

10. 沖縄の漂着ゴミ汚染と有害化学物質 ～廃油ボールと球管類ゴミ～

山口 晴幸・Hareyuki YAMAGUCHI

防衛大学校建設環境工学科（〒239-8686神奈川県横須賀市走水1-10-20）

E-mail: yamaguch@nda.ac.jp

国内外から海流等によって運搬され打ち上がる大量の漂着ゴミが我が国の海岸域では、深刻な環境破壊問題を引き起こしており、重大な社会的関心事となっている。漂着ゴミの主体は生活廃棄物と漁業廃棄物であり、大半は石油化学物質によって合成されたものである。これらの多種多様な漂着ゴミの破損・劣化や腐食・分解による有害化学物質の溶解・暴露による海浜汚染の誘発が懸念される。

ここでは、沖縄県八重山諸島を対象に、海洋不法投棄と判断せざるを得ない、近年度々、広域漂着する廃油ボールと、特徴的な漂着ゴミの代表例ともいえる、何故か大量に打ち上がる球管類ゴミ(電球・蛍光灯管類)の実態を例示し、漂着廃油ボールの含有元素成分や球管類ゴミからの重金属類等の溶出性について分析評価を加え、漂着ゴミから誘発される有害化学物質による海浜汚染の懸念性について考察している。

Key Words : drifting oil ball, drifting trash pollution, Okinawa Yaeyama beach, electric bulb, fluoresce lamp, harmful chemical material, heavy metal

1. はじめに

近年度々、琉球列島の多くの島々に大量の廃油ボールが襲来漂着し、そのつど深刻な海浜汚染が懸念され、社会的に大きな問題となってきた。漂着廃油ボールは非常に粘性の高いタール状のC重油で、炭化水素を主成分としたこの油には炭素(C)、酸素(O)、水素(H)の他に、微量ではあるが硫黄(S)、銅(Cu)、ニッケル(Ni)などの有害な化学物質が含まれていることが多い。太陽紫外線やバクテリアなどによって、最終的には水(H₂O)と二酸化炭素(CO₂)に自然分解して、無害化するまでには相当の時間を要する。そのため廃油ボールは極めて厄介な海洋・海浜汚染物質となっている。殊に、亜熱帯海洋性気候に属する琉球列島の島々では、延々と带状に打ち上がった廃油ボールは島岸線を黒色に染め上げる黒帯化汚染を引き起こし(写真1)、しかも気温の上昇とともに容易に融解(約30℃以上)して液状と化し、サンゴの白砂浜にしみ込む深刻な海浜汚染を誘発する。

本報告では、まず漂着廃油ボールを取り上げる。ここ数年の漂着ゴミに関する沖縄県八重山諸島での調査で遭遇した、漂着間もない廃油ボールを採取し、その含有元素成分組成と有害化学物質の定量的な評価を試み、広域な島岸線に亘って大量漂着する廃油ボールの甚大な環境汚染の危険性について指摘する。

さらに、危険な漂着ゴミと有害化学物質との関連性を究明する一環として、八重山諸島での特徴的な漂着ゴミでもある漂着球管類ゴミ(電球・蛍光灯管)を取り上げ、破損・劣化により暴露される有害化学物質を把握する目的から、重金属類等の溶出性について考察を加える。

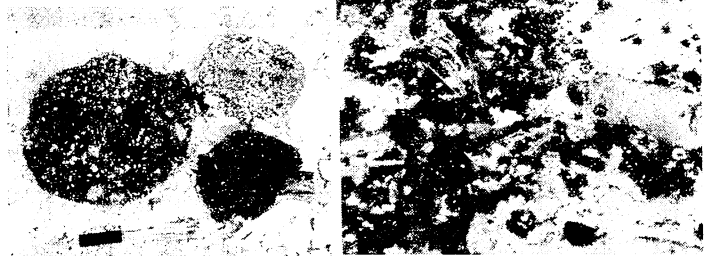


写真1 廃油ボールの黒帯化汚染

2. 廃油ボールの漂着経緯と調査

1998年から本格的に開始した琉球列島での漂着ゴミ調査で、2003年春季(3月下旬～4月上旬)調査

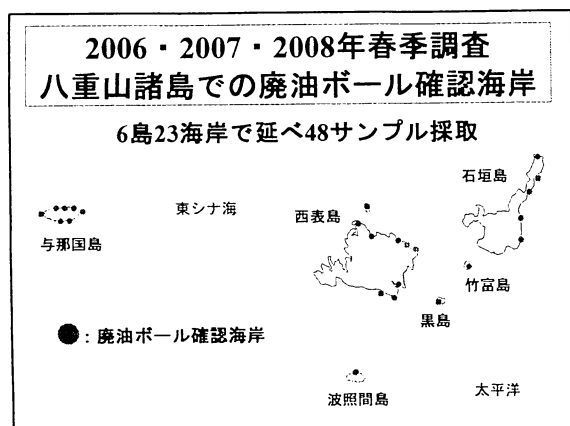


図1 八重山諸島での漂着廃油ボールの採取海岸

表1 各島での廃油ボールの採取状況

島名	2006年春季調査	2007年春季調査	2008年春季調査
竹富島	2海岸/2サンプル	1海岸/1サンプル	—
黒島	—	1海岸/2サンプル	—
石垣島	1海岸/2サンプル	5海岸/5サンプル	—
鳩間島	1海岸/1サンプル	—	—
西表島	4海岸/5サンプル	7海岸/9サンプル	—
波照間島	1海岸/1サンプル	1海岸/1サンプル	—
与那国島	3海岸/4サンプル	7海岸/9サンプル	6海岸/6サンプル

で、初めて廃油ボールが大量に打ち上がって間もない多くの海岸に遭遇し、廃油ボールによってサンゴ白浜の深刻な海浜汚染が誘発される懸念を抱いた。当時、特に、久米島北部に位置する景勝地ミーガー（巨大海蝕洞門）から大和泊海岸一帯及び島南東部の島尻の海岸で、直径数 cm から十数 cm に及ぶ大型の廃油ボールが砂浜や岩場に多数漂着していた。何度か漂着を繰り返したのか、廃油ボールを除去清掃した痕跡の海岸も多数あった。沖縄本島や宮古島などの多くの島々では、2003 年には1月末～2月初旬に掛けて、大量漂着した廃油ボールの除去清掃が実施された。沖縄本島の西海岸一帯の読谷村長浜と恩納村久良波の海岸では、直径 1cm からソフトボール程の大きさの廃油ボールが打ち上がり、両海岸で約 250 kg の廃油ボールを回収している。また宮古島では北岸部一帯の白川田海岸などでは回収した廃油ボールは約 5 kg に達したとの報告もある。

筆者は、2003 年春季調査に次いで、8 島 28 海岸を廻った同年の沖縄夏季調査(8 月)でも、与那国島、波照間島、西表島、黒島、石垣島の八重山諸島 5 島 24 海岸で漂着して間もない廃油ボールの長帯やその痕跡を確認している。

2006 年 3 月下旬～4 月上旬には、またも琉球列島の広範な島々に、大量の廃油ボールが襲来し、社会的にも大きな話題となった。その際、丁度、八重山諸島で春季調査の状況にあったことから、調査で廻った与那国島、波照間島、西表島、鳩間島、黒島、竹富島、石垣島の 7 島 22 海岸で、带状に漂着した大量の廃油ボールを確認している。漂着して間もない状況にあったことから、6 島(与那国島、波照間島、

西表島、鳩間島、竹富島、石垣島)の 12 海岸で 15 サンプルの廃油ボールを採取し持ち帰った。

さらに 2007 年 2 月と 2008 年 3 月には、またも八重山諸島に大量の廃油ボールが打ち上がった。再度、廃油ボールの漂着状況を調べるとともに、3 月下旬の八重山諸島での 2007 年春季調査では 6 島 22 海岸で 27 サンプル、2008 年春季調査では 1 島 6 海岸で 8 サンプルを採取した。

ここでは、2006、2007、2008 年の春季調査で、八重山諸島 6 島 23 海岸で採取した(図 1)、総計 48 サンプルの廃油ボール(表 1)を対象に、海浜汚染の観点から化学成分組成などの分析を試みた。

3. 球管類ゴミの調査と漂着実態

漂着ゴミの大半はペットボトルなどのプラスチック類ゴミを主体とした生活廃棄物とプラスチックブイや発泡スチロールブイなどの漁業廃棄物である。しかしこのような種々雑多な漂着ゴミの中には、金属類や金属部品などを主材料・装着しているものも多い。しかも重金属類などの有害化学物質の暴露が懸念される IC チップ回路板や絶縁コイルなどが組



写真2 何故か大量漂着する球管類ゴミ

み込まれた家電製ゴミ(テレビ、冷蔵庫など)、電池やライターの着火金属部分、食料・飲料缶類に加え顔料・塗料・メッキ溶剤用等の缶類ゴミからドラム缶やガスボンベに至る危険な漂着ゴミまでよく目に付く。

中でも八重山諸島での特徴的な漂着ゴミの一つに、大量に打ち上がる大小様々な球管類ゴミ(電球類と蛍光灯管類)が挙げられる(写真 2)。多くの海岸に何故これほどの数の球管類ゴミが漂着しているのか、毎回の調査で、特に春季調査では、その漂着状況には驚愕させられてきた。ガラス部分の球管に表記された文字等は消失しているものがほとんどで、稀に漢字やハングル文字が判別できるものもある。電球類は漁船で使用し廃棄されたと思われるものも多いが、蛍光灯管類は、大量のペットボトルなどが漂着するのと同様に、生活廃棄物として一緒に投棄されたものが、海岸に打ち上がったものと推察される。しかし現在のところ、毎年、八重山諸島の島々に打

ち上がる球管類ゴミの大量漂着する原因やその漂着経路については言及できない。漂着した球管類ゴミはやがて破損・劣化し、腐食・分解が進行すると金属部分などから直接有害な化学物質が溶解する危険性も懸念される。

このようなことから、八重山諸島での深刻な球管類ゴミの漂着実態を定量的に把握するために、2006年夏季調査と2007年春季調査では、その漂着実態を詳細に調査した。

2006年夏季調査では、与那国島で6海岸、西表島で8海岸、石垣島で5海岸の3島19海岸(総調査海岸距離は13.5km)を対象とした。大小様々な形態のものが含まれているが、3島19海岸で確認した球管類ゴミの総数は2956個で、そのうち電球類が2544個、蛍光灯管類が412個であった。球管類ゴミの総数2956個を総調査海岸距離13.5kmで除し、1km当りの調査海岸距離に換算すると219個となる。3島間で比較すると、与那国島(6海岸)で248個(電球類211個、蛍光灯管類37個)、西表島(8海岸)で2078個(電球類1783個、蛍光灯管類295個)、石垣島(5海岸)で630個(電球類550個、蛍光灯管類80個)となり、調査海岸距離1km当りの漂着数に換算すると、それぞれ184個、266個、145個となり、西表島での漂着度合が最も高かった。海岸清掃の有無や調査時期との関連もあるが、特に球管類ゴミの漂着度合の高い海岸は、与那国島のウブドゥマイ浜、西表島のユツン川河口海岸、石垣島の平野海岸などであった。これらの海岸はいずれも、八重山諸島の海岸の中でも、球管類ゴミのみならず、生活廃棄物や漁業廃棄物などの種々雑多な漂着ゴミが大量に押し寄せる典型的な海岸でもある。

さらに、2007年春季調査では、球管類ゴミの一層深刻な漂着実態を物語っていた。調査した島や海岸数は多少異なるが、与那国島(7海岸)、西表島(7海岸)、石垣島(5海岸)に加え、波照間島(1海岸)、黒島(1海岸)、竹富島(1海岸)の6島22海岸(総調査海岸距離は10.98km)で確認した球管類ゴミの総数は4565個(電球類3560個、蛍光灯管類1005個)であった。さらにユツン川河口、船浦湾西岸域、仲間崎の3箇所のマングローブ湿地内でも総計157個(電球類127個、蛍光灯管類30個)の球管類ゴミを確認した。6島22海岸の海岸域で確認された総数4565個を総調査海岸距離10.98kmで除し、1km当りの調査海岸距離に換算すると548個となり、2006年夏季調査での219個と比較すると、2007年春季調査ではその漂着度合は約2.5倍と激増していた。各島での球管類ゴミの確認数は与那国島で972個(電球類778個、蛍光灯管類194個)、西表島で2006個(電球類1550個、蛍光灯管類456個)、石垣島で1393個(電球類1080個、蛍光灯管類313個)であり、波照間島、黒島、竹富島でそれぞれ62個、108個、24個であった。与那国島(調査海岸距離1.46km)、西表島(4.82km)、石垣島(2.05km)での球管類ゴミの確認数を、1km当りの調査海岸距離に換算して比較すると、それぞれ666個、416個、680

個であった。この2007年春季調査の結果は、2006年夏季調査での約3.6倍、約1.7倍、約4.7倍と、3島いずれにおいても極めて高い漂着度合を示していた。中でもやはり与那国島のウブドゥマイ浜、西表島のユツン川河口海岸、石垣島の平野海岸での漂着度合が突出していた。

このような球管類ゴミは非常に危険で厄介な漂着ゴミの一つである。しかも破損劣化等によって有害化学物質を暴露する危険性を秘めていることから、球管類ゴミの大量漂着は、深刻な海浜汚染を誘発する危険性を孕んでいる。

4. 漂着廃油ボール・球管類ゴミの元素分析

(1) 廃油ボールの元素分析

八重山諸島の各島で各年に採取した総計48サンプルの漂着廃油ボールについて(表1参照)、主要な含有元素成分の分析を試みた。元素分析では、廃油ボールをフリーズドライ法で予め脱水・乾燥し、蛍光X線回折装置を使用して、ファンダメンタルパラメータ法(FP法)によって分析を実施した。FP法とは、元素番号6の炭素(C)より大きな元素の含有量を測定し、測定元素の総量を100%として、各元素の含有量を質量百分率(質量%)で評価する分析手法である。ちなみに本分析法では、元素番号1～5(H、He、Li、Be、B)の元素は測定不能である。

(2) 球管類ゴミの元素分析

人体や生態系に好ましくないとされる重金属類等を主体に分析した。2006年春季調査で八重山諸島の与那国島、西表島、黒島、石垣島で採取した大きさ・形態が様々の球管類ゴミを対象に、球管類ゴミから電極等の端部・芯部の金属部分を取り出し、電球類13サンプル(電球①～電球⑬)、蛍光灯管類3サンプル(蛍光灯管①～蛍光灯管③)を、それぞれ、500mlの脱イオン水中に浸潤した。数日経過すると、特に電球類では、赤褐色の沈殿物質が生成され、水溶液は赤濁し始めた。ほぼ250日間静置後、水溶液の一部を採水し遠心分離器に掛けた後、上澄液を0.45μmのマイクロフィルターで吸引濾過し、沈殿物質を分離して濾液を抽出した。この抽出濾液を用いて、球管類ゴミの金属部分から溶出した重金属類等(Pb、Cr、Cd、As、Sn、Zn、Cu、Al、Ni、Mn)の定量分析を、ファーンズ型原子吸光法で分析した。なお各サンプル容器には数個の球管類ゴミから取り出した金属部分を一緒にして浸潤しており、1サンプル当りの金属部分の質量は約6～73g範囲であった。

さらに水溶液の吸引濾過後、マイクロフィルターに残存した沈殿物質を蛍光X線回折法(FP法)で分析し、浸潤中に生成された固形物質に含有される元素成分の評価を試みた。

5. 漂着廃油ボール汚染

(1) 廃油ボールの生成と発生源

廃油ボールはタール状の揮発しにくい成分が丸く固まった廃油の粒のことである。海洋に流出した油が蒸発・溶解しながら粘性の高い油性エマルジョンに変容し、やがて微粒子の懸濁物質となる。粘っこい油性なので粒同士が集合し、海中の遊泳土粒子や細片藻類等を吸着し、徐々に大型の廃油ボールとなる。油汚染は船舶の座礁事故以外にも恒常的に起こっている。オイルタンカーからのビルジ水やバラスト水の海洋への大量廃棄が、廃油ボール発生恒常的要因となっている。ビルジ水は船底にたまる油を含んだ水、バラスト水は空タンクのバランス保持のために注入された海水が油と混じった水のことである。廃油ボールは海中を自由に遊泳し、やがては海底に沈むことになる。その間に砂浜に漂着して混入したり、岩礁や海藻類に粘着したりして海浜汚染を引き起こす。また海鳥・魚類などの海洋生物の胃袋に入り込んで深刻な生態系汚染などを暴露する。近年度々、八重山諸島などの琉球列島に打ち上がる廃油ボールは、



写真3 海岸に打ち上がるドラム缶

近海での貨物船やタンカー座礁事故の報告がないにも拘わらず、短期間にしかも広域に亘って大量漂着する実態から推察すると、オイルタンカーからのビルジ水やバラスト水に起因する廃油ボールが原因というよりもむしろ、故意に海洋不法投棄された大量の廃油が、海洋漂流中に油性エマルジョンに変容し、やがて廃油ボール（廃油の粒子）と化して、大量漂着ゴミと同様に、黒潮海流や沿岸流に乗って八重山諸島の海岸に襲来してきたものと推察される。

明確な発生源は特定できないが、八重山諸島での2006年夏季調査では、与那国島(6海岸)で8本、西表島(8海岸)で20本、石垣島(5海岸)で16本、総計44本の漂着ドラム缶を確認している(写真3)。大半は国籍判別は難しいが、ハングル文字(8本)と漢字(4本)入りの近隣国のものと思われるドラム缶が確認された。このような実態は、廃油ボールの漂着問題が海洋への廃油の不法投棄の可能性が極めて高いことを裏付けている。

(2) 廃油ボールの元素成分組成

採取した48サンプルの漂着廃油ボールの含有元素成分を質量%で表示したのが、図2と図3である。図2での炭素(C)と酸素(O)の含有量は採取年別に、図3でのそれ以外の含有元素成分については島ごとに整理している。油は炭素(C)、酸素(O)、水素

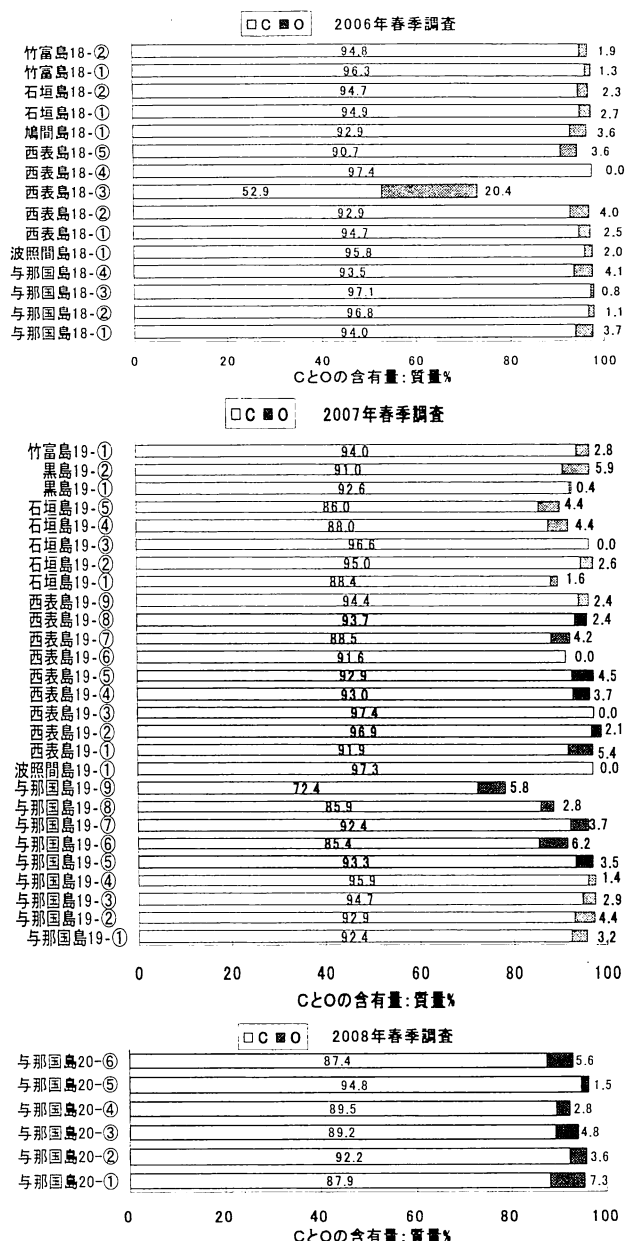


図2 採取年別での廃油ボールのCとO含有

(H)(但し、Hは未測定でその含有量を除外して質量%を算定)の3元素を主成分としているので、廃油ボールを採取年別に比較した図2でのCとOの結果では、Cの質量%は85~95%範囲、Oは1~5%範囲のサンプルが大半を占めており、両元素の含量は質量%で95%を超えるものがほとんどであった。このように両元素成分の含有量には、サンプル間で多少の差異は認められるものの、採取年と島間で明らかに相違する傾向は窺われない。

漂着廃油ボールには、CとOの主要成分の他に、少量・微量・極微量に含まれている成分がある。与那国島、西表島、石垣島と他の4島(波照間島・鳩間島・竹富島・黒島)の島ごとに、しかも採取年別に整理した図3では、CとOの他に、Na、Cl、F、Fe、Ca、S、Al、Si、Mg、Ni、K、Cu、P、Sr、Zn、Mn、Co、Ti、Brの19成分の元素が検出された。但しその内で、Na、Cl、F、Fe、Ca、S、Al、Si、Mg

の各成分はほとんどのサンプルで検出された。それらの成分の含有量は質量%で、2%範囲内のものが大半を占めているが、Fe、Ca、S、Si の 4 成分ではその質量%を超えて突出した含有量を示すサンプルもある。これに対して Ni、K、Cu、Sr の検出されるサンプルは半数程度で、しかも含有量はほぼ 0.5%未満と微量である。さらに P、Zn、Mn、Co、Ti、Br の検出は一部のサンプルに限られ、やはり含有量は微

とろろが大きい。また Fe、Al、Si、F、Ca、Mg、K、P、Sr、Ti の各成分は、廃油ボールに吸着包含されている土粒子・貝殻・海藻類等の細粒子や小片物質が主な供給起源と推察される。特に Fe、Al、Si の 3 成分は砂岩・泥岩・頁岩などの堆積岩を構成する土粒子鉱物の主要元素である。また Ca、Mg、K 成分の由来には海塩起源もあるが、P、Sr、F 成分を加え、包含されたサンゴ・貝殻・藻類等の石灰質遺骸の細片物質が主な供給源と思われる。このようなことから、図 3 で特に、Fe、Si、Ca 成分に数%を超える突出した含有量が検出されるサンプルでは、遊泳中タール状の廃油ボールに吸着し包含された土粒子・石灰質遺骸の細片物質の影響が強く現れているものと考えられる。

上述の図 2 と図 3 には採取した全ての廃油ボールの元素成分を提示し論じたが、各年・各島間での廃油ボールの化学組成の比較を容易にするために、各島で採取した廃油ボールの分析結果を平均して、採取年別に整理し島間で比較したのが図 4 である。同図では、2006 年の黒島、2007 年の鳩間島のデータは欠落し、2008 年は与那国島だけの結果である。

八重山諸島での廃油ボールの漂着時期は島間で多少異なっていたが、それぞれ 2006 年と 2007 年春季調査で採取した各島での廃油ボールは同時期に一齐に漂着したもので、発生源は

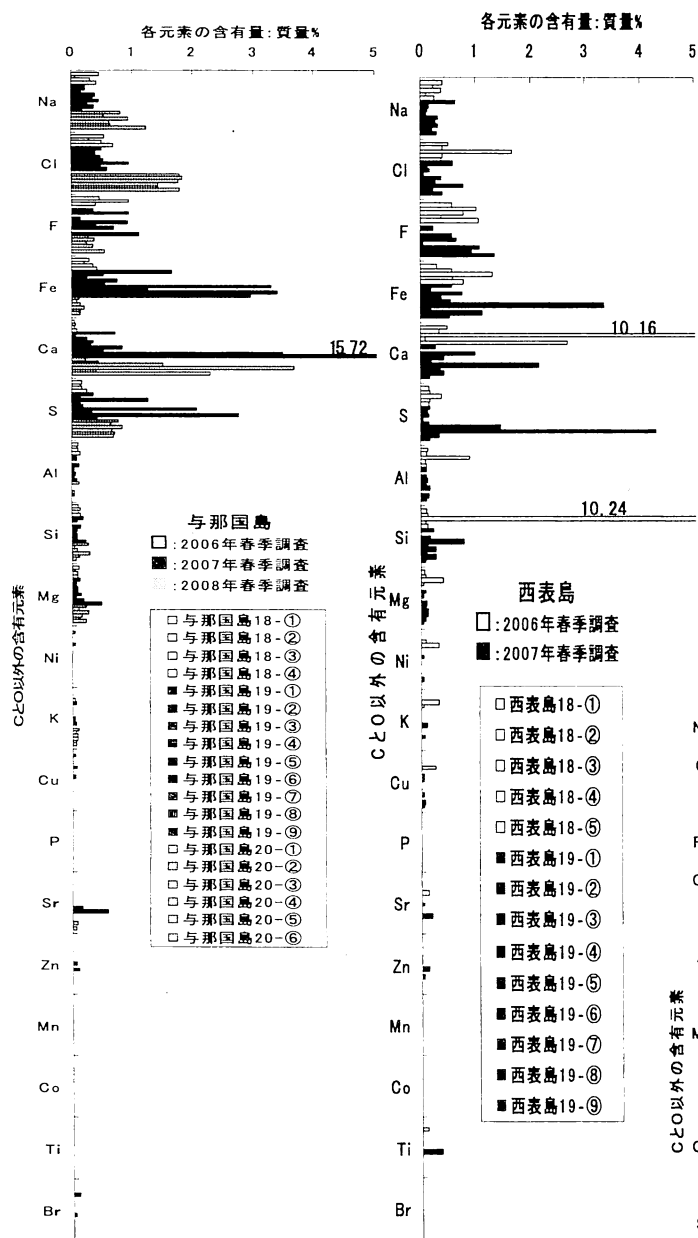


図 3(a) 各島での C と O 以外の元素成分(その 1)

量である。
漂着廃油ボールに含有されているこれらの成分元素の個々の由来起源について詳細に論じることが難しい。しかし廃油ボールはタール状化した油の粒なので、主成分の C と O に加え、Ni、S、Cu、P、Zn、Mn、Co、Br の各元素は、元来、油に微量に含まれている成分のものが主体で、地層起源に由来していると思われる。Na と Cl 成分の由来は、海洋を遊泳中に取り込んだ塩分吸着による海塩起源に拠る

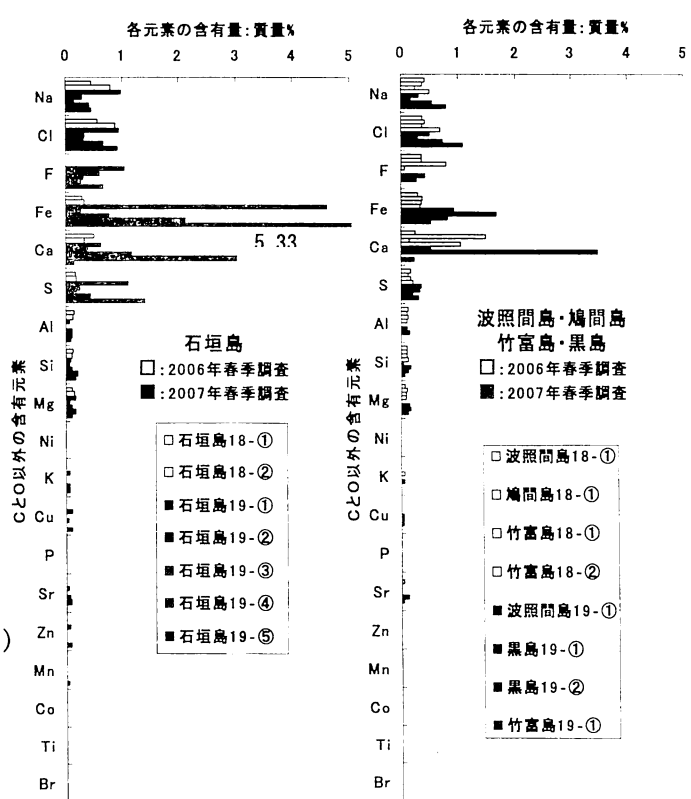


図 3(b) 各島での C と O 以外の元素成分(その 2)

不明であるが同一と思われる。そのため先にも述べたように、廃油ボールの大半の成分量を占める C と O の含有量には、島間に明瞭な違いを読み取ることは難しい。また C と O 以外の少量・微量の含有成分、

特に Ca、Fe、Si 以外の成分においては、島間での廃油ボールに明瞭な差異があるとはいえない。即ち 2006 年春季調査の西表島や 2007 年春季調査の石垣島と与那国島での廃油ボールの平均的成分組成では、各年で他の島に漂着したものに比較して、Ca、Fe、Si の含有成分量に富んでいることが分かる。この理由は、成分元素の由来起源について先に述べたように、廃油ボールを形成している本来の油の成分組成の違いによるよりもむしろ、漂流浮遊過程で取り込んだ土粒子・石灰質遺骸等の細片物質の包含量に因っているものと推察される。2008 年春季調査での与那国島の廃油ボールで高い成分量が検出されたように、Na と Cl 成分もまた、本来の油の成分組成に依存するよりもむしろ、海塩成分の吸着量に因っているものと思われる。そのため特に、Fe、Ca、Si、Na、Cl の成分量は、当初、発生源は同一でも油が廃油ボールとなって漂流浮遊し、各島に漂着するまでの漂流経路や漂流期間に左右され、その間に吸着包含される塩分や浮遊土粒子・石灰質遺骸等の細片物質の量と質に依存しているものと考えられる。このようなことから、八重山諸島の島々に漂着したそれぞれの年の廃油ボールは、元素成分組成から判断して、同一発生源で同質のものであると推察される。しかし、かなり元素成分組成は類似しているが、各年間での漂着廃油ボールが同質のものと判定できる根拠はない。

そこで、このことに関してさらに考察を深めるために、再度、図 5 と図 6 に分析データを整理し直した。図 5 では、各年で八重山諸島の島々に漂着した廃油ボールは同質の成分組成を有する油が起源と判断されたことから、各年での各成分量の平均値を算出し、元素成分組成を年別に比較している。同図中には、各年・各島で採取した漂着廃油ボールの全ての平均値も併記している。また図 6 は、各島で採取した漂着廃油ボールの各成分量を島ごとに平均して比較している。採取年や漂着した島間で、明らかに異なる成分量が検出される元素は、やはり海塩成分に起因する Na と Cl 及び土粒子・石灰質遺骸類等の包含細片物質に起因する Fe、Ca、Si であることが、容易に理解できる。なお図 5 における Sr も貝殻等の遺骸類から検出される場合が多い。Na、Cl、Fe、Ca、Si、Sr 以外の元素の成分量においても多少の差異は認められ、あくまでも推論の域を出ることはできないが、八重山諸島に漂着した一連の廃油ボールの元素成分組成から推察すると、各年に投棄された本来の廃油は、同質のものに近く、発生源も類似している可能性が高いと判断される。

表 2 には、八重山諸島でのこの 3 年間の春季調査で採取した 48 サンプルの漂着廃油ボールから検出された 21 元素の成分量範囲とその平均値をまとめている。質量%の平均値をみると、主成分である C が 91.6%、O が 3.34%で、両成分で約 95%を占めている。次いで 0.5%以上の成分量を占めている元素が、

Ca(1.31%) > Fe(0.979%) > Cl(0.664%) > S(0.547%)

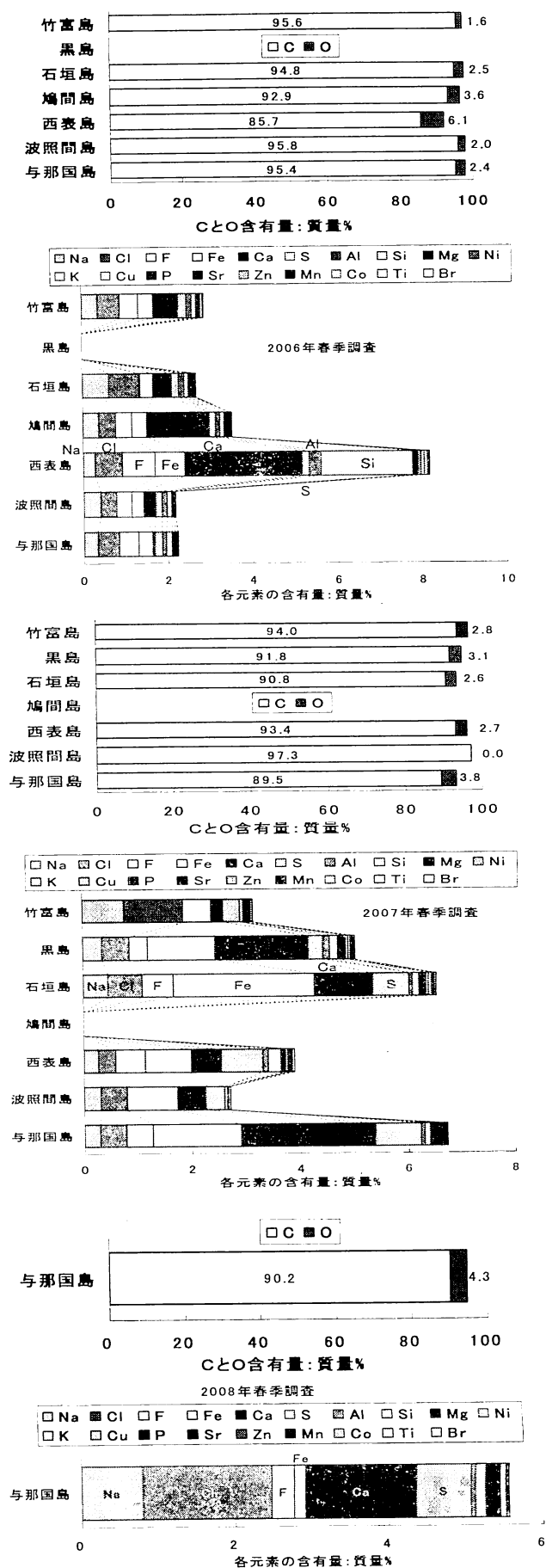


図 4 各年に各島で採取した廃油ボールの元素成分

の順となっている。さらに 0.1%を超える元素が、
 $F(0.459\%) > Na(0.405\%) > Si(0.349\%) > Mg(0.117\%) > Al(0.101\%)$
 の質量%の順で含有されている。他の 10 元素はいずれも質量%が 0.05%以下の微量・極微量の成分含有量となっている。

この 3 年間、八重山諸島での毎年の春季調査で遭遇した長帯状に漂着した廃油ボールは、サンゴ白砂の島岸線を黒色に変色させるほどであった。しかも船舶座礁等の海難事故に関する事前の報告もない、まさに突発的な広域漂着であった。たまたま遭遇したこの 3 度の漂着の原因は、いずれも大量廃油の海洋への不法投棄と判断

せざるを得ない。故意の海洋不法投棄と思われることから、その漂着原因や発生源を解明することは、ほとんど絶望的である。しかし深刻な漂着汚染の実態、広域に及ぶ漂着範囲、清掃回収の難題性等について詳細に調査し、マスコミ報道機関等を通して、大々的にその汚染被害・自然破壊の甚大性を公言し、原因究明を徹底的に図っている姿勢を、社会的に広く知らしめていくことが、故意の海洋不法投棄を軽減・防止していく重要な役割を果たすものといえる。

(3) 廃油ボールに含有される有害元素成分

水道水や土壌・地下水に関する環境汚染基準では、人体への健康被害を考慮して、多くの化学物質が規定されている。この中の水銀(Hg)、鉛(Pb)、カドミウム(Cd)、砒素(As)、六価クロム(Cr)などの重金属類は、周知のように、数多くの公害・汚染問題を引き起こしてきた実例の多い、環境学上、有害な化学物質である。しかし明確な環境基準値を定めるまでには至っていないが、人体はじめ、生態系にとって好ましくないとされる化学物質も多い。

ここでは、前節で記述した八重山諸島の島々で採取した漂着廃油ボールの元素成分組成の中で、特に、生態系に好ましくないとされる成分元素を取り上げ、廃油ボールに含有されている有害元素の実態について考察する。

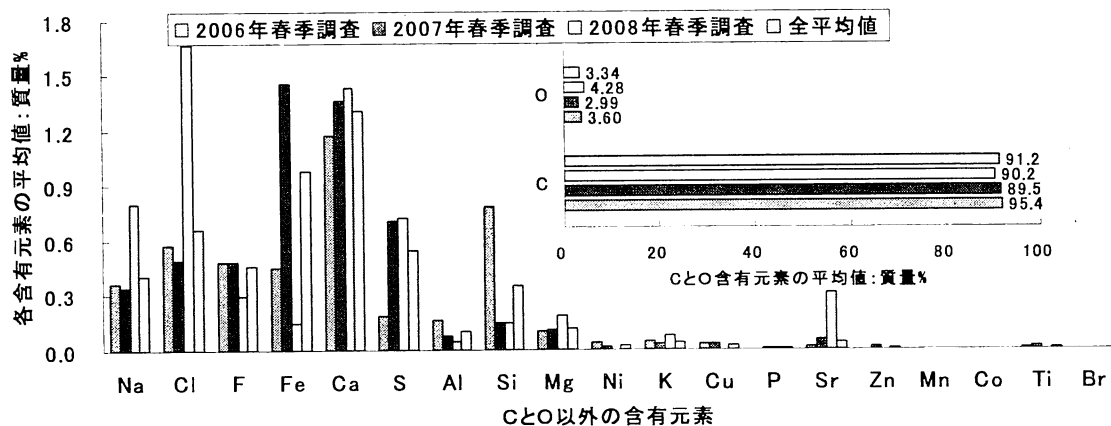


図 5 八重山諸島で各年に採取した廃油ボールの元素成分の平均値の比較

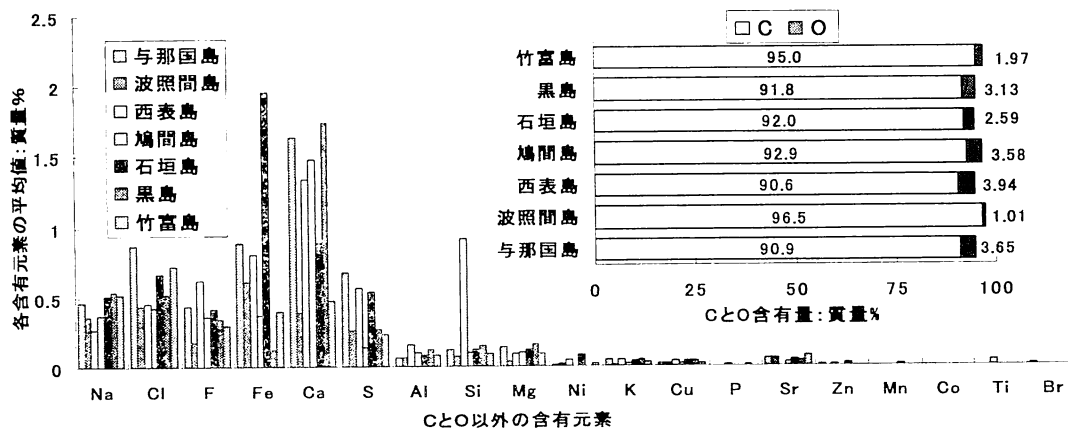


図 6 八重山諸島の各島で採取した全廃油ボールの元素成分の平均値の比較

半数以上の漂着廃油ボールから検出された硫黄(S)、アルミニウム(Al)、ニッケル(Ni)、銅(Cu)の 4 元素の場合について、各サンプルの含有量の状況を図 7 に示している。これらの元素については、明確な基準値は設けられていないが、小魚貝類や底生生物等の海生生物にとっては好ましくない元素である。

先述したように、S、Ni、Cu は、油本来の地層起源に由来して含有されていると思われることから、原油の質に依存している有害元素といえる。今回の漂着廃油ボールでは、S は全てのサンプルで検出され、しかも含有量は比較的高く、平均値は 0.547% であるが、中には 4%の含有量を超えるサンプルも確認された。Ni と Cu は半数以上のサンプルで検出され、含有量の平均値はそれぞれ 0.0196%と 0.0272%と低値であるが、中には 0.1%を超えるサンプルもある。Al は、S と同様に、非検出は 1 サンプルでほとんどのサンプルで検出されるが、S に比較して含有量は低く、大半は 0.2%未満で、平均値は 0.101%であった。なお検出が確認されたサンプ

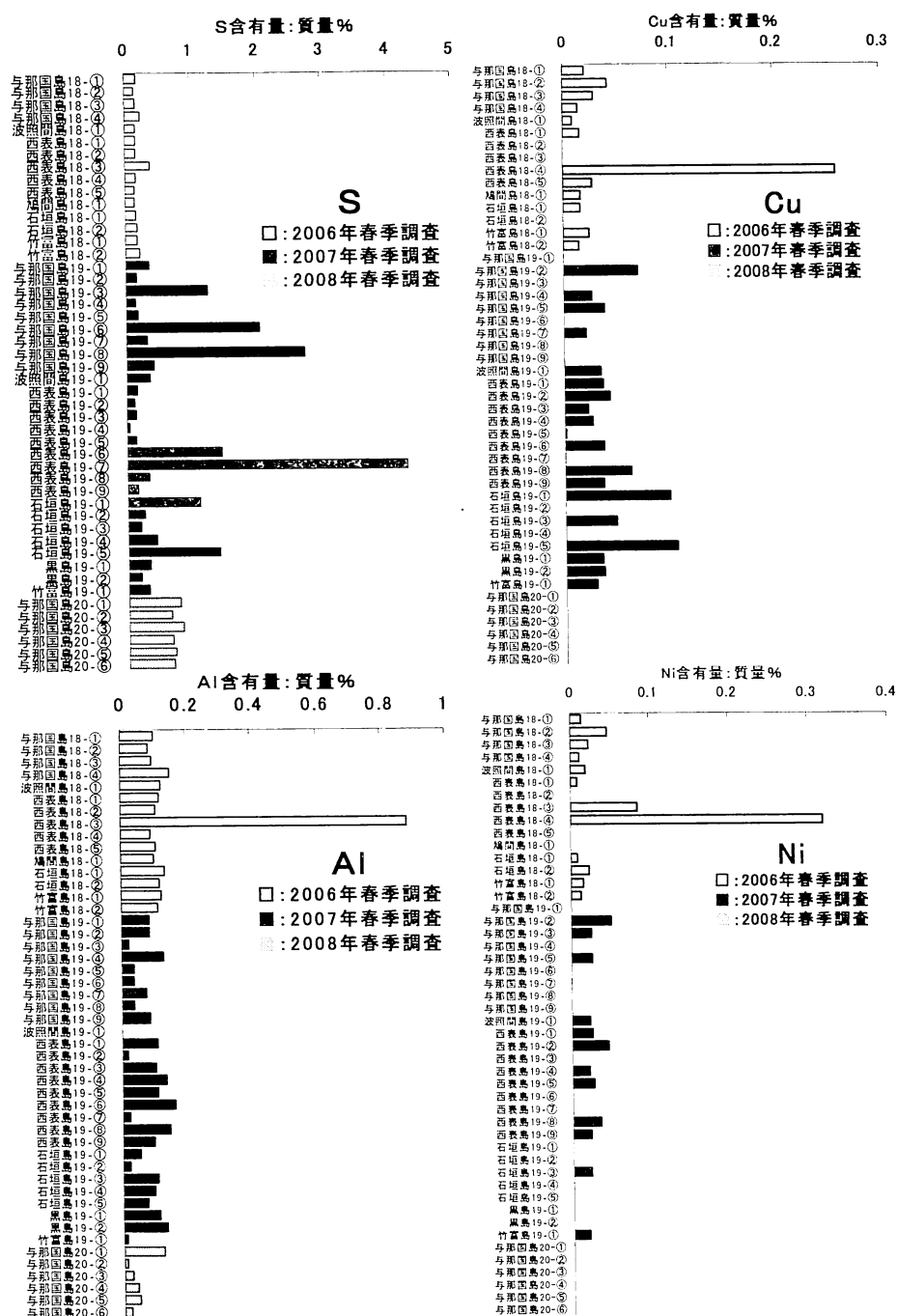


図7 廃油ボールに含有される生態系に好ましくない主な元素成分

ル数は非常に少なく、含有量も極微量であったが、Ni や Cu と同様に有害元素と位置付けられている Zn(平均値：0.0104%)と Mn(平均値：0.00137%)が検出されたサンプルもあった。

そこで、他の F、Sr、Co を加え、廃油ボールに含有されていた生態系に好ましくないと考えられる一連の検出元素を、採取した島ごとと年ごとに整理して、比較したのが図 8～図 10 である。図 8 での各元素の含有量はそれぞれの島で採取した全サンプルの平均値で、また図 9(全島の場合)と図 10(与那国島だけの場合)は各年に採取した全サンプルの平均値で表示している。この結果より、好ましくない元素の成分組成には、廃油ボールの漂着した島や漂着した年で、多少、差異は認められるが、明瞭な特徴的

表2 廃油ボールの含有元素の検出質量%範囲と平均値

含有元素	検出範囲(%)	平均値
C	52.9～97.4	91.6
O	0～20.4	3.34
Na	0.0702～1.23	0.405
Cl	0～1.84	0.664
F	0～1.34	0.459
Fe	0.0870～5.33	0.979
Ca	0～15.7	1.31
S	0.0424～4.30	0.547
Al	0～0.880	0.101
Si	0.0159～10.2	0.349
Mg	0～0.473	0.117
Ni	0～0.320	0.0196
K	0～0.312	0.0407
Cu	0～0.259	0.0272
P	0～0.0296	0.00429
Sr	0～0.589	0.0390
Zn	0～0.136	0.0104
Mn	0～0.0356	0.00137
Co	0～0.0250	0.000521
Ti	0～0.363	0.00997
Br	0～0.0970	0.00342

な傾向は読み取れず、それらの差異はばらつきの範囲と判断される。各島と各年でのこれらの元素の成分量は、総量でいずれも 0.5%～1.6%範囲であるが、S と F の成分量が、大半を占めているのが特徴となっている。

以上、この結果から、直ちに生態系への影響や汚染について論じることが難しいが、微量でも 7～8 種類の有害元素の含有されていることが確認された廃油ボールが、近年度々、しかも大量に広範な島岸線に打ち上がることは、野趣豊かな貴重な自然生態系が育まれている八重山諸島では、深刻な海浜汚染を誘発することが十分に懸念される。何れの漂着時期においても、先述したように、近海での貨物船やオイルタンカー等の船舶の海難事故は報告されていない。度重なる大量廃油の海洋不法投棄が原因と思われ責任所在を明らかにすることは不可能に近いが、防止対策強化の上からも、徹底的な原因の解明と調査が求められる。

6. 球管類ゴミからの重金属類等の溶出性

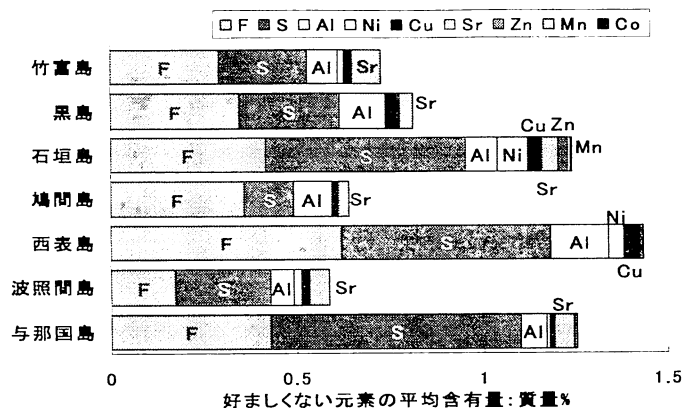


図 8 各島で採取された全廃油ボールの有害元素の含有状況

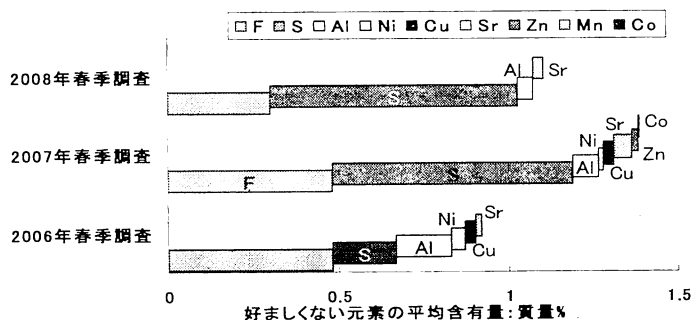


図 9 各年に採取した全廃油ボールの有害元素の含有状況

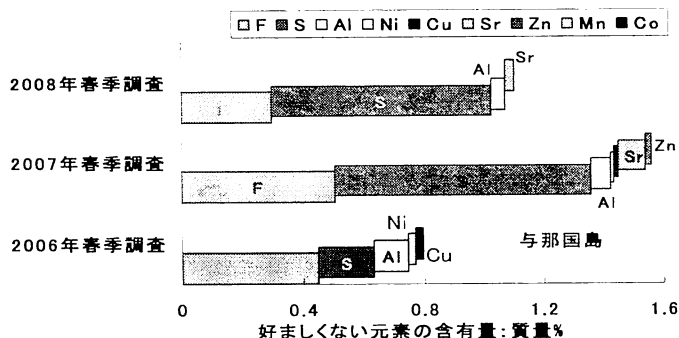


図 10 与那国島で各年に採取した廃油ボールの有害元素の比較

(1) 金属部分からの重金属類等の溶出性

2006 年春季調査の折、八重山諸島での代表的な海岸で採取した漂着電球類と蛍光灯管類の球管類ゴミから取り出した芯・端子部等の金属部分を脱イオン水に浸潤させ(写真 4)、ほぼ 250 日間静置後の水溶液から抽出した濾液を原子吸光法で分析することによって、球管類ゴミから溶出する重金属類等(10 元素)の有害元素について考察した。表 3 に示すように、電球類は 13 サンプル、蛍光灯管類は 3 サンプル準備した。これらのサンプルにおいては、複数個の球管類から取り出した金属部分を混ぜ合せているものもある(写真 5)。大型と中型の電球類は漁船などで使用されたもので、小型は通常の家庭用のものである。なお各元素の溶出量は $[\mu\text{g}/\text{l}]$ の単位で検出されるが、各サンプル間で浸潤した金属部分の質量(6~73g 範囲)が異なっており、質量差の影響が現れるため、サンプル間の比較が難しい。そこで



写真 4 球管類ゴミの金属部分の浸潤状況
約 1 週間程赤濁し始める

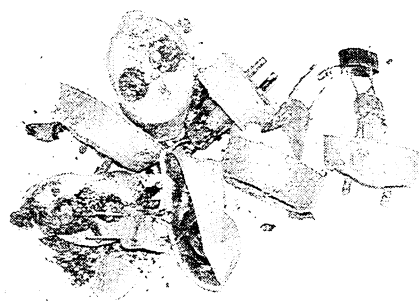
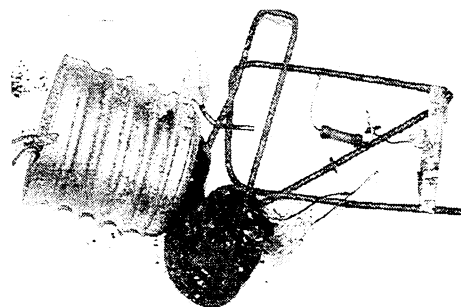


写真 5 球管類ゴミから取出した金属部分
(上：電球類、下：蛍光灯管類)

各元素の溶出量は、浸潤した金属部分の質量 1g 当りからの溶出量(μg)に換算して、 $[\mu\text{g}/\text{g}]$ の単位で表示する。

図 11 には、一連の電球サンプル(電球①~⑬)と蛍光灯管サンプル(蛍光灯管①~③)からの 10 元素の溶出量を示している。分析対象とした 10 元素の中で、溶出量の高い元素はニッケル(Ni)、マンガン(Mn)、アルミニウム(Al)で、最大値は $5\sim 10\mu\text{g}/\text{g}$ オーダーのサンプルが確認された。亜鉛(Zn)、鉛(Pb)、銅(Cu)の溶出量も比較的高く、最大値は $0.5\sim 2\mu\text{g}/\text{g}$ オーダーとなっている。これらの溶出性の高い元素は、ほとんど全てのサンプルで検出される。これに対してスズ(Sn)、カドミウム(Cd)、砒素(As)、クロム(Cr)の溶出量は $0.1\sim 0.01\mu\text{g}/\text{g}$ オーダーと低く、またサンプルによっては検出されない場合もある。各元素の溶出量には、サンプル間でかなりの相違が認められるので、明確には言及できないが、蛍光灯管類で Mn、Al、Cu の溶出性の高い傾向が窺われる。しかしサンプル数も少なく、データの蓄積が求められる。

なお表 4 には球管類ゴミからの重金属類等の溶出性の目安として、全サンプルから検出された溶出量の最小値と最大値及び平均値をまとめている。平均値で比較すると、上述したように、Ni が $2.611 \mu\text{g/g}$ 、Mn が $2.450 \mu\text{g/g}$ 、Al が $1.230 \mu\text{g/g}$ と高く、次いで Zn が $0.895 \mu\text{g/g}$ 、Cu が $0.130 \mu\text{g/g}$ となっている。土壤汚染基準などに規定されている典型的な有害元素では、Pb が $0.185 \mu\text{g/g}$ と比較的高いが、Cr、As、Cd、Sn はいずれも $0.02 \mu\text{g/g}$ 未満の極めて低い溶出量で、非検出のサンプルも多かった。今回分析した球管類ゴミの溶出量は、対象サンプルの違いや溶出手法などの試験方法において、土壤汚染基準に規定されている方法と異なっているため、直接、土壌から溶出する基準値と比較することはできないが、球管類ゴミからの溶出量の平均値は、基準値よりかなり下回っており、即座に、現状では問題となる値ではないと判断される。しかし各元素において、球管類ゴミのサンプル間で、その溶出量の検出値にはかなり

表 3 溶出試験を実施した球管類ゴミのサンプル状況

球管類番号	採取島・海岸名	質量(g)	球管類サンプル状況
電球①	与那国島	ウブドゥマイ浜	67.2
電球②	与那国島	ツア浜	72.8
電球③	西表島	南風見田浜	37.3
電球④	西表島	仲間崎海岸	14.2
電球⑤	西表島	野原海岸	39.1
電球⑥	西表島	野原海岸	59.1
電球⑦	西表島	野原海岸	44.8
電球⑧	西表島	中野海岸	46.9
電球⑨	黒島	西ノ浜	34.9
電球⑩	黒島	西ノ浜	9.0
電球⑪	石垣島	平野海岸	54.5
電球⑫	石垣島	南星野海岸	12.7
電球⑬	石垣島	南星野海岸	38.8
蛍光灯管①	与那国島	ツア浜	31.3
蛍光灯管②	西表島	野原海岸	11.2
蛍光灯管③	黒島	西ノ浜	6.3

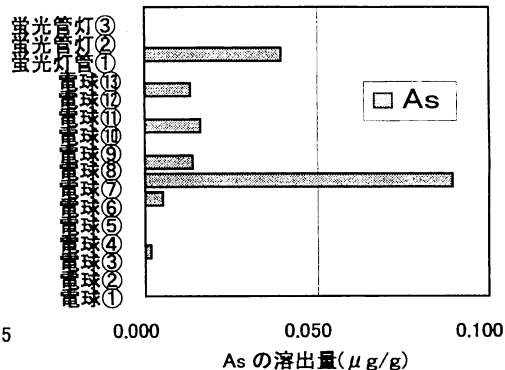
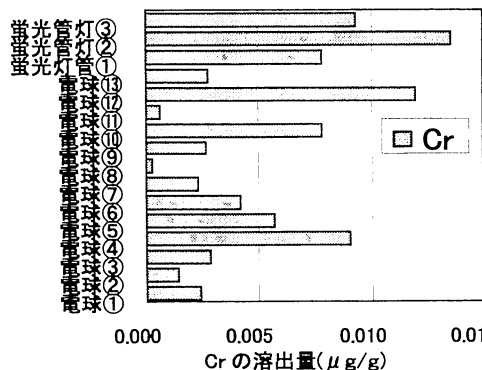
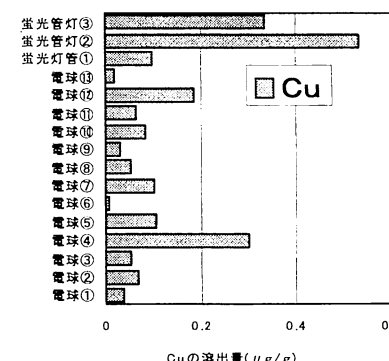
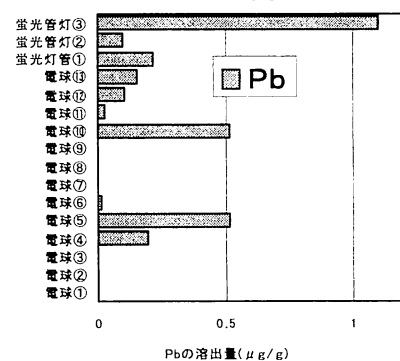
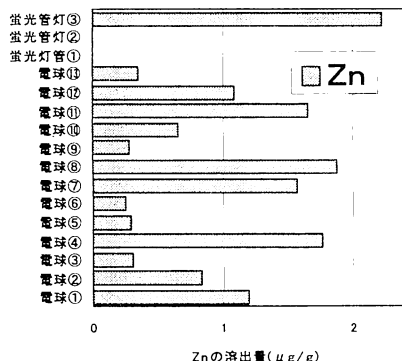
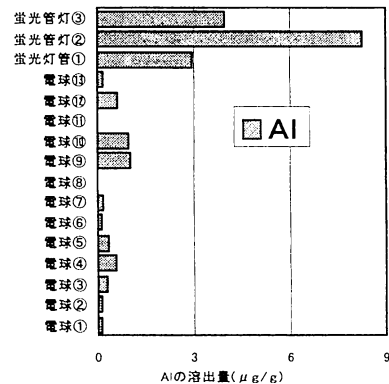
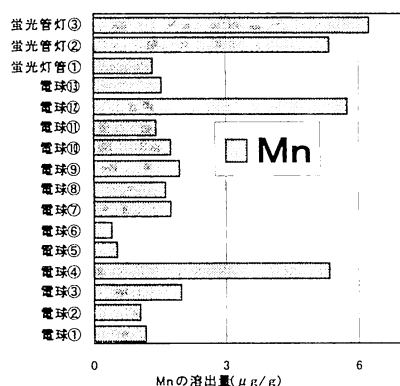
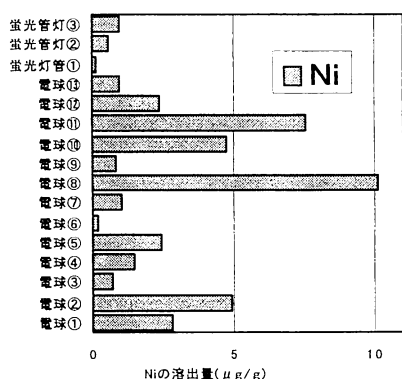


図 11 球管類ゴミからの主な重金属類等の溶出性(Cd と Sn 省略)

表 4 球管類ゴミからの 10 元素の検出量範囲と平均値

重金属類等	球管類金属部分の質量 1g 当りからの溶出量(μ		
	最小値	最大値	平均値
ニッケル(Ni)	0.107	10.105	2.611
マンガン(Mn)	0.415	6.249	2.450
アルミニウム(Al)	0.0381	8.288	1.230
亜鉛(Zn)	0(非検出)	2.226	0.895
鉛(Pb)	0(非検出)	1.098	0.185
銅(Cu)	0.0191	0.532	0.130
スズ(Sn)	0(非検出)	0.043	0.025
カドミウム(Cd)	0(非検出)	0.093	0.016
砒素(As)	0(非検出)	0.014	0.011
クロム(Cr)	0(非検出)	0.012	0.005

幅があり、Al と Pb では最大値が平均値のそれぞれ約 6.7 倍と 5.9 倍、Cu が約 4.1 倍、Ni が約 3.9 倍、Mn と Zn がそれぞれ約 2.6 倍と約 2.5 倍であった。このような検出値の相違は、球管類ゴミのタイプ・材質・形式や電極等金属部分の破損劣化・腐食分解の状況など複雑な要因によっているものと考えられる。

(2) 生成沈殿物質の元素成分組成

球管類ゴミを脱イオン水に浸潤させると数日後に沈殿物質が生成し始める。ここでは吸引濾過で濾液

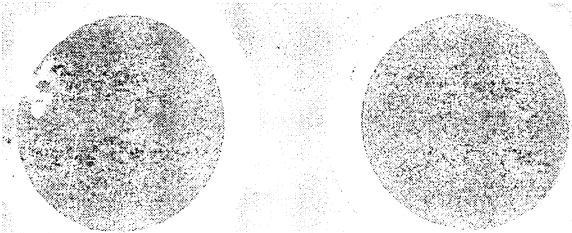


写真 6 浸潤中に生成された沈殿物質

を抽出した際に、0.45 μm フィルターに残存した沈殿物質(写真 6)の化学成分を蛍光 X 線回折法により分析した。図 12 は電球類サンプルの平均値を示している。16 元素検出されたが、生成沈殿物質の大半の成分は Fe (83.26%) で、次いで Al が 5.68%、F が 3.68%となっていた。他の元素はいずれも 2%未満でほとんどは 1%未満の質量%となっていた。しかしこれらの元素には Zn、Cu、S、Ni などの有害な金属元素も含まれている。これらの元素もまた当然、前節での溶出重金属類等と同様に、球管類ゴミが海浜域に存在した場合には汚染物質となる可能性が高い。

以上、本分析結果から判断すると、球管類ゴミからの元素成分の溶出・生成量は、直ちに生態系や人体に影響を与える値とは思われない。しかし、八重山諸島の多くの島々では、美しい海浜域が貴重な観光資源でもあり、島の財産ともなっていることから、毎年、大量に打ち上がる夥しい数の球管類ゴミは海浜域の安心・安全性に対する信頼を脅かすだけでなく、やがて破損劣化し腐食分解が進行すると、生態系に好ましくない有害な化学物質が溶解・浸積し、

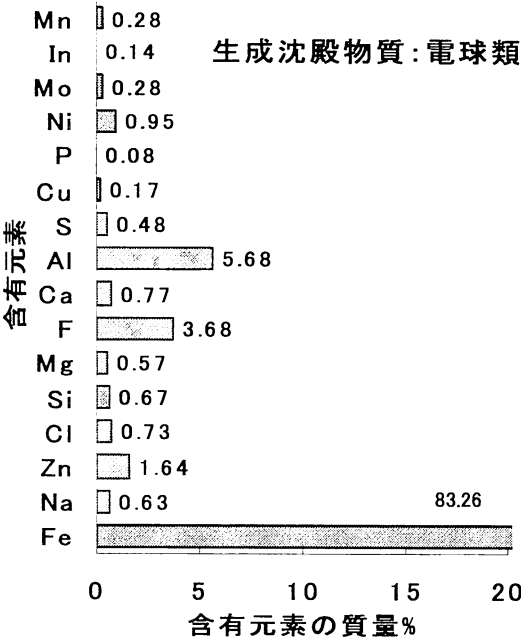


図 12 生成沈殿物質の元素成分組成の平均値

海浜汚染の要因ともなりかねないことが懸念される。徹底した海浜清掃活動が益々重要となり、身の回りから廃棄される球管類ゴミの適切な処理処分の検証に加え、大量漂着する球管類ゴミの早急な原因究明が望まれる。

7. おわりに

沖縄県では特に、漂着ゴミ汚染問題が深刻で早急な対応が迫られているのが、黒潮海流の洗礼を真っ先に被る最西端の八重山諸島である。紺碧の海に縁取られたサンゴ白砂の美しい島岸線では、中国・台湾・韓国からと思われる近隣諸国からの夥しい量の外国製ゴミの襲来が脅威となっている。この驚愕する外国製ゴミの漂着実態には、全く歯止めはみられず、年々、その深刻度を増しているのが実情である。漂着ゴミの種類は多岐に亘るが、その中には、有害化学物質の暴露が懸念される危険な漂着ゴミも多数確認される。本研究では漂着廃油ボールと球管類ゴミを事例として取り上げたように、深刻化する漂着ゴミ問題に関して、有害化学物質との関連に踏み込んで究明していくことは、漂流・漂着ゴミ削減対策に向けた関連機関・組織(国・地方自治体・民間・NPO・市民等)の取り組みや対策システムづくりの促進を一層加速させることに役立つ。

参考文献

1) 山口晴幸：海浜域の漂着ゴミ汚染、(社)地盤工学会、第 7 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp. 329-336、2007。
2) 山口晴幸：沖縄における深刻化する漂流・漂着

- ごみの実態、環境新聞社、専門誌「INDUST」、第 23 巻第 5 号通巻 247 号、pp. 58-64、2008.
- 3) 山口晴幸：海浜地盤汚染(2)～漂着廃油ボールと有害化学物質、(社)地盤工学会、第 44 回地盤工学研究発表会投稿中、2009.
- 4) 山口晴幸：沖縄八重山諸島の漂着ゴミと有害化学物質～漂着球管類ゴミ～、(社)土木学会第 64 回年次学術講演会投稿中、2009.
- 5) 琉球新報社：沖縄県八重山漂着～廃油ボールに有害物質、銅、ニッケル、硫黄、初分析～、琉球新報、社会面、2007 年 4 月 7 日発行.
- (2009. 7. 6 受付)

Drifting Garbage Pollution in Okinawa and Harmful Substances ～Oil Ball and Electric Bulb～

Hareyuki YAMAGUCHI

Dept. of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy

Domestic and foreign garbage, which is drifted with sea currents and accumulated across the Japan's seashores, has been not only a critical environmental problem but an alerting social issue. Seaborne garbage is waste, mainly originated from domestic home goods as well as fishing gears. Majority of them are, in general, made of petrol-chemicals, which are harmful to environment. The harmful substances could be produced through erosion, decomposition and dissolution of the drifting garbage, and they should be concerned as potential substances that contaminate the Japan's seashores.

The field investigation has been conducted for clarifying and recognizing the current circumstance of seashores in Yaeyama district of Okinawa prefecture since the vast volume of garbage drifted to this area has been found in the recent year.

The seashore contamination by the drifting garbage is evaluated and discussed based on analytical data including elemental composition and dissolution behavior of the heavy metals contained in the drifting garbage.