の金属元素は、高い濃度の酸性液(pH の小さい値)に浸潤させた場合には、一般に高い溶解性を示す場合が多い。海生生物の誤飲によるプラスチック細片の体内への取り込みや、漂着後の酸性雨(pH5.6 以下の降水)下での野ざらしなどを想定し、漂着プラスチック容器類と代表的な漁具類を取り上げ、有害元素成分の溶出性に及ぼす pH 効果について検討を加えた。

これまでと同様に、入念に洗浄した各プラスチック類ゴミは単体サンプルごとに細片状に裁断し分析サンプルとした。溶媒液の pH は塩酸 (HCl) で調製し、pH の異なる 3 種類の溶媒液 (pH=4.69 (0.0001% HCl), pH=2.59 (0.01% HCl), pH=0.65 (1% HCl)) を用いた。ガラス製容器に分析サンプル 10g と溶媒液 30ml を入れ、固液比は 1:3 とした。30 日の浸潤期間中 7 日ごとに 1 時間の振とうを繰り返し、溶出の促進を図った。対象元素は Al, Zn, Mn, Cu, Ni, Pb, Cr, As, Sb, Cd の 10 元素とし、原子吸光分光分析によった。溶出量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) はプラスチック 1 kg 当りからの溶出量 (μg) として表示する。

4. 8. 1 プラスチック容器類での溶媒液の pH 効果

八重山・宮古諸島など近隣アジア諸国からの海洋越境ゴミが多い海岸域もあることから、生産国の製品規格や素材の違いによる影響を考慮し、国籍別に pH 効果の評価を試みた。ランダムに採取した漂着プラスチック容器類を日本製、中国製、台湾製、韓国製、他外国製(ロシア等)の 5 つの国籍に区分した。容器 1 個を 1 サンプルとした単体サンプルを、国籍ごとにそれぞれ 10 サンプル (10 種類の異なる容器類 10 個) 準備

した。但し中国製のものは13サンプルとした。単体サンプルの総数は53サンプルとなるが、1個の単体サンプルで3種類の溶媒液(①pH=4.69, ②pH=2.59, ③pH=0.65)を設定していることから、分析サンプルの総計は159サンプルとなる。表4.5には分析に用いた国籍別容器類の分析サンプルの一覧を、色調を明示して表示している。また写真4.7には分析サンプルの代表的な単体サンプル例を、写真4.8(a)~4.8(e)にはプラスチック片による分析サンプルの状況を提示している。

ちなみに先節で蛍光X線分析による含有元素成分の評価に用いた日本製プラスチック容器類の分析サンプル(日本製容器類プラ1~10, 写真4.3(f)・写真4.1参照)は、ここでの原子吸光分光分析による溶出量の評価に用いる分析サンプルと同一のサンプルである。

表 4.5 国籍別プラスチック容器類ゴミの分析サンプル一覧表(3種類の溶媒液用)

本製プラスチック容器類ゴミの分析サンプル					韓国製プラスチック容器類ゴミの分析サンプル				
通番号	色調	サンプル番号	溶媒液pH	番号	通番号	色調	サンプル番号	溶媒液pH	番号
1	黄	日本1(黄)-①		日本1-①	11	透白	韓国1(透白)-①		韓国1-①
2	白	日本2(白)-①		日本2-①	12	黄	韓国2(黄)-①		韓国2-①
3	緑	日本3(緑)-①		日本3-①	13	白	韓国3(白)-①		韓国3-①
4	白	日本4(白)-①		日本4-①	14	白	韓国4(白)-①		韓国4-①
5	桃	日本5(桃)-①	①pH=4.69	日本5-①	15	透緑	韓国5(透緑)-①	①pH=4.69	韓国5-①
6	緑	日本6(緑)-①		日本6-①	16	透薄青	韓国6(透薄青)-①		韓国6-①
7	薄緑	日本7(薄緑)-①		日本7-①	17	黄	韓国7(黄)-①		韓国7-①
8	薄青	日本8(薄青)-①		日本8-①	18	橙	韓国8(橙)-①		韓国8-①
9	透白	日本9(透白)-①		日本9-①	19	白	韓国9(白)-①		韓国9-①
10	黄	日本10(黄)-①		日本10-①	20	薄青白	韓国10(薄青白)-①		韓国10-①
54	黄	日本1(黄)-②		日本1-②	64	透白	韓国1(透白)-②		韓国1-②
55	白	日本2(白)-②		日本2-②	65	黄	韓国2(黄)-②		韓国2-②
56	緑	日本3(緑)-②		日本3-②	66	白	韓国3(白)-②		韓国3-②
57	白	日本4(白)-②		日本4-②	67	白	韓国4(白)-②		韓国4-②
58	桃	日本5(桃)-②	②pH=2.59	日本5-②	68	透緑	韓国5(透緑)-②	②pH=2.59	韓国5-②
59	緑	日本6(緑)-②		日本6-②	69	透薄青	韓国6(透薄青)-②		韓国6-②
60	薄緑	日本7(薄緑)-②		日本7-②	70	黄	韓国7(黄)-②		韓国7-②
61	薄青	日本8(薄青)-②		日本8-②	71	橙	韓国8(橙)-②		韓国8-②
62	透白	日本9(透白)-②		日本9-②	72	白	韓国9(白)-②		韓国9-②
63	黄	日本10(黄)-②		日本10-②	73	薄青白	韓国10(薄青白)-②		韓国10-②
107	黄	日本1(黄)-③		日本1-③	117	透白	韓国1(透白)-③		韓国1-③
108	白	日本2(白)-③		日本2-③	118	黄	韓国2(黄)-③		韓国2-③
109	緑	日本3(緑)-③		日本3-③	119	白	韓国3(白)-③		韓国3-③
110	白	日本4(白)-③		日本4-③	120	白	韓国4(白)-③		韓国4-③
111	桃	日本5(桃)-③	③pH=0.65	日本5-③	121	透緑	韓国5(透緑)-③	③pH=0.65	韓国5-③
112	緑	日本6(緑)-③		日本6-③	122	透薄青	韓国6(透薄青)-③		韓国6-③
113	薄緑	日本7(薄緑)-③		日本7-③	123	黄	韓国7(黄)-③		韓国7-③
114	薄青	日本8(薄青)-③		日本8-③	124	橙	韓国8(橙)-③		韓国8-③
115	透白	日本9(透白)-③		日本9-③	125	白	韓国9(白)-③		韓国9-③
116	黄	日本10(黄)-③		日本10-③	126	薄青白	韓国10(薄青白)-③		韓国10-③

中国製プラスチック容器類ゴミの分析サンプル				
通番号	色調	サンプル番号	溶媒液pH	番号
21	薄橙	中国1(薄橙)-①		中国1-①
22	橙	中国2(橙)-①		中国2-①
23	緑	中国3(緑)-①		中国3-①
24	銀白	中国4(銀白)-①		中国4-①
25	黄	中国5(黄)-①		中国5-①
26	青	中国6(青)-①		中国6-①
27	薄黒	中国7(薄黒)-①		中国7-①
28	薄黄	中国8(薄黄)-①	①pH=4.69	中国8-①
29	白	中国9(白)-①		中国9-①
30	薄橙	中国10(薄橙)-①		中国10-①
31	薄黄	中国11(薄黄)-①		中国11-①
32	緑	中国12(緑)-①		中国12-①
33	青	中国13(青)-①		中国13-①
74	薄橙	中国1(薄橙)-②		中国1-②
75	橙	中国2(橙)-②		中国2-②
76	緑	中国3(緑)-②		中国3-②
77	銀白	中国4(銀白)-②		中国4-②
78	黄	中国5(黄)-②		中国5-②
79	青	中国6(青)-②		中国6-②
80	薄黒	中国7(薄黒)-②	②pH =2.59	中国7-②
81	薄黄	中国8(薄黄)-②		中国8-②
82	白	中国9(白)-②		中国9-②
83	薄橙	中国10(薄橙)-②		中国10-②
84	薄黄	中国11(薄黄)-②		中国11-②
85	緑	中国12(緑)-②		中国12-②
86	青	中国13(青)-②		中国13-②
127	薄橙	中国1(薄橙)-③		中国1-③
128	橙	中国2(橙)-③		中国2-③
129	緑	中国3(緑)-③		中国3-③
130	銀白	中国4(銀白)-③		中国4-③
131	黄	中国5(黄)-③		中国5-③
132	青	中国6(青)-③	③pH=0.65	中国6-③
133	薄黒	中国7(薄黒)-③		中国7-③
134	薄黄	中国8(薄黄)-③		中国8-③
135	白	中国9(白)-③		中国9-③
136	薄橙	中国10(薄橙)-③		中国10-③
137	薄黄	中国11(薄黄)-③		中国11-③
138	緑	中国12(緑)-③		中国12-③
139	青	中国13(青)-③		中国13-③

台湾製プラスチック容器類ゴミの分析サンプル				
通番号	色調	サンプル番号	溶媒液pH	番号
34	白青	台湾1(白青)-①		台湾1-①
35	白	台湾2(白)-①		台湾2-①
36	白薄黄	台湾3(白薄黄)-①		台湾3-①
37	半透白	台湾4(半透白)-①		台湾4-①
38	半透白	台湾5(半透白)-①	①pH=4.69	台湾5-①
39	白青	台湾6(白青)-①		台湾6-①
40	白	台湾7(白)-①		台湾7-①
41	緑	台湾8(緑)-①		台湾8-①
42	透無	台湾9(透無)-①		台湾9-①
43	白	台湾10(白)-①		台湾10-①
87	白青	台湾1(白青)-②		台湾1-②
88	白	台湾2(白)-②		台湾2-②
89	白薄黄	台湾3(白薄黄)-②		台湾3-②
90	半透白	台湾4(半透白)-②		台湾4-②
91	半透白	台湾5(半透白)-②	②pH =2.59	台湾5-②
92	白青	台湾6(白青)-②		台湾6-②
93	白	台湾7(白)-②		台湾7-②
94	緑	台湾8(緑)-②		台湾8-②
95	透無	台湾9(透無)-②		台湾9-②
96	白	台湾10(白)-②		台湾10-②
140	白青	台湾1(白青)-③		台湾1-③
141	白	台湾2(白)-③		台湾2-③
142	白薄黄	台湾3(白薄黄)-③		台湾3-③
143	半透白	台湾4(半透白)-③		台湾4-③
144	半透白	台湾5(半透白)-③	③pH=0.65	台湾5-③
145	白青	台湾6(白青)-③		台湾6-③
146	白	台湾7(白)-③		台湾7-③
147	緑	台湾8(緑)-③		台湾8-③
148	透無	台湾9(透無)-③		台湾9-③
149	白	台湾10(白)-③		台湾10-③

他外国製プラスチック容器類ゴミの分析サンプル

通番号	色調	サンプル番号	溶媒液pH	番号
44	白	他外国製1(白)-①		他外国製1-①
45	暗青	他外国製2(暗青)-①		他外国製2-①
46	白	他外国製3(白)-①		他外国製3-①
47	赤	他外国製4(赤)-①		他外国製4-①
48	暗青	他外国製5(暗青)-①	①pH=4.69	他外国製5-①
49	透薄無	他外国製6(透薄無)-①		他外国製6-①
50	白	他外国製7(白)-①		他外国製7-①
51	銀白	他外国製8(銀白)-①		他外国製8-①
52	桃	他外国製9(桃)-①		他外国製9-①
53	暗青	他外国製10(暗青)-①		他外国製10-①
97	白	他外国製1(白)-②		他外国製1-②
98	暗青	他外国製2(暗青)-②		他外国製2-②
99	白	他外国製3(白)-②		他外国製3-②
100	赤	他外国製4(赤)-②		他外国製4-②
101	暗青	他外国製5(暗青)-②	②pH =2.59	他外国製5-②
102	透薄無	他外国製6(透薄無)-②		他外国製6-②
103	白	他外国製7(白)-②		他外国製7-②
104	銀白	他外国製8(銀白)-②		他外国製8-②
105	桃	他外国製9(桃)-②		他外国製9-②
106	暗青	他外国製10(暗青)-②		他外国製10-②
150	白	他外国製1(白)-③		他外国製1-③
151	暗青	他外国製2(暗青)-③		他外国製2-③
152	白	他外国製3(白)-③		他外国製3-③
153	赤	他外国製4(赤)-③		他外国製4-③
154	暗青	他外国製5(暗青)-③	③pH=0.65	他外国製5-③
155	透薄無	他外国製6(透薄無)-③		他外国製6-③
156	白	他外国製7(白)-③		他外国製7-③
157	銀白	他外国製8(銀白)-③		他外国製8-③
158	桃	他外国製9(桃)-③		他外国製9-③
159	暗青	他外国製10(暗青)-③		他外国製10-③

写真 4.7 溶出分析に用いた細片化前のプラスチック容器類(国籍別単体サンプル)例



韓国製サンプル



中国製サンプル

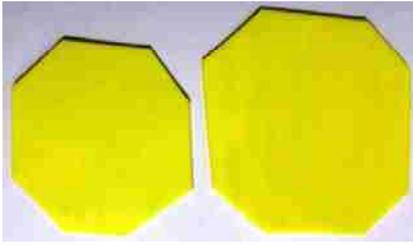


台湾製サンプル



他外国製サンプル

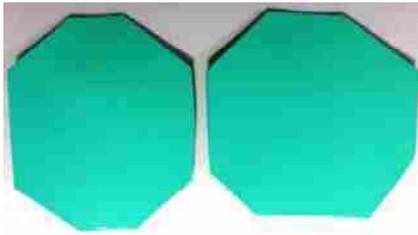
写真 4.8(a) 日本製プラスチック容器類の切片(沖縄八重山・宮古諸島でサンプリング)



日本 1(黄)
与那国島ウブドゥマイ浜



日本 2(白)
与那国島ウブドゥマイ浜



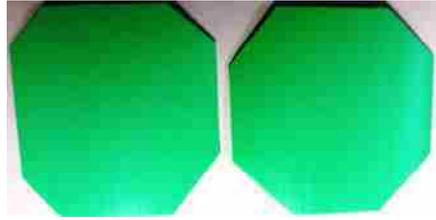
日本 3(緑)
波照間島ブドゥマリ浜



日本 4(白)
西表島野原海岸



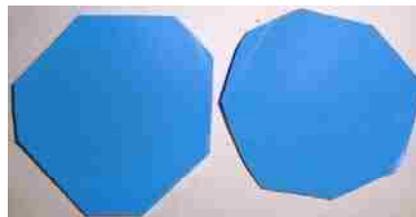
日本 5(桃)
西表島野原海岸



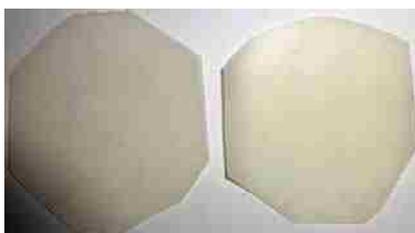
日本 6(緑)
西表島上原海岸



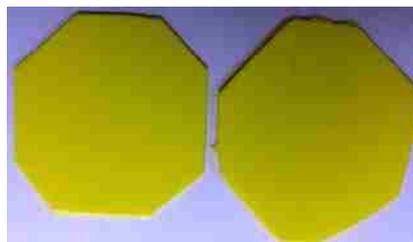
日本 7(薄緑)
石垣島南星野海岸



日本 8(薄青)
石垣島平野海岸



日本 9(透白)
宮古島狩俣海岸

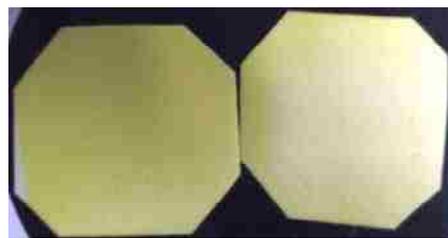


日本 10(黄)
宮古島浦底海岸

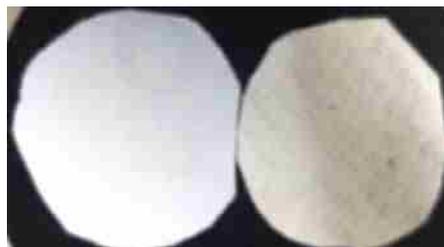
写真 4.8(b) 韓国製プラスチック容器類の切片(沖縄八重山・宮古諸島でサンプリング)



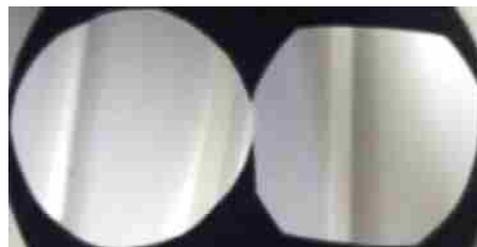
韓国 1(透白)



韓国 2(黄)



韓国 3(白)



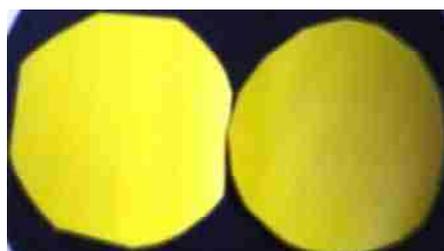
韓国 4(白)



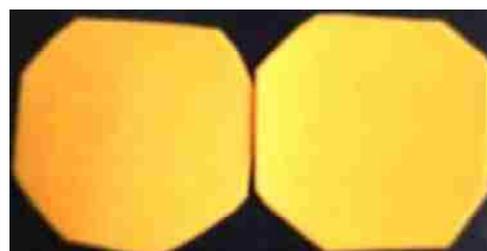
韓国 5(透緑)



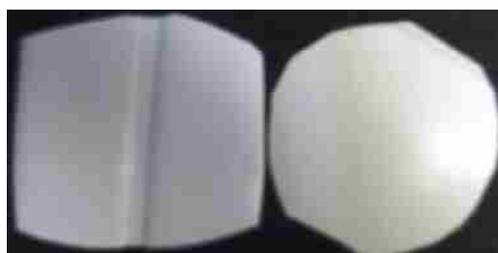
韓国 6(透薄青)



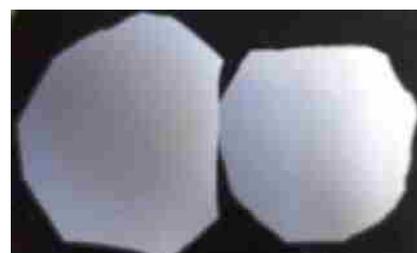
韓国 7(黄)



韓国 8(橙)



韓国 9(白)

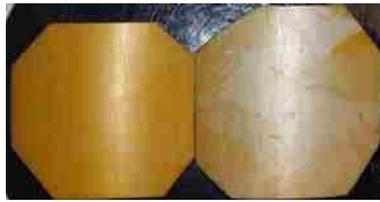


韓国 10(薄青白)

写真 4.8(c) 中国製プラスチック容器類の切片(沖縄八重山・宮古諸島でサンプリング)



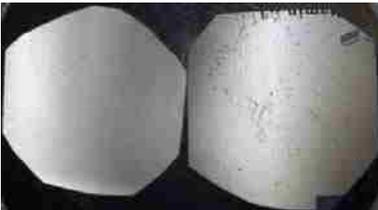
中国 1(薄橙)



中国 2(橙)



中国 3(緑)



中国 4(銀白)



中国 5(黄)



中国 6(青)



中国 7(薄黒)



中国 8(薄黄)



中国 9(白)



中国 10(薄橙)



中国 11(薄黄)



中国 12(緑)

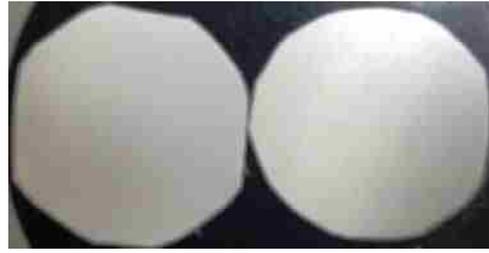


中国 13(青)

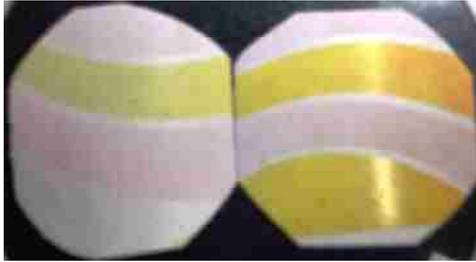
写真 4.8(d) 台湾製プラスチック容器類の切片(沖縄八重山・宮古諸島でサンプリング)



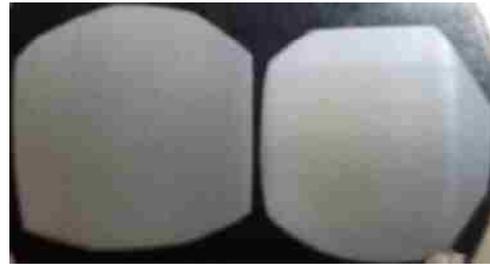
台湾 1(白青)



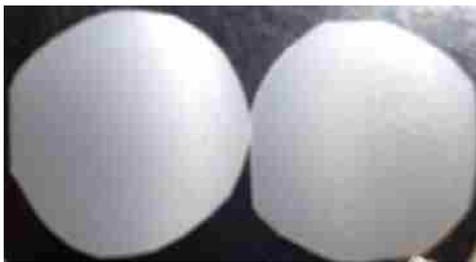
台湾 2(白)



台湾 3(白薄黄)



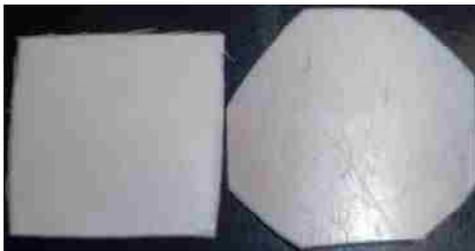
台湾 4(半透白)



台湾 5(半透白)



台湾 6(白青)



台湾 7(白)



台湾 8(緑)



台湾 9(透無)



台湾 10(白)

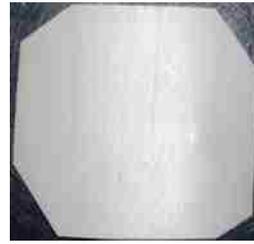
写真 4.8(e) 他外国製プラスチック容器類の切片(沖縄八重山・宮古諸島でサンプリング)



他外国製 1(白)



他外国製 2(暗青)



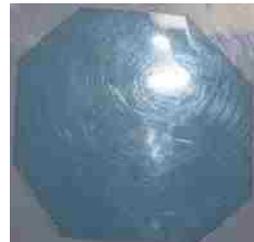
他外国製 3(白)



他外国製 4(赤)



他外国製 5(暗青)



他外国製 6(透薄無)



他外国製 7(白)



他外国製 8(銀白)



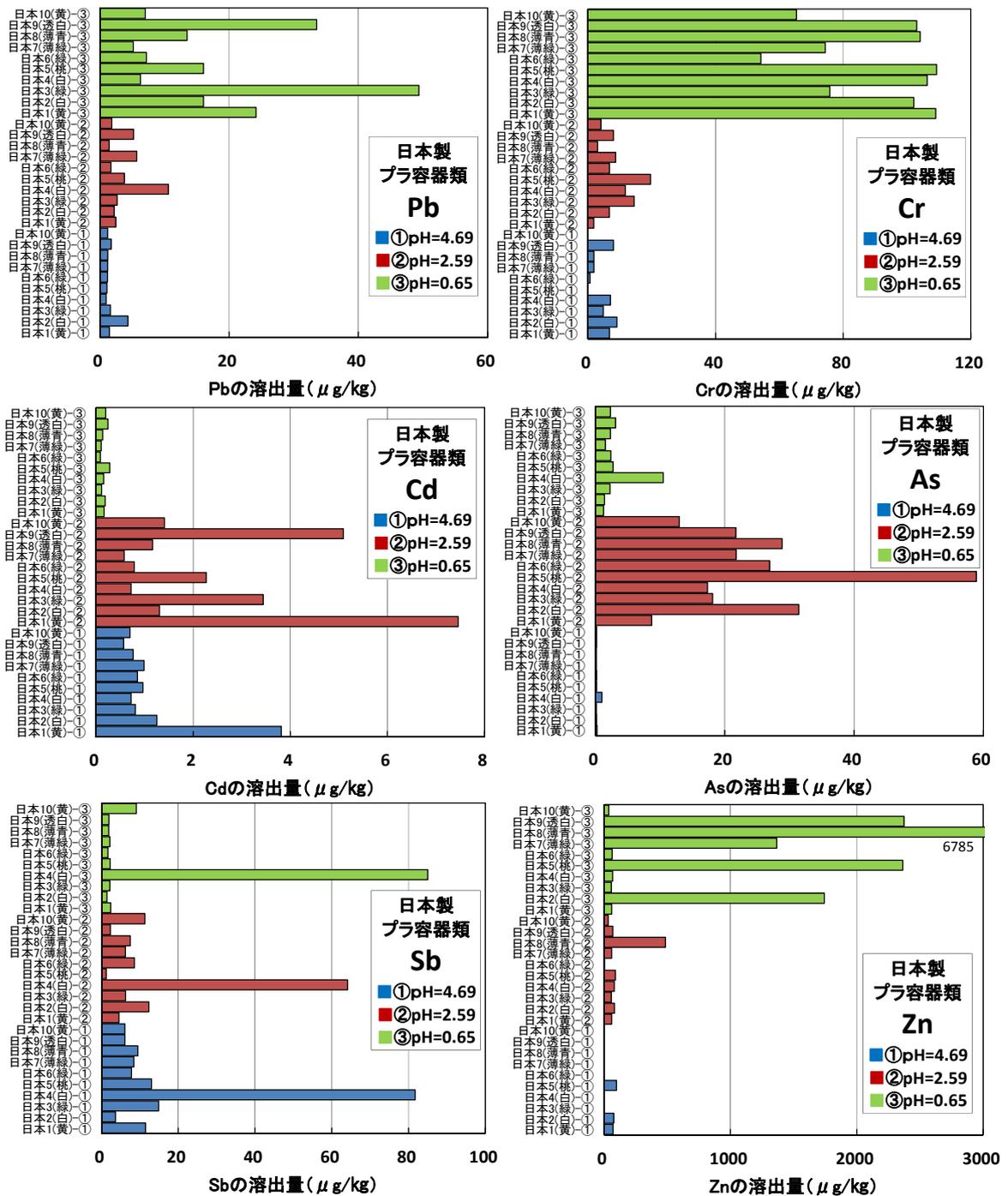
他外国製 9(桃)



他外国製 10(暗青)

国籍別ごとにタイプの異なるプラスチック容器類の単体 10 サンプル（但し中国製は 13 サンプル）を分析している。図 4.16(a)～図 4.16(e)には、pH の異なる 3 種類の溶媒液(①pH=4.69, ②pH=2.59, ③pH=0.65)での各有害元素成分での溶出量を国籍別に整理し比較している。各国籍の分析サンプルにおいて、いずれもサンプル間でかなり差異もみられる元素成分もあるが、分析対象とした元素成分では、いずれの国籍の容器類でも、溶媒液の酸性度が増すと(pH が小さい)、やはり溶出性が高まる場合が多い。しかし Cd, As, Sb,

図 4.16(a) 日本製プラスチック容器類からの溶出量に及ぼす pH 効果



Cu, Mn の溶出性では国籍や pH の変化によって異なった傾向が窺われる。

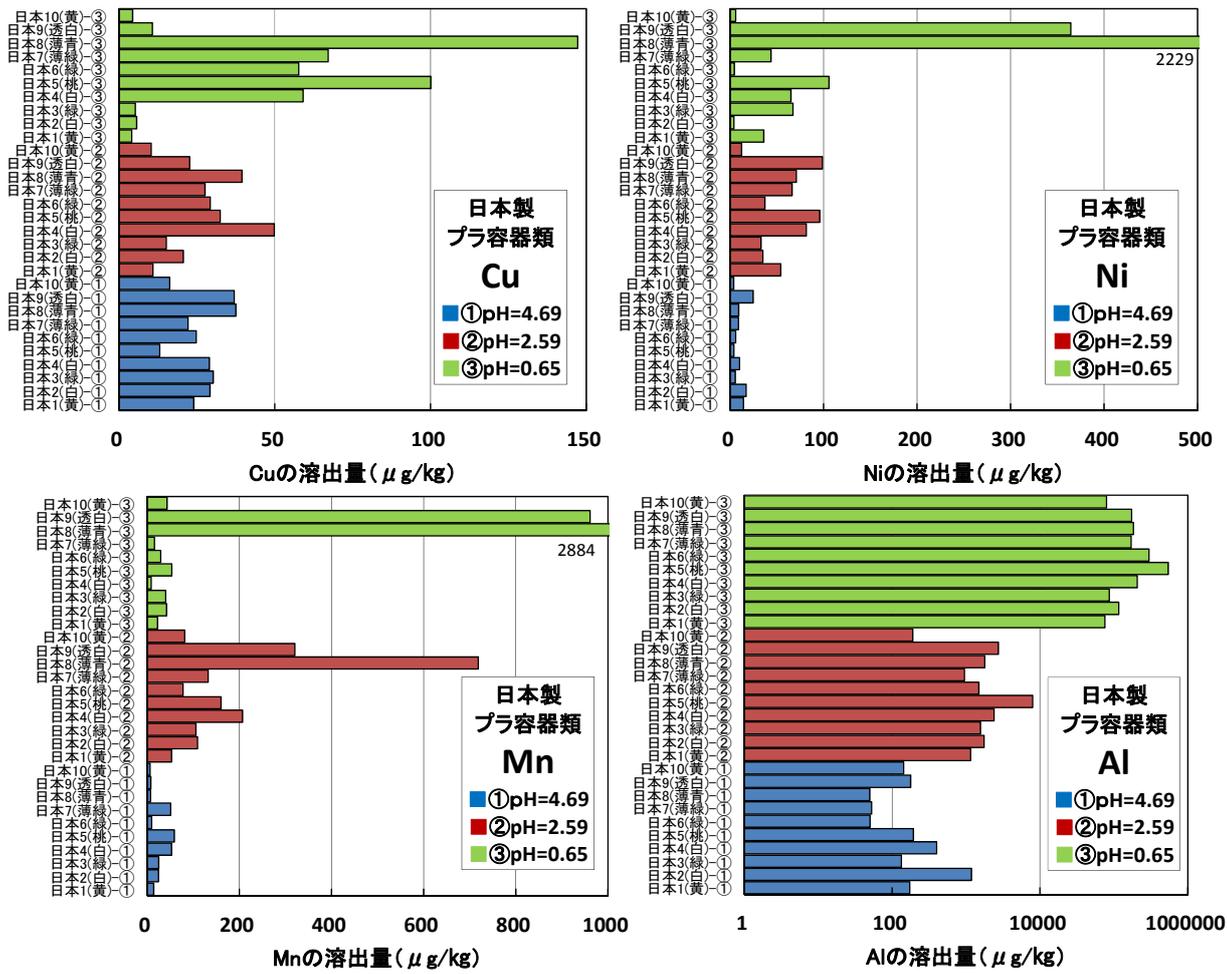
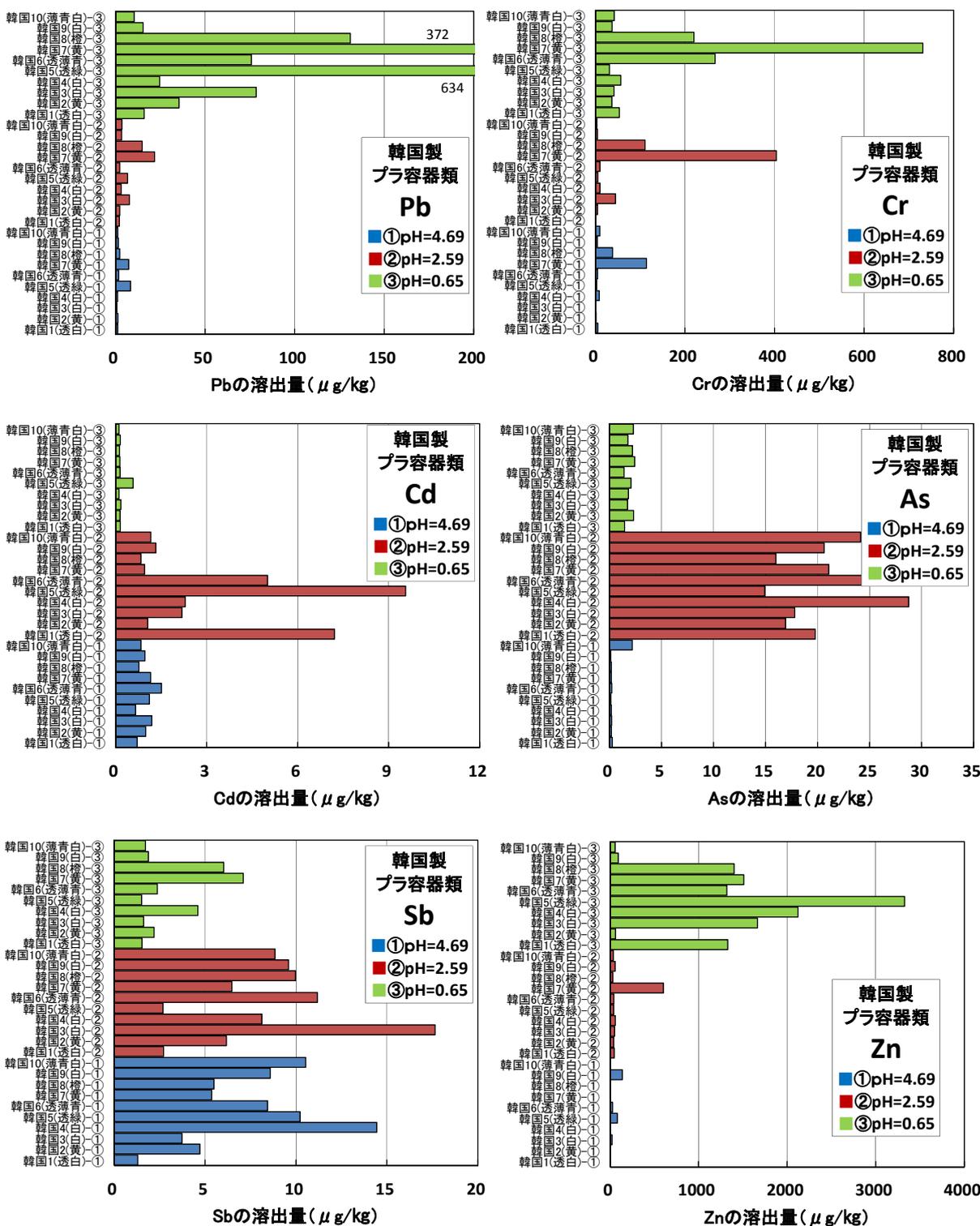


図 4.16(b) 韓国製プラスチック容器類からの溶出量に及ぼす pH 効果



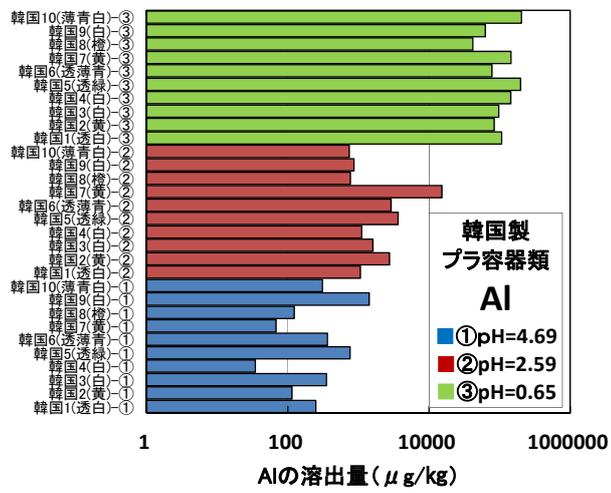
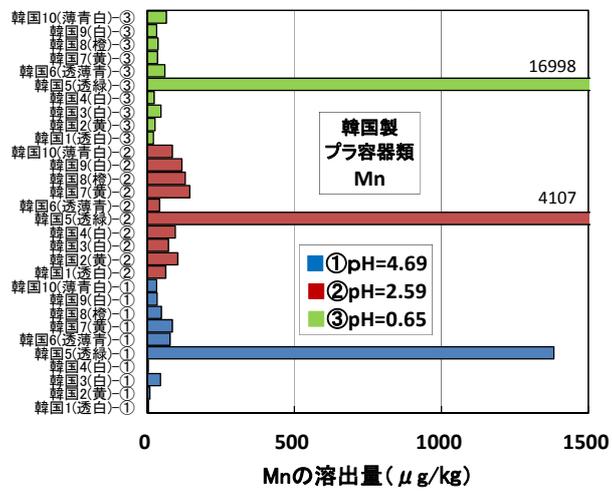
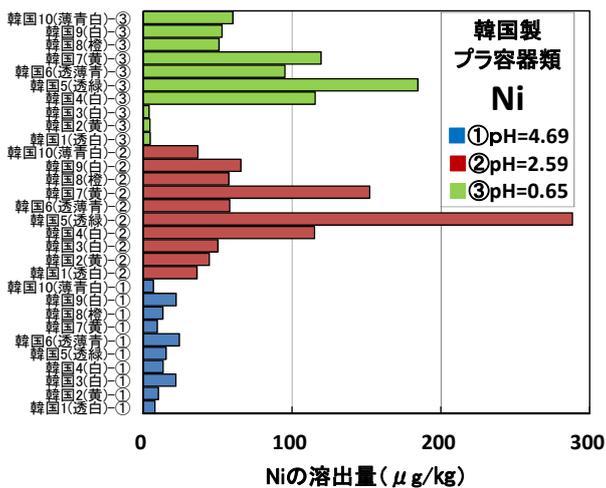
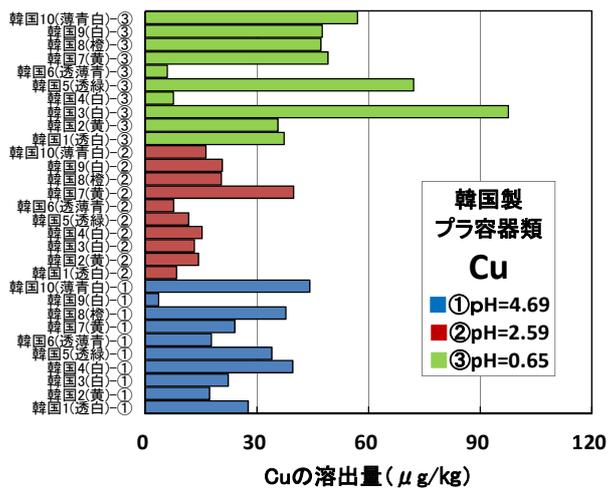
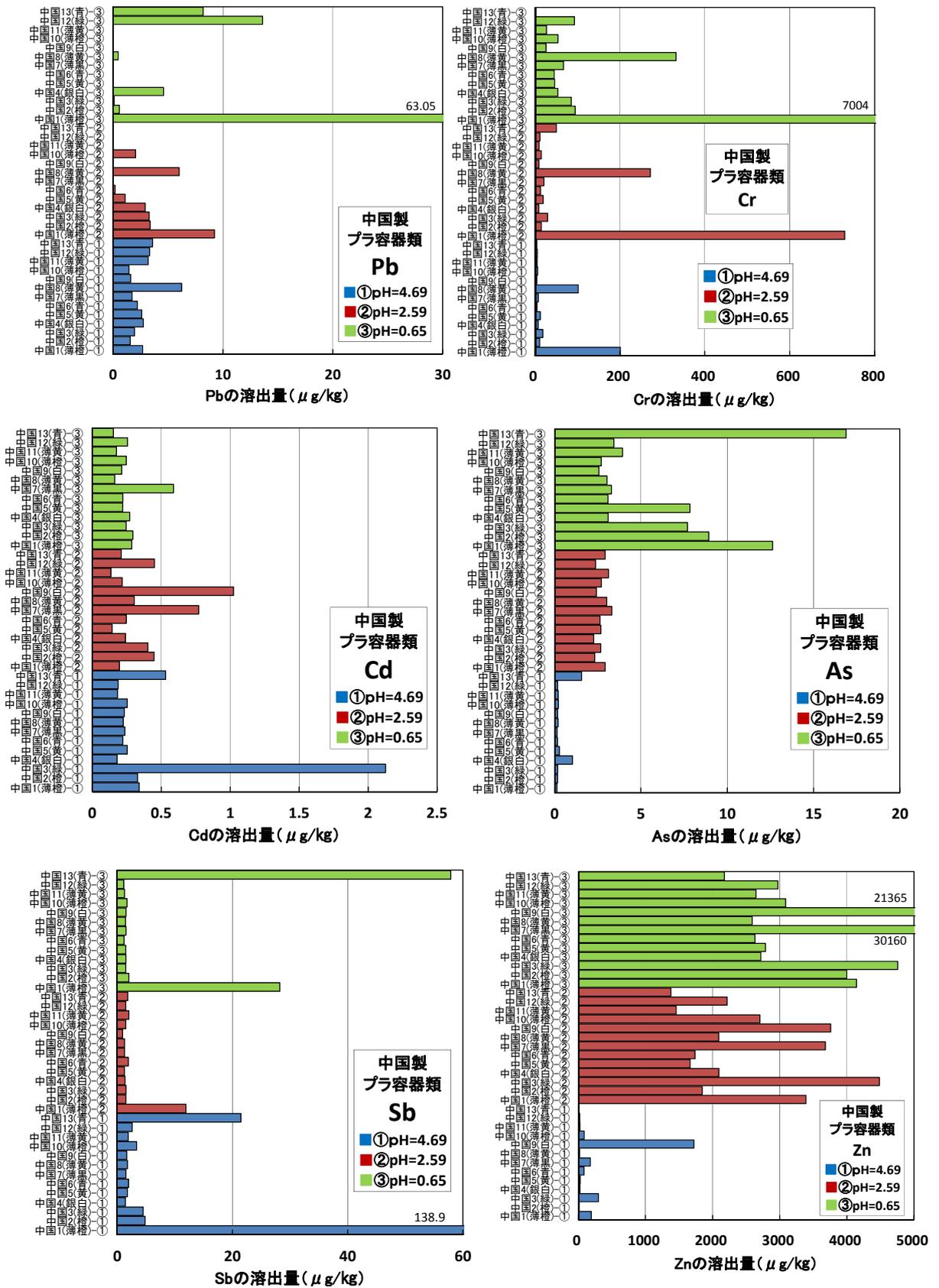


図 4.16(c) 中国製プラスチック容器類からの溶出量に及ぼす pH 効果



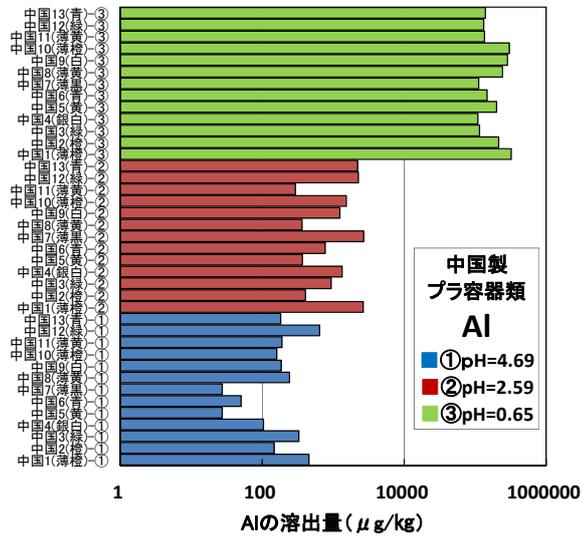
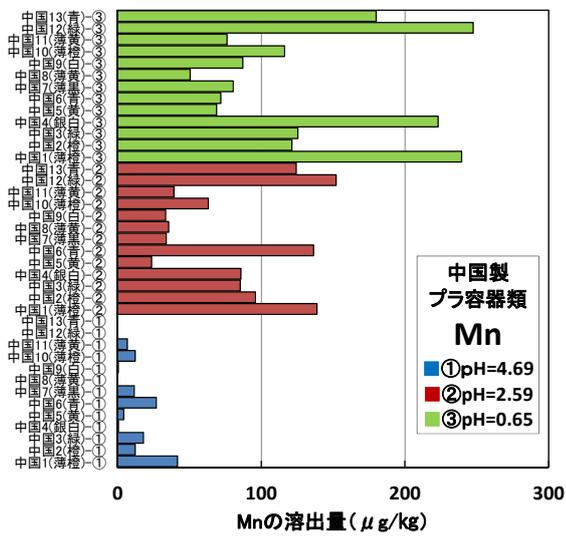
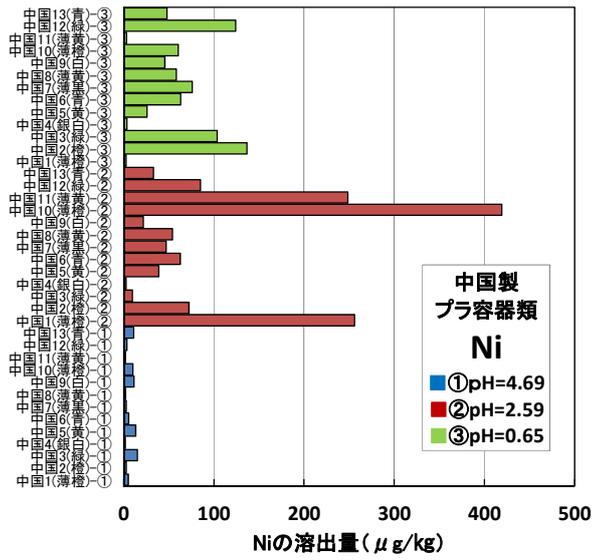
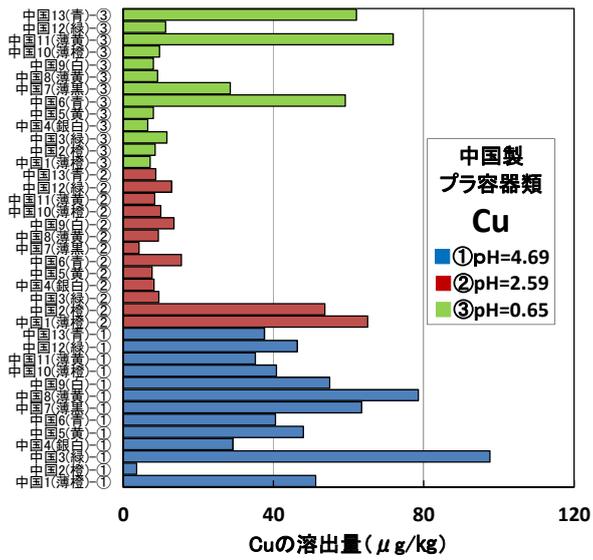
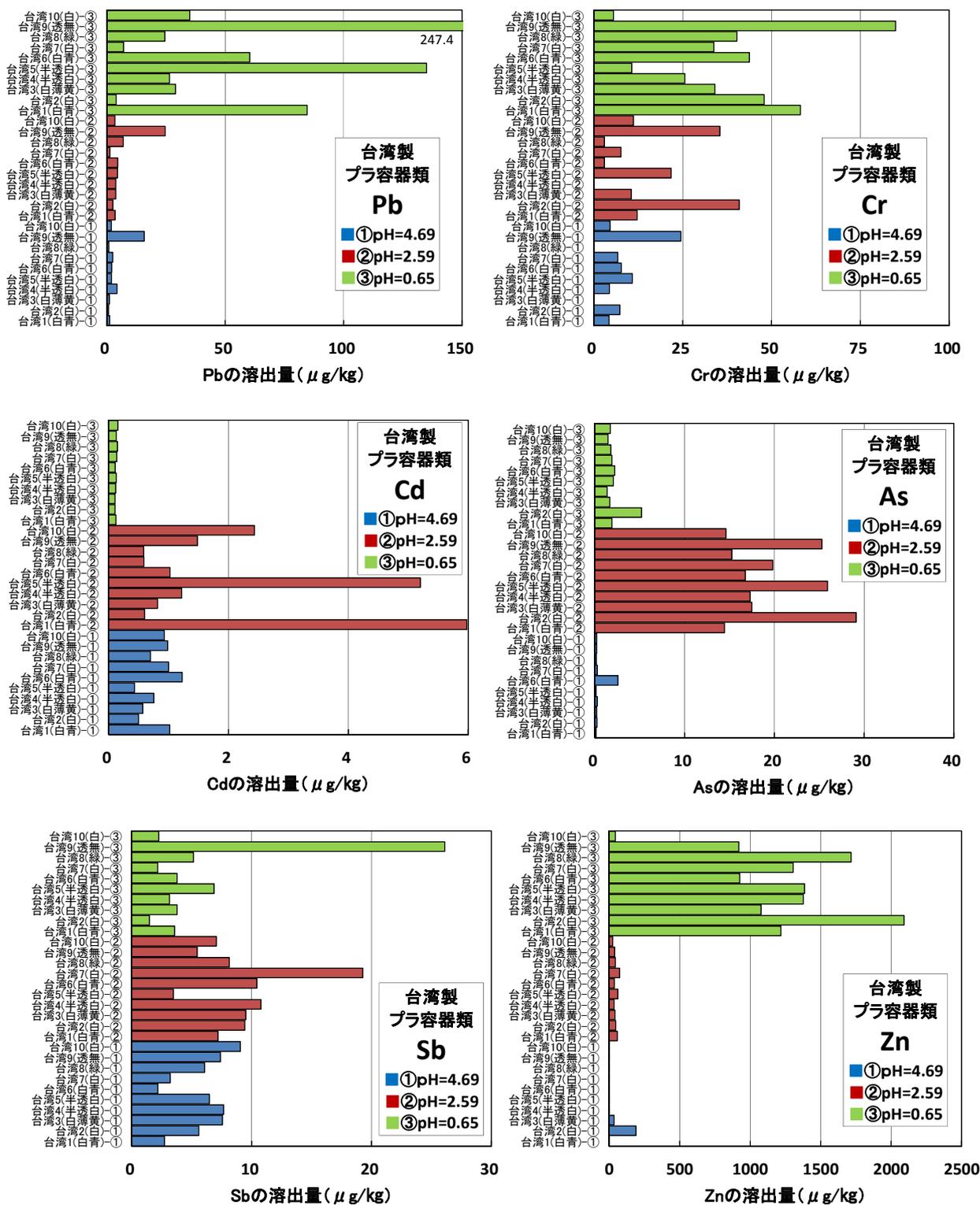
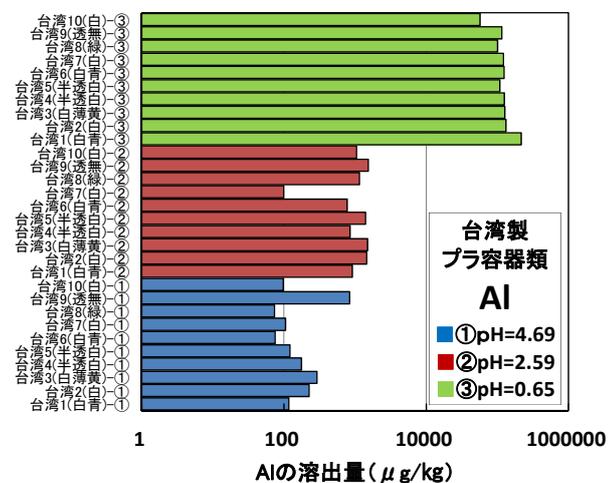
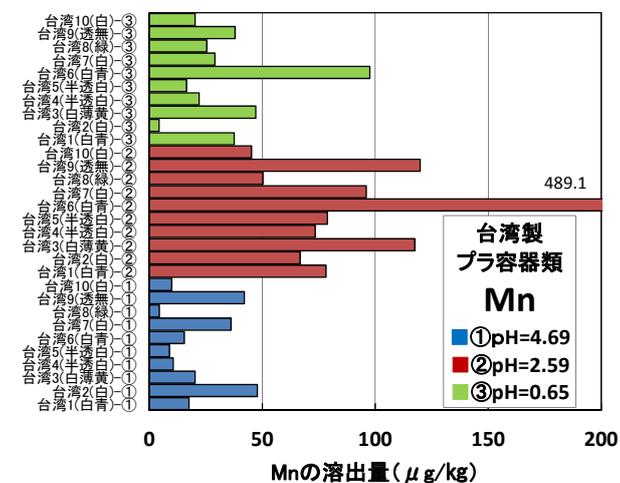
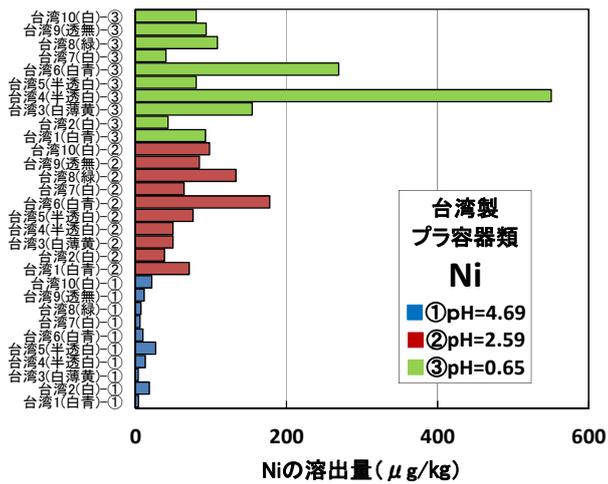
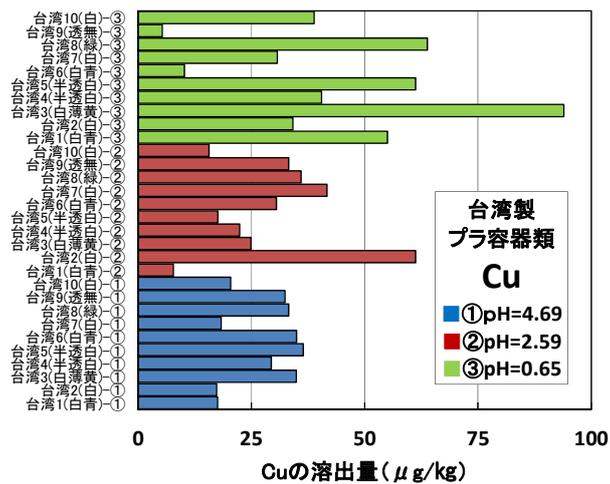
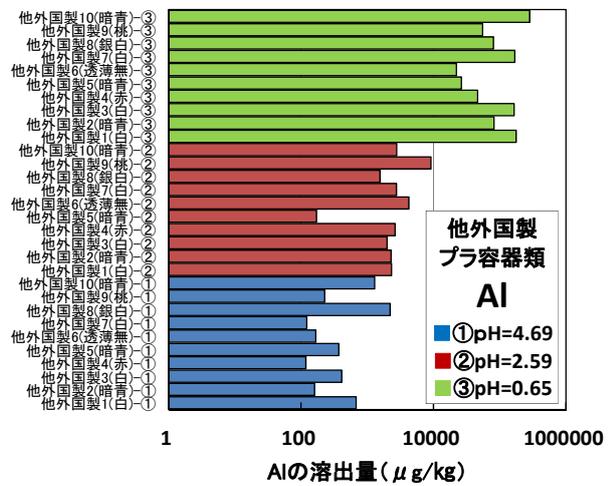
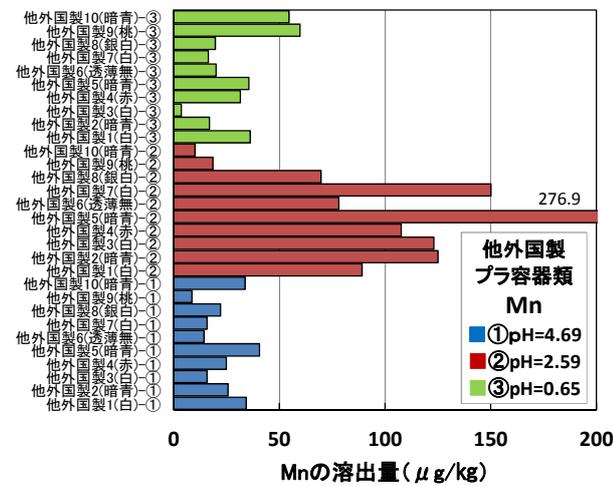
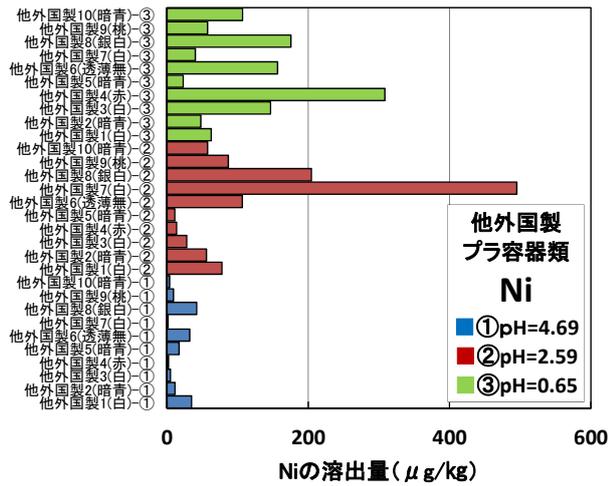
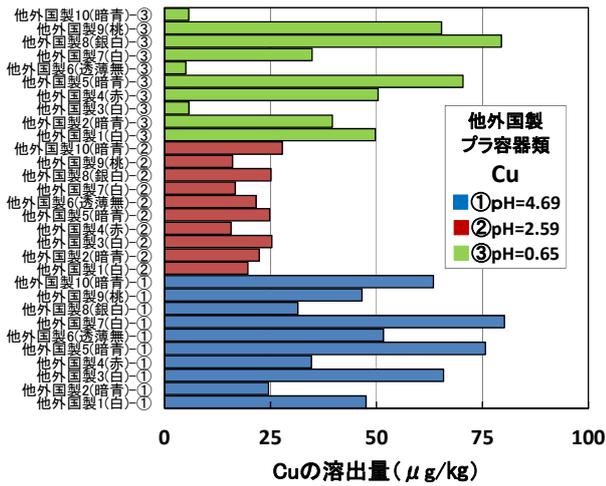


図 4.16(d) 台湾製プラスチック容器類からの溶出量に及ぼす pH 効果



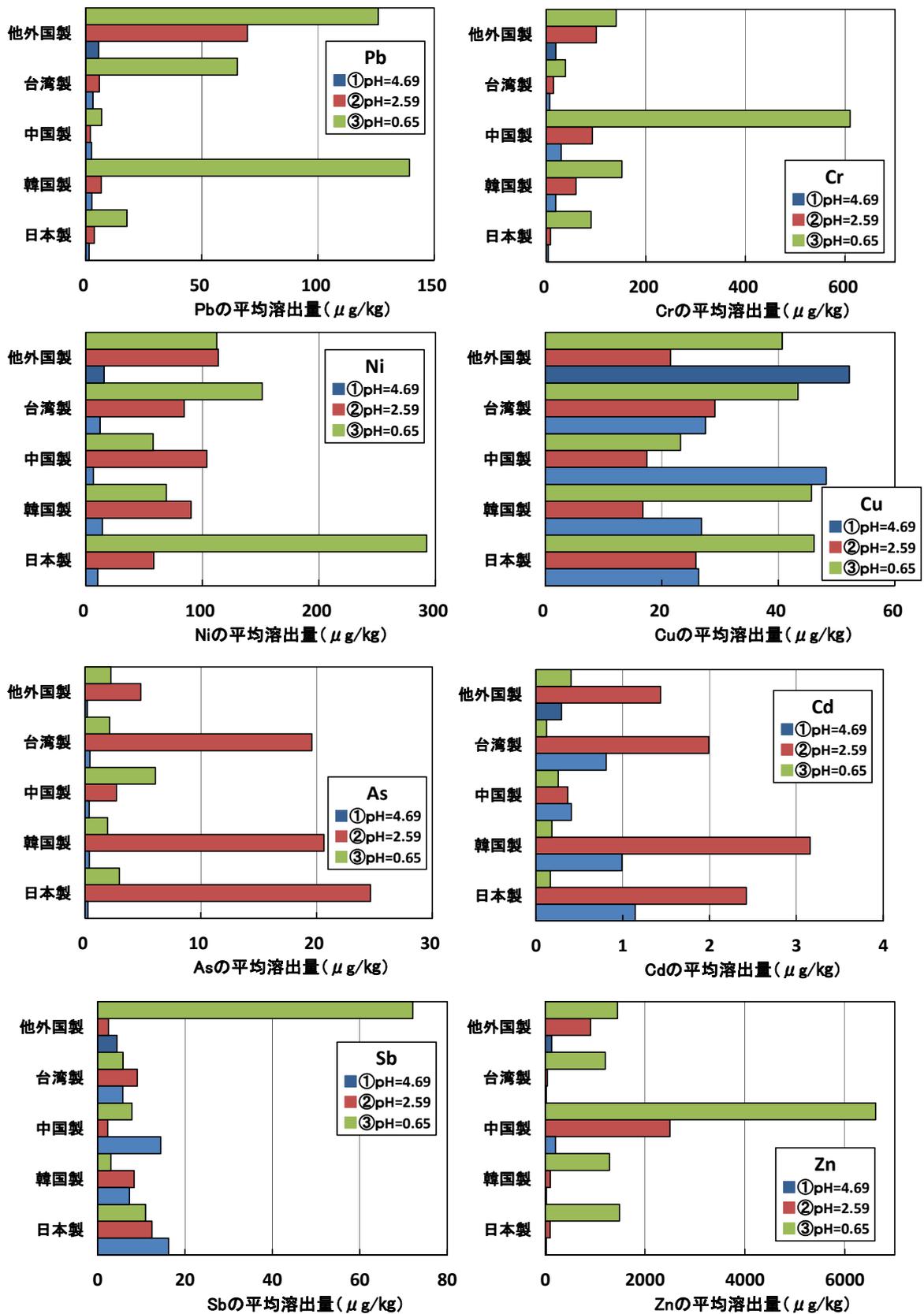




そこで、各元素成分の溶出性に及ぼす pH 効果について、国籍を考慮して大略的に把握するために、各国籍でそれぞれ平均値を求め、10 元素の溶出量を溶媒液の pH 別に比較したのが図 4.17 である。各元素成分での溶出量は溶媒液の pH によって、明らかに異なっていることがわかる。最も酸性度の高い pH=0.65 の場合には、10 元素の内 4 元素 (Pb, Cr, Al, Zn) が、いずれの国籍のものにおいても最も高い溶出量を呈した。Sb の場合には、酸性度が高いほど低下する傾向を示すが、他外国製容器類の場合のみ、高い溶出量を示した。一般に、溶媒液の pH が低値ほど酸性度は高いことから、プラスチック容器類からの有害元素の溶出量は増すと予想される。しかし、As の場合には pH=2.59 で、Cd では pH=2.59 で最大値となっている。Cu の場合には pH=4.69 で中国製と他外国製プラスチック容器類、また日本、韓国、台湾製プラスチック容器類では pH=0.65 で最大の溶出量となっている。Mn の場合には、日本、韓国、中国製プラスチックが pH=0.65 で最大の溶出量を示しているが、台湾製と他外国製プラスチックでは pH=2.59 の場合となっている。

図 4.17 での各元素成分での溶出量の結果を、図 4.18 に示すように、国籍をパラメータとして溶媒液の pH との関係で表示すると、酸性度の影響がより理解しやすい。上述したように、特に Cd, As, Sb, Cu の場合には、国籍による材質・素材による要因が大きいものと推察されるが、pH による一義的な傾向を読み取ることは難しい。また溶媒液の酸性度の増加(pH の低下)により高い溶出性を呈する元素成分でも、国籍間によってその増加割合もかなり異なっている場合が多い。

図 4.17 国籍別プラスチック容器類での各 pH での溶出量の平均値の比較



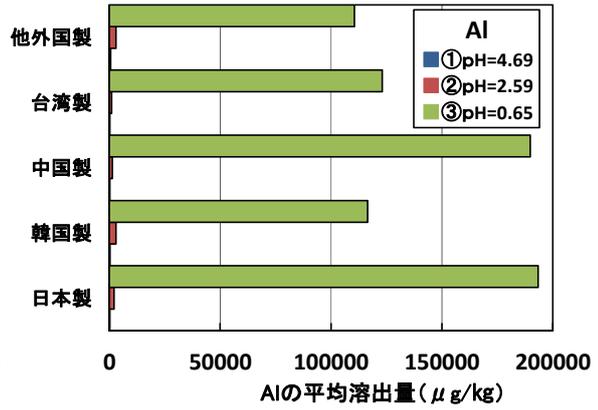
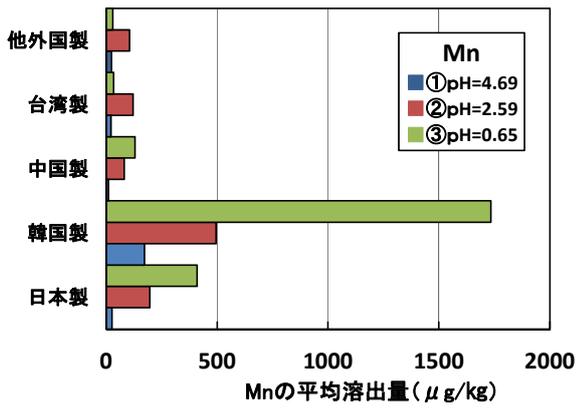
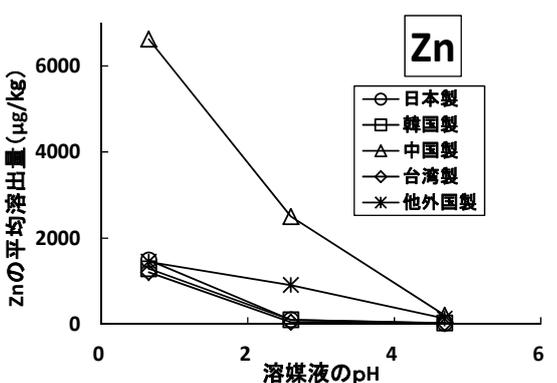
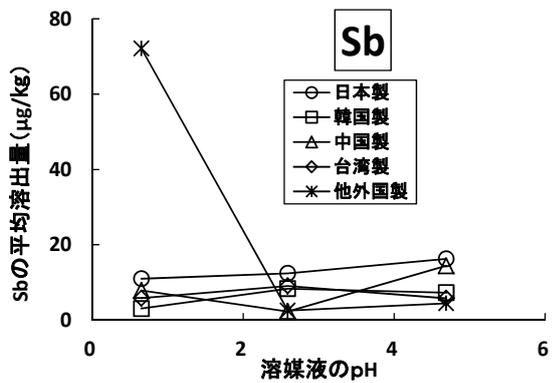
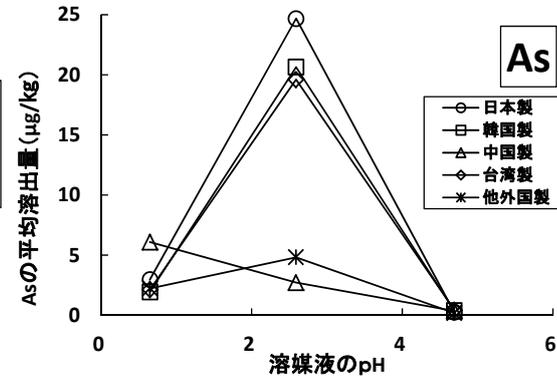
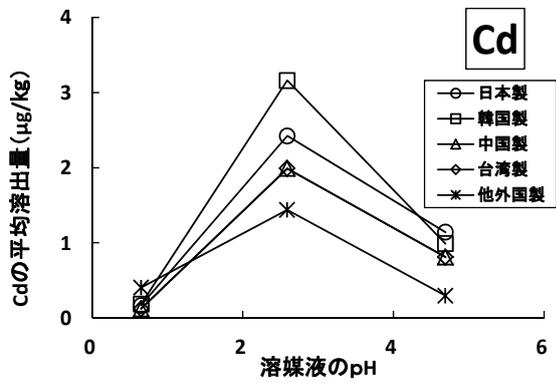
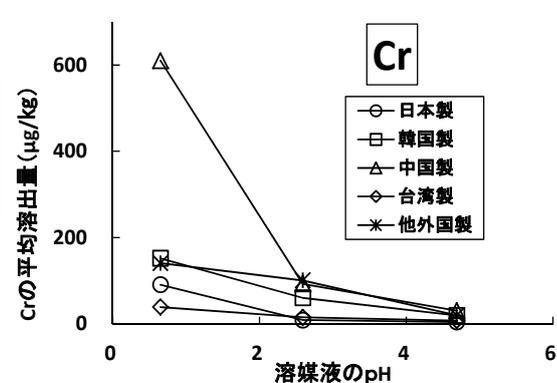
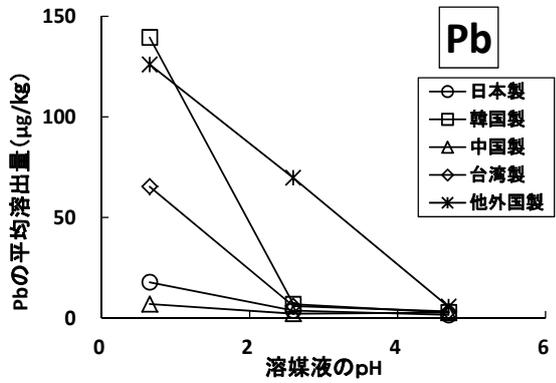
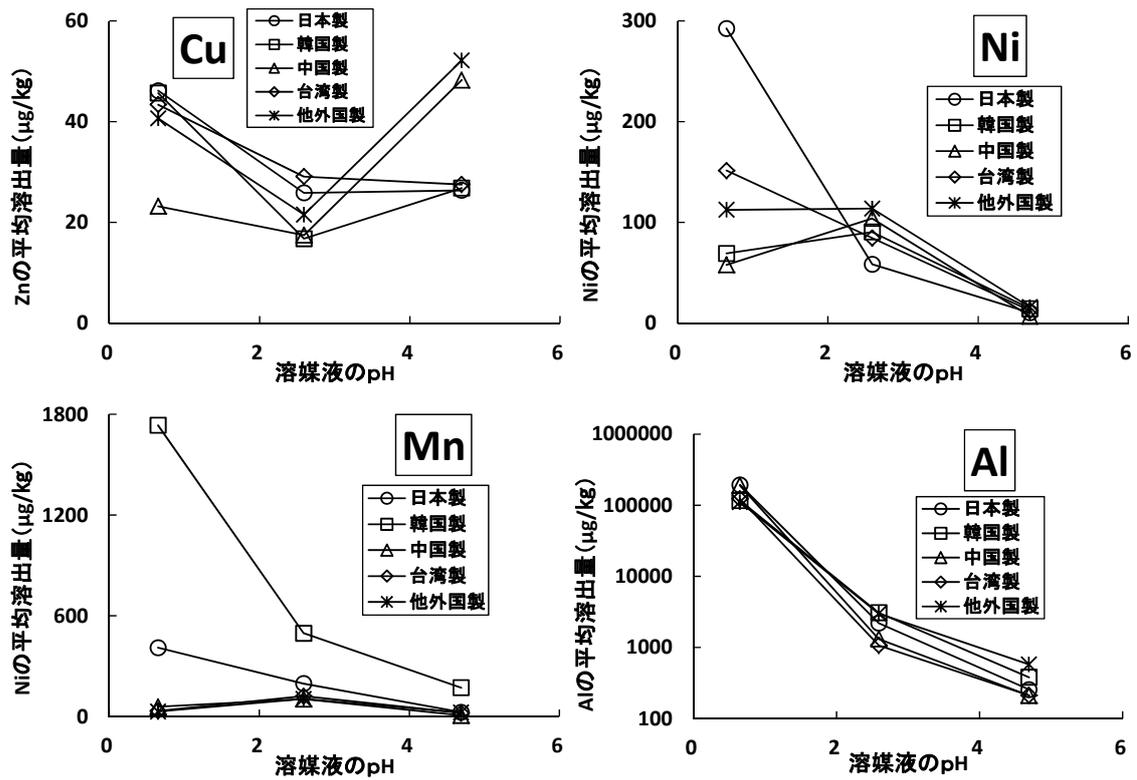


図 4.18 各国籍のプラスチック容器類における各有害元素成分の溶出性に及ぼす pH 効果





即ち、詳細に各元素の溶出量をみると、国籍別や溶媒液の酸性度(pH)によってかなり異なった傾向を示しているといえる。だが、上述したように、概ね溶媒液の酸性度が高く(pHが低く)なるに従って、溶出量が増加する元素成分の多い傾向にあることがわかる。但し、元素によっては、高い溶出性を示す潜在的なpHの値が存在する可能性も示唆される。浸潤期間中に溶出した元素と新たな錯体などの化学成分が生成され、溶出性が阻害されることも想定される。

図 4.19 には、国籍を問わず分析した全プラスチック容器類 (53 サンプル)での各元素成分の溶出量の平均値を溶媒液の pH ごとにまとめている。なお同図中には先節で説明した pH=5.84 でのプラスチック容器類(23

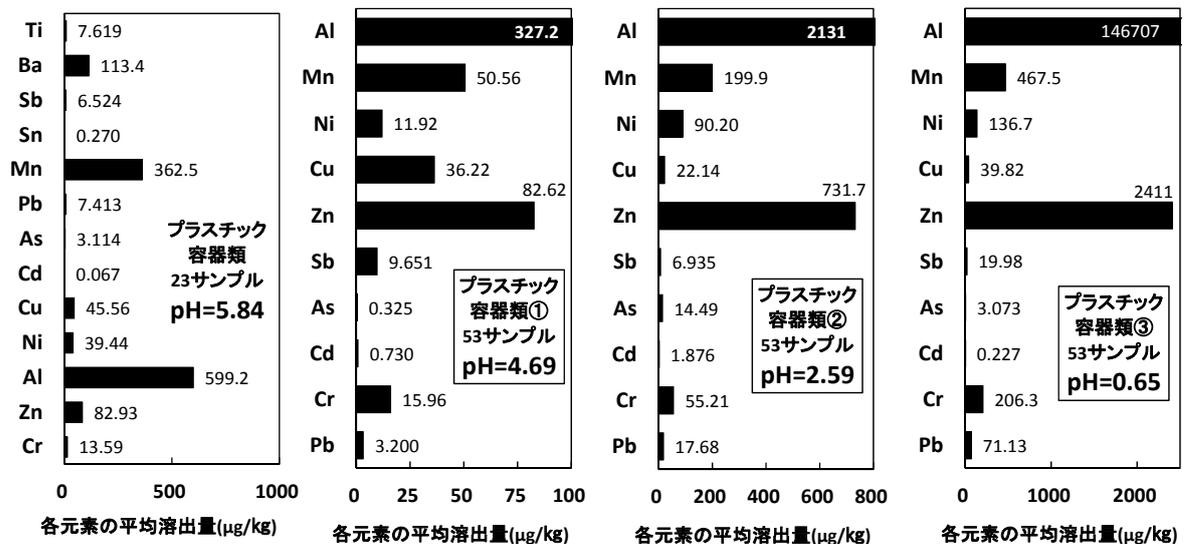


図 4.19 pH の異なる溶媒液でのプラスチック容器類からの有害元素成分の溶出量の全平均値

サンプルの平均値)の場合も併記している。この結果に基づき、さらに図 4.20 には各元素成分の平均溶出量を溶媒液の pH との関係で表示している。表 4.6 にまとめているように、以上の結果より、漂着プラスチック容器類からの溶出量を大略的に把握することができる。

なお自然界には pH=0.65 のような高い濃度の水質は、ほとんど存在しない。しかし pH=2.59 または pH=4.69 程度の酸性度は、海生生物の胃腸液や強い酸性雨などの pH とほぼ類似している。pH の異なる 3 種類の溶媒液で、プラスチック容器類からの溶出量を検討したが、漂着ゴミを対象とした場合には、どのような pH の溶媒液を採用すべきか、考慮すべき事項のひとつである。筆者は、漂着ゴミの海生生物の体内への摂取や漂着後に酸性雨に曝され劣化することを考慮して、pH=2.59 から pH=4.69 程度の溶媒液を基調とすべきと考えている。

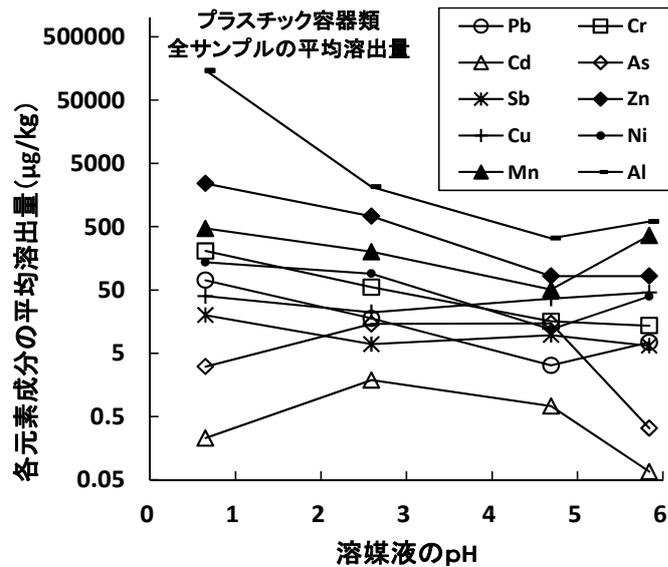


図 4.20 プラスチック容器類全サンプルでの各有害元素成分の平均溶出量と pH との関係

表 4.6 pH の異なる溶媒液でのプラスチック容器類からの溶出量の平均値の比較

分析元素成分 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	プラスチック容器類からの溶出量の平均値($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
	pH=5.84	①pH=4.69	②pH=2.59	③pH=0.65
Cr	13.59	15.96	55.21	206.3
Zn	82.93	82.62	731.7	2411
Al	599.2	327.2	2131	146707
Ni	39.44	11.92	90.2	136.7
Cu	45.56	36.22	22.14	39.82
Cd	0.067	0.730	1.876	0.227
As	3.114	0.325	14.49	3.073
Pb	7.413	3.200	17.68	71.13
Mn	362.5	50.56	199.9	467.5
Sn	0.270	-	-	-
Sb	6.524	9.651	6.935	19.98
Ba	113.4	-	-	-
Ti	7.619	-	-	-

4. 8. 2 典型的なプラスチック漁具類での溶媒液の pH 効果

プラスチック漁具類ゴミにも、当然、プラスチック容器類ゴミと同様に、製品の用途・機能向上のために混入された成形助剤や添加剤に有害化学物質が含まれている。近年特に、八重山・宮古諸島などの沖縄県の島々に膨大な数量が漂着している大型丸ブイや小型フロートなど、典型的なプラスチック漁具類ゴミを中心に 8 種類選定し、有害元素成分の溶出性に及ぼす溶媒液の pH 効果についてさらに検証・評価を試みた。

写真 4.9 には分析対象としたプラスチック漁具類ゴミの単体サンプルを示している。国籍別に区分し、大型丸ブイ類は、中国製を 3 サンプル(中国 10～中国 12)、韓国製を 1 サンプル(韓国 9)、台湾製を 1 サンプル(台湾 8)、日本製を 3 サンプルの計 8 サンプルを分析サンプルとした。小型浮子類はいずれも中国製の樽型浮子(フロート太)(中国 1)、棒型浮子(フロート細)(中国 7)、棒型浮子(フロート細)(中国 4)の 3 タイプを分析サンプルとした。丸型浮子類(丸フロート)は中国製(中国 6)と韓国製(韓国 2)をそれぞれ 1 サンプル、他に平型浮子(平フロート)(ハングル系 3)と韓国製のヌタウンギ漁具口部(韓国 5)を分析サンプルとした。

有害元素の溶出性の評価に重点を置いていることから、表面に吸着している汚れを入念に洗浄した後、裁断して細片化したものを分析サンプルとして用いた(写真 4.10)。単体サンプルのプラスチック容器類の場合と同様に、固液比を 1 対 3 として浸潤期間は 30 日に固定した。溶媒液の HCl 濃度を、①pH=4.69 (0.0001%HCl)、②pH=2.59 (0.01%HCl)、③pH=0.65 (1%HCl) の 3 種類の場合につて、溶出検液を作製した。原子吸光分光分析によって有害元素の定量評価を行った。

表 4.7 には、上記したプラスチック漁具類の 15 種類の単体サンプルに関して、国籍・色調・溶媒液 pH を明示したサンプル状況一覧を提示している。それぞれ 1 つの単体サンプルから 3 個の分析サンプルを作製し、pH の異なる 3 種類の溶媒液を用い分析している。そこで、ここでのプラスチック漁具類に関する分析サンプル数は総計で 45 サンプルである。

典型的な 15 種類のプラスチック漁具類に関して、分析対象とした 10 元素の有害元素成分の溶出量の状況を、溶媒液の pH ごとに整理し、比較検証したのが図 4.21 である。図より明らかなように、前節でのプラスチック容器類の場合と同様に、大半の元素成分では溶媒液の酸性度が高く(pH が低値)なると、概ね各元素成分の溶出量は増大する傾向にあることがわかる。pH=0.65 の高い酸性度の場合には、いずれのタイプの漁具類においても、特に Pb, Cr, Zn, Mn, Al の有害元素成分は 極めて高い溶出性を呈することがわかる。しかし As, Cd, Sb, Cu, Ni の各元素成分の場合には、分析サンプル間での差異が大きく、溶出量に pH の影響がほとんど認められないタイプの分析サンプルも検証される。なお有害元素成分の溶出量と酸性度(pH)の関係をより理解しやすくするために、図 4.21 の結果に基づき再度整理し直したのが図 4.22(a)と図 4.22(b)である。図 4.22(a)には国籍等が異なる 8 タイプの大型丸ブイ類、図 4.22(b)にはそれ以外の 7 タイプの小型フロート類等にそれぞれ区別して提示している。さらに図 4.23(a)と図 23(b)には、それぞれ大型丸ブイ類とそれ以外のフロート類につて、タイプごとに各元素成分での溶出量に及ぼす pH 効果をまとめている。

これらの図から、上述したように各元素成分における溶出量に与える pH 効果や溶出量のタイプ間での差異などが容易に理解できる。この溶出性におけるタイプ間のばらつきの主な要因は、国籍による素材・添加剤や製造方法の相違、漁具類の劣化状況に因っているものと推察される。

写真 4.9 溶出分析に用いた大型丸ブイ類と小型フロート類等の典型的なプラスチック漁具類
ゴミ



フロート類等



大型丸ブイ類等



中国 1 フロート太(青)



韓国 2 丸フロート(薄緑)



ハンゲル系 3 平フロート(茶紫)



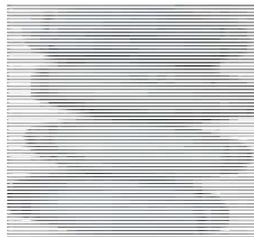
中国 4 フロート細(橙)



韓国 5 ネットウナギ具口部



中国 6 丸フロート(薄肌)



中国 7 フロート細(青)



台湾 8 大型丸ブイ(薄黄)



韓国 9 大型丸ブイ(深緑)



中国 10 大型丸ブイ(黄)



中国 11 大型丸ブイ(濃橙)



中国 12 大型丸ブイ(黒)



日本 13 大型丸ブイ(黒)



日本 14 大型丸ブイ(薄黄)



日本 15 大型丸ブイ(橙)

写真 4.10 破片化した分析漁具類サンプル(大型丸ブイル・小型フロート類等)の代表例



中国 1 フロート太(青)



韓国 2 丸フロート(緑)



ハングル系 3 平フロート(茶)



中国 4 フロート(橙)



韓国 5 スクワキ丸口部



中国 6 丸フロート(白)



中国 7 フロート(藍)



台湾 8 大型丸ブイル(白)



韓国 9 大型丸ブイル(緑)



中国 10 大型丸ブイル(黄)



中国 11 大型丸ブイル(橙)

表 4.7 典型的なプラスチック漁具類ゴミの分析サンプルと溶媒液の pH 一覧

代表的なプラスチック製漁具類ゴミの分析サンプルと溶媒液のpH一覧								
プラスチック漁具類	国籍	サンプル番号		国籍 (色調)	国籍	タイプ	色調	溶媒液pH
樽型浮子(フロート太)	中国製	中国1(青)-①	1-①	中国・青	中国	フロート太	青	4.69
		中国1(青)-②	1-②	中国・青	中国	フロート太	青	2.59
		中国1(青)-③	1-③	中国・青	中国	フロート太	青	0.65
棒型浮子(フロート細)	中国製	中国7(青)-①	7-①	中国・青	中国	フロート細	青	4.69
		中国7(青)-②	7-②	中国・青	中国	フロート細	青	2.59
		中国7(青)-③	7-③	中国・青	中国	フロート細	青	0.65
棒型浮子(フロート細)	中国製	中国4(橙)-①	4-①	中国・橙	中国	フロート細	橙	4.69
		中国4(橙)-②	4-②	中国・橙	中国	フロート細	橙	2.59
		中国4(橙)-③	4-③	中国・橙	中国	フロート細	橙	0.65
丸型浮子(丸フロート)	中国製	中国6(薄肌)-①	6-①	中国・薄肌	中国	丸フロート	薄肌	4.69
		中国6(薄肌)-②	6-②	中国・薄肌	中国	丸フロート	薄肌	2.59
		中国6(薄肌)-③	6-③	中国・薄肌	中国	丸フロート	薄肌	0.65
丸型浮子(丸フロート)	韓国製	韓国2(薄緑)-①	2-①	韓国・薄緑	韓国	丸フロート	薄緑	4.69
		韓国2(薄緑)-②	2-②	韓国・薄緑	韓国	丸フロート	薄緑	2.59
		韓国2(薄緑)-③	2-③	韓国・薄緑	韓国	丸フロート	薄緑	0.65
平型浮子(平フロート)	ハングル系	ハングル3(茶紫)-①	3-①	ハングル・茶紫	ハングル	平フロート	茶紫	4.69
		ハングル3(茶紫)-②	3-②	ハングル・茶紫	ハングル	平フロート	茶紫	2.59
		ハングル3(茶紫)-③	3-③	ハングル・茶紫	ハングル	平フロート	茶紫	0.65
ヌタウナギ具(口部)	韓国製	韓国5(黒)-①	5-①	韓国・黒	韓国	ヌタウナギ口	黒	4.69
		韓国5(黒)-②	5-②	韓国・黒	韓国	ヌタウナギ口	黒	2.59
		韓国5(黒)-③	5-③	韓国・黒	韓国	ヌタウナギ口	黒	0.65
大型丸ブイ	中国製	中国10(黄)-①	10-①	中国・黄	中国	大型丸ブイ	黄	4.69
		中国10(黄)-②	10-②	中国・黄	中国	大型丸ブイ	黄	2.59
		中国10(黄)-③	10-③	中国・黄	中国	大型丸ブイ	黄	0.65
大型丸ブイ	中国製	中国11(濃橙)-①	11-①	中国・濃橙	中国	大型丸ブイ	濃橙	4.69
		中国11(濃橙)-②	11-②	中国・濃橙	中国	大型丸ブイ	濃橙	2.59
		中国11(濃橙)-③	11-③	中国・濃橙	中国	大型丸ブイ	濃橙	0.65
大型丸ブイ	中国製	中国12(黒)-①	12-①	中国・黒	中国	大型丸ブイ	黒	4.69
		中国12(黒)-②	12-②	中国・黒	中国	大型丸ブイ	黒	2.59
		中国12(黒)-③	12-③	中国・黒	中国	大型丸ブイ	黒	0.65
大型丸ブイ	韓国製	韓国9(深緑)-①	9-①	韓国・深緑	韓国	大型丸ブイ	深緑	4.69
		韓国9(深緑)-②	9-②	韓国・深緑	韓国	大型丸ブイ	深緑	2.59
		韓国9(深緑)-③	9-③	韓国・深緑	韓国	大型丸ブイ	深緑	0.65
大型丸ブイ	台湾製	台湾8(薄黄)-①	8-①	台湾・薄黄	台湾	大型丸ブイ	薄黄	4.69
		台湾8(薄黄)-②	8-②	台湾・薄黄	台湾	大型丸ブイ	薄黄	2.59
		台湾8(薄黄)-③	8-③	台湾・薄黄	台湾	大型丸ブイ	薄黄	0.65
大型丸ブイ	日本製	日本13(黒)-①	13-①	日本・黒	日本	大型丸ブイ	黒	4.69
		日本13(黒)-②	13-②	日本・黒	日本	大型丸ブイ	黒	2.59
		日本13(黒)-③	13-③	日本・黒	日本	大型丸ブイ	黒	0.65
大型丸ブイ	日本製	日本14(薄黄)-①	14-①	日本・薄黄	日本	大型丸ブイ	薄黄	4.69
		日本14(薄黄)-②	14-②	日本・薄黄	日本	大型丸ブイ	薄黄	2.59
		日本14(薄黄)-③	14-③	日本・薄黄	日本	大型丸ブイ	薄黄	0.65
大型丸ブイ	日本製	日本15(橙)-①	15-①	日本・橙	日本	大型丸ブイ	橙	4.69
		日本16(橙)-②	15-②	日本・橙	日本	大型丸ブイ	橙	2.59
		日本17(橙)-③	15-③	日本・橙	日本	大型丸ブイ	橙	0.65

図 4.21 典型的なプラスチック漁具類ゴミの各有害元素成分の溶出性に及ぼす pH の影響

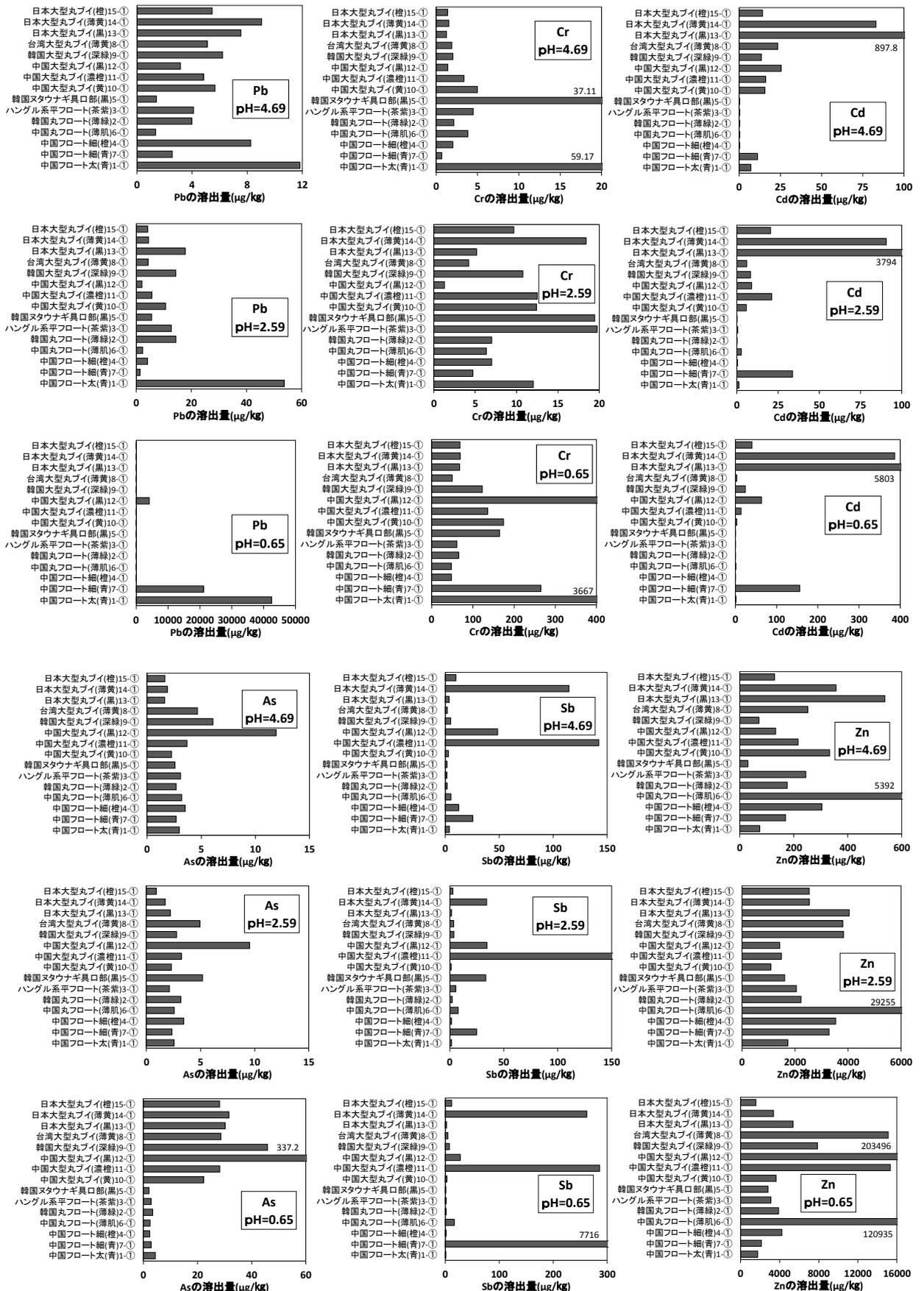


図 4.22(b) 小型フロート類等における各有害元素成分の溶出量と溶媒液 pH との関係

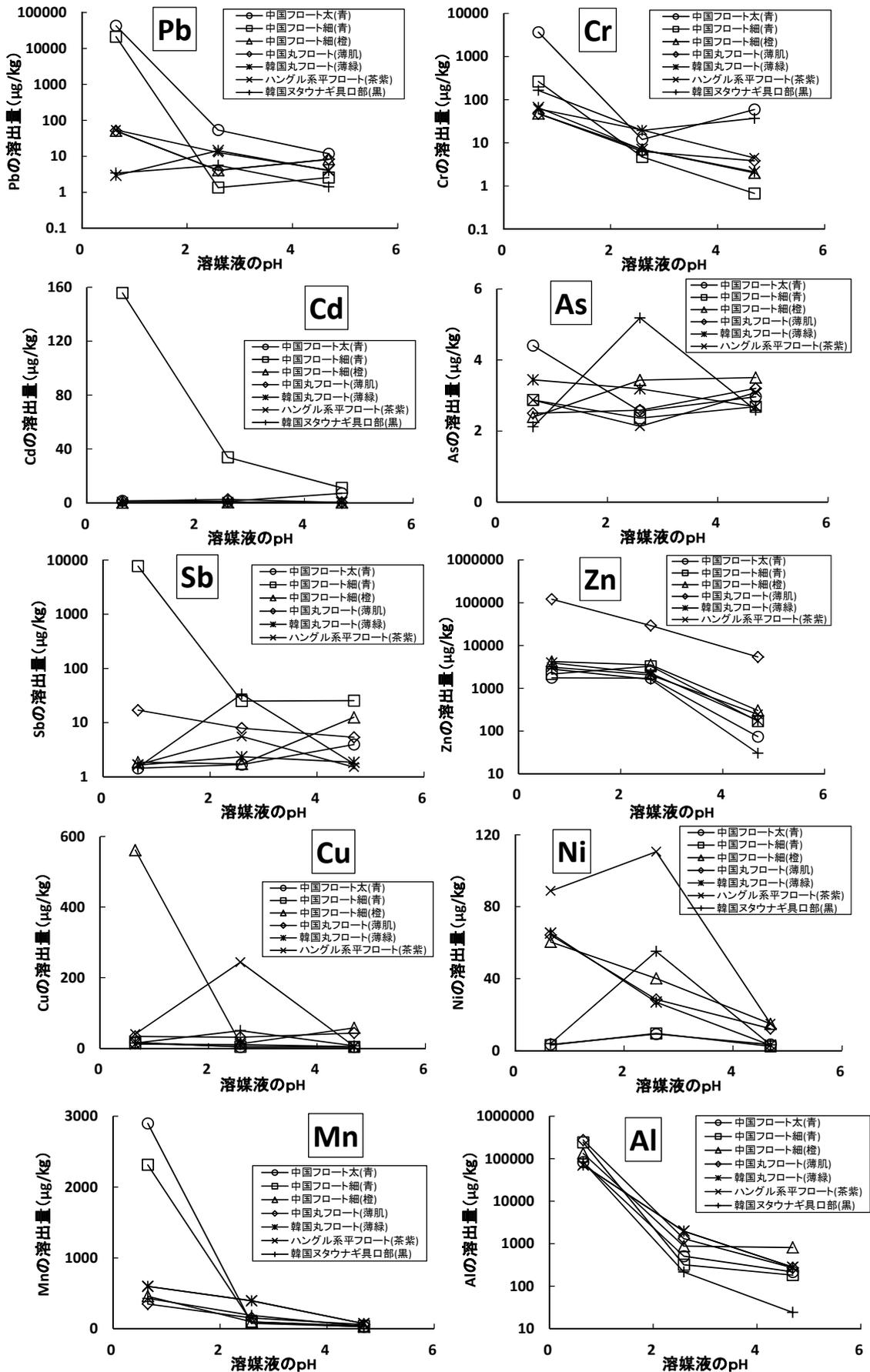


図 4.23(a) 大型丸バイ類における各有害元素成分の溶出量へ及ぼす pH 効果

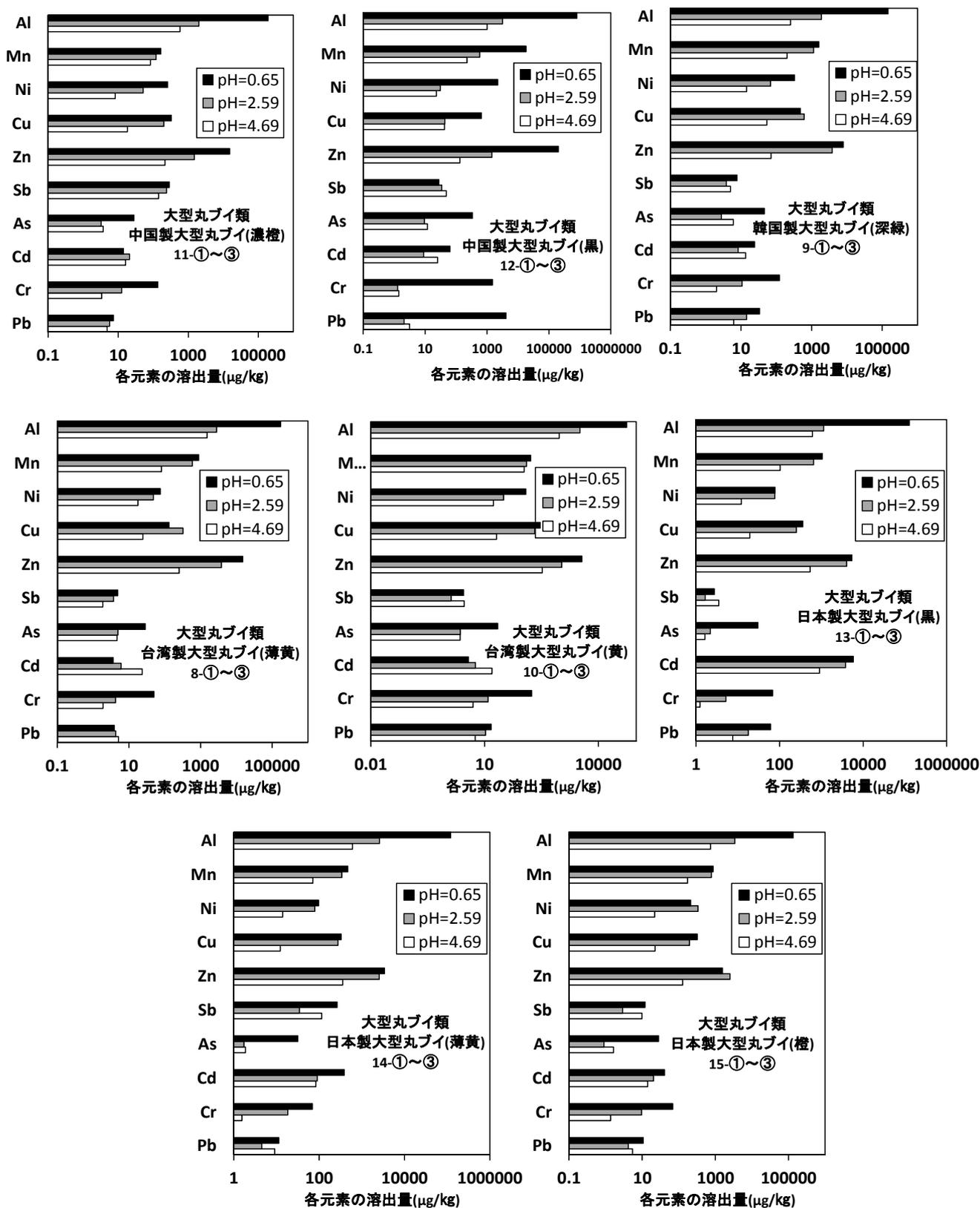
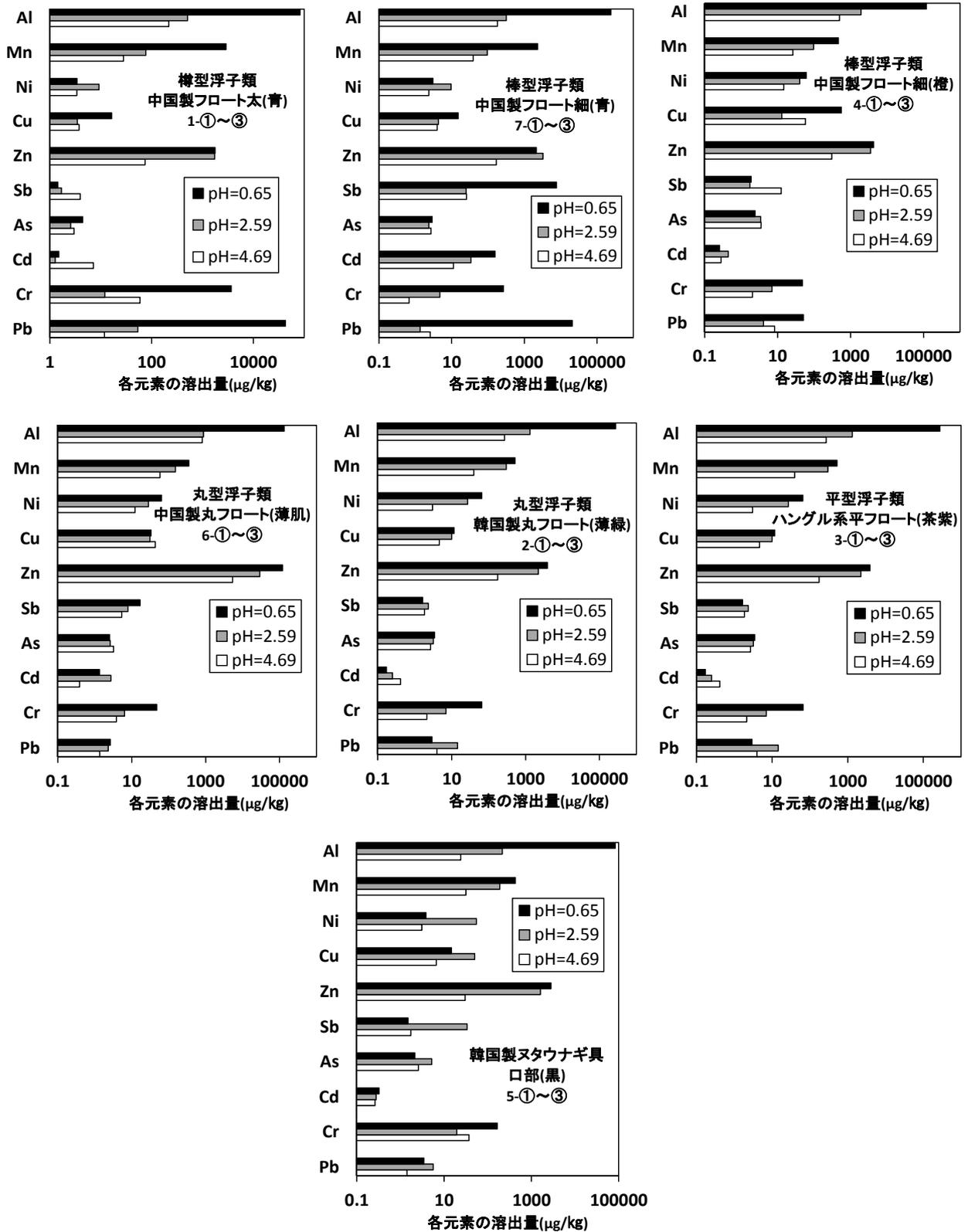


図 4.23(b) 小型フロート類等における各有害元素成分の溶出量へ及ぼす pH 効



4.9 まとめ

本章では、漂着ゴミの大半を占める漁具類と容器類等のプラスチック類ゴミを取り上げ、有害元素を主体とした主要化学成分の含有・溶出性について、環境汚染学的視点から論述した。各種の漂着ゴミ間の製法・規格・素材等を鑑み、国籍別に区分して科学的な考察を加えた。特に、プラスチック破片類の海洋生物への取り込みや、海岸域に残存・滞留する漂着ゴミの劣化への紫外線や酸性雨等の気象的影響を考慮して、漂着ゴミからの有害化学物質の溶出性に与える溶媒液の酸性度（pH）の影響について検討を試みた。得られた主要な知見を下記に要約する。

- (1) プラスチックは成分組成的には C と H を主元素とした高分子化合物であるが、国籍の異なる 100 サンプルを超える漂着プラスチック片の成分組成分析から、多種類の元素から構成されていることがわかった。顔料・塗料の着色剤・難燃剤・絶縁剤・可塑剤等の添加剤が混入していることで、Zn, Pb, Cr, Sb, Ti などの有害元素成分が少量・微量と多岐に検出される。
- (2) 我が国のものも含め、中国製、韓国製、台湾製等の近隣アジア諸国から漂着したプラスチック片についての溶出分析から、溶出量は各元素間によってかなり異なるが、Mn, Al, Zn, Pb, Cr, Sb など、水質・土壌・生態系に有害とされる十数元素成分の検出が確認された。これらの有害元素の溶出性は、溶媒液の酸性度が増加（pH は低下）すると、特に Pb, Cr, Zn, Ni, Mn, Al の元素では増加する傾向が認められた。しかし Cd, As, Sb, 殊に Cd では pH の効果が明瞭に確認できない場合もある。
- (3) 漂着プラスチック片の溶出性に関する国籍間の特徴的事項としては、溶媒液の pH の低い場合には、国籍に係らず Pb, Cr, Al, Zn では高い溶出量が検出され、概ね溶媒液の酸性度が高くなるに従って、溶出量は増加する傾向にあった。しかし As, Cd, Cu, Mn などでは、プラスチック類ゴミの種類・タイプによって、高い溶出量が検出される溶媒液の pH は異なる場合が確認された。

★ 本章の知見に関する重要ポイント

- ① 漁具類や容器類等の漂着プラスチック類ゴミには多種類の元素成分が含有されており、添加剤や成形助剤等に混入されている有害元素の溶出する危険性が高い。
- ② 漂着プラスチック類ゴミの国籍によって製法・規格・素材等に関する仕様が異なることから、有害元素の溶出性は国籍の影響を受ける。
- ③ 有害元素の溶出性は、概ね、溶媒液の酸性度(pH)に影響を受けることから、漂着ゴミの回収除去が停滞すると有害元素の自然界への曝露による汚染リスクは高まる。またプラスチックの小片が海生生物の体内に取り込まれた場合には、有害元素の溶解により生体へのダメージが増大する危険性がある。