

# 講座による編集

応 用 化 学 講 座      85

# 海岸一帯の漂着ごみ量や堆積ごみ量の指標値を得るために必要な調査範囲

岡野多門・森田 晃  
鳥取大学大学院工学研究科，化学・生物応用工学専攻

## A Method of Determining a Suitable Survey Area for Measuring the Reliable Quantities of Beached Litter and Accumulated Litter on Sandy Beaches

Tamon OKANO and Akira MORITA  
Department of Chemistry and Biotechnology, Graduate School of Department of Engineering,  
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan  
E-mail: okano@chem.tottori-u.ac.jp

**Abstract:** The quantity of accumulated litter on a beach indicates the pollution level, whereas the quantity of beached litter relates to the density of floating marine litter and the amount of inappropriate waste disposal. The purpose of investigating either accumulated litter or beached litter is to obtain the index quantity of litter for an entire beach, and to research the changes of quantity or the differences between other beaches. For this purpose, it is essential to investigate several representative items on a long beach area, with the exclusion of small debris. The reliabilities for the survey area and the measured value can be evaluated with an excess quantity, which is represented by the equation  $[100 \times (Q1 - Q2) / (Q1 + Q2)]$  where  $Q_N$  is the quantity of litter on Site N. In order to reduce the influence of irregular data of survey areas, it is important to investigate several locations. Assuming that the excess quantity is about 10%, in order to obtain the reliable quantity of the beached litter on the beaches facing the Sea of Japan, it is necessary to investigate at least 500 m of beach-line area of 6 beaches every month.

**Key Words:** Suitable survey area, Beach litter quantity excess, Accumulated plastic debris, Beached litter, Floating marine debris

### 1. はじめに

プラスチックなどの人工素材で作られた製品の消費が急増し、その一部が不適切に放置や投棄され、その結果、浮遊性のごみが海に流出し、排他的経済水域を越え、海洋全体に広がりながら蓄積を続けている。このため世界各地で難分解性の浮遊ごみの流出防止が叫ばれ、海岸のごみ清掃が行われているが、海洋浮遊ごみの漂着が続いている<sup>[1,2]</sup>。この事実は、有効な排出抑制策が未だに実施されていないことを示す。日本でも啓発活動や<sup>[3,4]</sup>、不法投棄が重罰であることを示す表示、不法投棄を防ぐ防犯カメラの設置などが盛んに行われているが、しかし、ごみの流出は止まらない<sup>[5,6]</sup>。流出防止の実効性を上げるためには、流出しているごみ種と量を調べ、個別のごみ種の排出原因に応じた、具体的な対策が不可欠で、その後実施された対策の実効性を評価する調査法も必要である。

海岸に流れ着くごみは海洋浮遊ごみの一部にすぎないが、それでも環太平洋アジア地域の海流

の下流に位置する日本には、近隣諸国から大量のごみが流れ着く<sup>[7]</sup>。しかし、それは日本が環太平洋アジア地域からの浮遊ごみを測定する適地であることを示す。日本での測定結果はアジア諸国での排出抑制策を考える上で有用である。海岸に流れ着くごみ量の変化は各国から流出する海洋浮遊ごみの増減を反映し、ごみの由来国は海浜での調査から正確に決められる。ただし、その調査には客観性が重要で、科学的に検証できる調査法で行われなければならない。しかし、科学的な調査法の検討は不十分で、統一された基準による調査は行われてこなかった。事実として、例えばアメリカでは汀線距離 500m<sup>[8]</sup>、イギリスや韓国では 100 m<sup>[9,10]</sup>、日本では 10m<sup>[3]</sup>と 5m<sup>[4]</sup>の範囲の調査が今でも推奨されている。しかし、数の少ない中大型ごみでは数十kmまでの長い汀線区間での調査も行われている<sup>[11,12]</sup>。さらにごみ量の単位に、面積当たりと汀線長さ当たりの 2 種が今でも混用されている<sup>[13]</sup>。

信頼される海浜ごみ調査のためには科学的で定量的な測定が必須である。そのため、著者らは

人口が少なく、直線的な砂浜が多く、潮汐変化による海浜ごみ量の変動が小さい鳥取県の海岸の特徴を利用して、海浜ごみ量の単位の検討から始め、既に汀線長さ当たりで示すことが正しいことを報告してきた<sup>[14, 15]</sup>。ここでは、訪問者による現場での投棄ごみが少ない砂浜を選び、新しく流れ着いた漂着ごみと、既に溜まっている堆積ごみについて、海岸一帯の広い範囲のごみ量の指標値とみなせる測定値を得るために必要な抽出範囲について検討を行った。

## 2. 調査と分析の方法

詳細な調査海浜の位置や調査法は既に報告している<sup>[14, 15]</sup>ので、ここでは概要を記す。漂着に由来する海浜ごみは、二次元の海浜面上への投げ捨てごみと異なり、海面と海浜面の一次元の交線で起こる。ただし、海浜上のごみは汀線の垂直方向に不均一に分布するが、それは汀線が潮汐や波の遡上で上下するためである。したがって現象論的な単位は1次元の汀線の長さ当たりで、実際の調査結果からも証明されている<sup>[14, 15]</sup>。一定期間に流れ着いた漂着ごみ量は、量/(汀線距離・期間)が単位であるが、漂着由来であっても堆積ごみ量は調査時点のごみ量で、期間の次元を含まない量/汀線である。ここでは訪問者の少ない砂浜での測定であり、すべてが漂着由来とみなし、単位を汀線の距離当たりで記す。

汀線距離5m区間の堆積ごみ量の調査は、NPECとマリーンプルー21の調査法に準じて行い<sup>[3, 4]</sup>、その詳細は既に報告している<sup>[14, 15]</sup>。海浜の選定はカスピの影響がなく、また上記団体の指針に従い、大河川の河口から離れた直線的な汀線をもつ砂浜を選んだが、指針とは逆に訪問者の少ない砂浜と季節を選んだ。調査対象は0.02gのレジンペレットから0.5kg程度までの浮遊移動可能な人工合成高分子、金属、ガラス、紙ラミネート素材ごみとして、これらを前記2団体と著者らの分類法<sup>7)</sup>を併用し、一部は個数調査から重量を推定する目的で、百余種に分けて調査した。砂水を除きやすい破片や部品は現場で個数と重量を測定したが、海藻や貝が付いたフロートやロープ類、異物を含む容器類は、当初は持ち帰り、洗浄と乾燥後に重量を測定していた。しかし多大な労力と時間が必要なため、後の調査では前記のようにごみ種を細分化し、個数調査にとどめて、各ごみ種の推定平均重量から合計重量を計算した。また、ロープは太さと長さの本数を測り、平均比重を $0.67\text{g/cm}^3$ として重量を計

算した<sup>[16]</sup>。

前記の0.02gから0.5kg程度までの浮遊移動可能な人工素材ごみをここでは中小微細ごみと定義し、それらを製品ごみと破片の2種に分けて集計した。製品ごみとは部品や付属品を含む原形の半分以上の形状を残す2次元以上の相似形ごみである。3次元の相似形の定形ごみは容器類やキャップ、レジンペレットなどで、2次元の相似形ごみは長さが不定な細管、ストロー、紐・ロープなどである。ただし直径6mm以上のロープについては、中小微細ごみの調査では原則的に長さ5m以上のロープのある地点を調査対象としなかったが、その理由は引用文献で記した<sup>[14, 16]</sup>。破片とは原形の半以下のごみと、1次元の厚さが一定でも2次元の形状が不定な成形品や袋、シートなどの板状破片、3次元の形状が不定な塊状や発泡体の破断物、プラスチックの焼却後の熔融固化物<sup>[14, 15]</sup>などである。

図1に2区画および4区画の同時調査法を示す。隣接するA, Bで比較する2区画調査は2005年5月から2010年4月までに48回、汀線方向に5mの間隔を空けたC, D, E, Fの4区画の同時調査での比較は2010年5月, 7月, 10月, 12月, 2011年3月に9回行った。汀線距離の異なる調査も含め、いずれも結果の評価は式1で示すような過剰率で行った。ただし両区画の量がいずれもゼロの場合は分析の対象外とした。

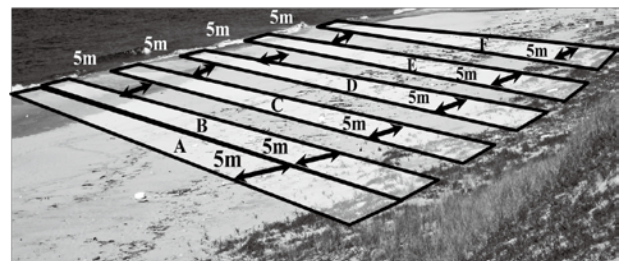


図1 汀線方向5mでの隣接2区画および4区画調査の方法

中型製品ごみの堆積数は鳥取県の三大河川の天神川河口から西に4.8km離れた北条砂丘海岸の $35^{\circ}30'3.9''\text{N}$ ,  $133^{\circ}48'21.2''\text{E}$ から $35^{\circ}30'1.6''\text{N}$ ,  $133^{\circ}46'35.5''\text{E}$ の範囲内の2000mの汀線区間で2010年4月, 7月, 10月, 2011年2月に調査した。中型製品ごみとは原形の半分以上をとどめた定形ごみで、ペットボトル<sup>[17]</sup>、液体の界面活性剤用プラスチック容器<sup>[6]</sup>、栄養ドリンク瓶<sup>[5]</sup>、一升瓶を除く容積300mL以上の中容量の酒瓶<sup>[5]</sup>、ライター<sup>[18]</sup>、長径15cm以下の外縛り、中通し、外穴型の3種の小型

漁業用フロートで、これらの品目の定義および3種のフロートの写真<sup>[19]</sup>は引用文献にある。また小型漁業用フロートより大きな中空および発泡体フロート<sup>[19]</sup>も同時に調査し、分けて分析した。調査の実施法は長さ10.00mのロープの両端に棒を取り付け、デバイダーのように片側の棒だけを交互に移動し、100m毎にGPSで位置の再確認を行い、汀線10m区間の見られるごみを撤去せずに個数だけを調べ、一定の汀線距離の堆積数として分析した。

漂着ごみ量は調査期間中の砂浜の奥行幅が25m以上であった6海岸の調査地で、それぞれ隣接250mの2区画に分けて調査した。各調査地の西側の位置は弓ヶ浜の35° 29′ 9.2″N, 133° 16′ 48.7″E, 北条砂丘西の35° 30′ 5.7″N, 133° 44′ 13.3″E, 浜村砂丘の35° 31′ 5.2″N, 134° 2′ 6.6″E, 伏野海岸の35° 31′ 44.3″N, 134° 8′ 17.1″E, 鳥取砂丘西は35° 32′ 25.6″N, 134° 11′ 54.6″E, 鳥取砂丘東は35° 33′ 22.8″N, 134° 15′ 47.2″Eで、西端の各点から東に500mの区間を2等分して隣接2区画とした。これらの海岸の略地図は既に報告しているが<sup>[5]</sup>, 調査地の中央の位置と鳥取の三大河川の河口との直線距離は、弓ヶ浜で日野川河口から西約9.1km, 北条砂丘西は天神川河口の西約10.7km, 浜村砂丘は千代川河口の西約14.4kmで伏野海岸は西約5.6km, 鳥取砂丘西は千代川河口の東約0.6kmで鳥取砂丘東は東約6.7kmである。調査したごみ種は、前記の6種の中型製品ごみに農薬用の紛体および液体用プラスチック容器<sup>[6]</sup>, 喘息薬容器を除く化粧品, 殺虫剤, 塗料, プタンガス用などの耐圧金属缶<sup>[6]</sup>の2種を加えた8種の中型製品ごみと, 大型ごみとして長径15cm以上の中空と発泡体フロート<sup>[19]</sup>, および直径6mm以上で長さ約0.3m以上のロープ<sup>[16]</sup>で、撤去を伴う毎月の調査を2010年4月から2013年3月まで行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 漂着量と堆積量の相違, および調査範囲と測定値の評価法

海浜ごみには、観光客や釣り人などによる海浜での現場投棄ごみと、遠方の陸上や海上で投棄され、海を経る漂着由来ごみに大別される。漂着由来ごみと現場投棄ごみの比率の推測法については屋内用の1L以上の大型ペットボトルと漂流中に沈むため海浜で投棄されたタブ型飲料缶を要素とする重回帰分析によって<sup>[20]</sup>, これらの砂浜での海浜ごみは主に漂着ごみであることを確認している。

海洋浮遊ごみは断続的に漂着するが、漂着したごみは海水面の上下や風などで断続的に海浜から流出する。潮汐による海水面の変化が大きい海浜では、海水面が低下する過程で漂着したごみが、海水面が上昇するにつれて浮き上がって流出する。このため干満差の大きな海浜では、1日の内でも海浜ごみ量が大きく変化する<sup>[9, 21]</sup>。しかも流出速度はごみ種によって相違するため<sup>[22]</sup>, 時間の経過と共にごみ量も組成も変化する。すなわち堆積ごみ量とは、調査時点で海浜上に残っているごみ量で、海浜の汚染度を示すにすぎない。したがって堆積ごみ量の単位に時間の次元は含まれず、汀線長さ当たりとなる<sup>[14]</sup>。

漂着量とは、流れ着くごみ量の一定期間の積算値で、積算時間と汀線長さ当たりが単位となる<sup>[5]</sup>。流れ着くごみ量であるため、流出速度が速い潮汐の大きな海岸での測定は困難である。また風によっても容易に流出する発泡ポリスチレン破片などの測定も困難で、風移送を容易に受けるごみ種を除くと、潮汐変化の小さな日本海側では、1ヶ月間に新しく堆積する漂着由来ごみ量が、1ヶ月間の漂着量の近似値となる<sup>[21]</sup>。1ヶ月ごとの調査の間に予期しない海岸清掃があっても、それが調査の直後であれば、次月の調査値に大きな影響を与えない。したがって、連続12ヶ月間の調査量の合計はほぼ1年間の漂着量とみなせる。このため、ここでは1ヶ月間の新しい堆積ごみ量を月間漂着量、12ヶ月の連続調査による月間堆積量の積算値を年間漂着量と略記した。

漂着ごみ量や堆積ごみ量の定量的な科学調査の目的は、調査地のある海岸一帯に流れ着くごみ量、すなわち漂着量や、海岸一帯のごみ汚染度の指標値、すなわち堆積ごみ量を得ることである。ただし、これらの海浜ごみは汀線方向に不均一に分布している。このため任意の範囲の測定値が海岸一帯のごみ量の指標値として、どの程度の信頼性を持つかを評価する方法が必要となる。しかし、調査範囲や調査値の妥当性を評価する方法は今まで報告されていない。そこで著者らは図1のように複数の調査区画で、同日に同じ基準でごみ量を測り、その内の2区画でのごみ量から、式1で示す過剰率を計算し、それによって信頼度を評価することを提案する。すなわち、2区画でのごみ量の偏りが小さいと過剰率が小さくなり、調査範囲は適切で、その調査値は調査地を含む海岸一帯のごみ量の指標値として信頼性が高いとみなすこととする。ただし、海岸の範囲は様々で海浜ごみの種類も多く、ごみ量は季節や調査海岸によって大き

く異なるため、常識的な分析手法の導入は不可能で、ここでは過剰率で測ることが適切と判断している。この過剰率での比較は、ごみ量の偏りが分かりやすい利点を持つ。

$$\text{過剰率(\%)} = \left| \frac{\text{A区画の量} - \text{B区画の量}}{\text{A区画の量} + \text{B区画の量}} \right| \times 100 \quad (1)$$

(A区画の量=B区画の量=0 の場合は分析から除外)

### 3.2 中小微細な人工素材堆積ごみの汀線距離 5m の同時調査

汀線距離が5mあるいは10mでの堆積ごみ量の調査が主に日本で行われているが、この調査範囲の妥当性の評価を試みた。汀線距離5mの範囲における0.02gのレジンペレットから0.5kg程度までの人工素材ごみの堆積量は図1の方法で同時に調査した。この調査での総数は110,328個、総重量は268,025g、1個当たりの重量は2.4gである。この調査は1月から12月までのすべての月に行ったので、年平均の堆積数(cps)を100m(hm)当たりで記すと $17 \times 10^3$ pcs/hm、年平均の堆積重量は41kg/hmとなる。この内の製品ごみの堆積数は46,270個で総数の半分以下の42%であるが、重量は181,472gで総重量の68%を占める。製品ごみから平均重量が0.02gのレジンペレットを除くと、堆積数は総数の9.7%の10,684個と著しく少なくなるが、重量は180,760gであまり減少しない。1個当たりの重量は、破片で1.4g、製品ごみで3.9g、製品ごみからレジンペレットを除くと1個当たりの重量は17gである。

表1 汀線距離5mの2区画における中小微細な人工素材堆積ごみ

2区画の間隔	0m(隣接)	5m	15m	25m
2区画比較の組数	48	27	18	9
合計個数	95,245	23,261	15,083	7,448
合計重量(g)	208,971	91,016	59,054	30,354
製品ごみ合計個数 <sup>1)</sup>	41,866 (44)	6,758 (29)	4,404 (29)	2,191 (29)
製品ごみ合計重量(g) <sup>1)</sup>	140,789 (67)	61,068 (67)	40,683 (69)	22,622 (75)
平均個数過剰率(%) <sup>2)</sup>	16 (0.60)	9 (0.68)	15 (0.62)	20 (0.63)
平均重量過剰率(%) <sup>2)</sup>	22 (0.55)	27 (0.67)	25 (0.49)	36 (0.65)
製品ごみ平均個数過剰率(%) <sup>2)</sup>	19 (0.67)	12 (0.56)	21 (0.44)	28 (0.53)
製品ごみ平均重量過剰率(%) <sup>2)</sup>	26 (0.57)	34 (0.70)	31 (0.56)	46 (0.62)
破片平均個数過剰率(%) <sup>2)</sup>	6 (0.67)	8 (0.75)	15 (0.54)	19 (0.55)
破片平均重量過剰率(%) <sup>2)</sup>	14 (0.71)	21 (0.62)	24 (0.58)	19 (0.44)

1) 括弧内の数値は合計個数あるいは合計重量の内のパーセント

2) 括弧内の数値は変動係数

表1に2区画同時調査の結果と平均の過剰率を

まとめた。大きさや重量がさまざまな海浜ごみの比較は個数ではなく、重量で行うべきである。しかし個数に比べて重量の平均過剰率は大きい。さらに破片より製品ごみで大きく、隣接2区画調査での製品ごみの重量過剰率の平均は26%で、これは両区画のごみ重量がかなり異なる63:37の比を示すが、破片の個数過剰率の平均は6%と小さく、これは53:47の個数比の偏りを意味する。平均の重量過剰率は調査間隔を広げると大きくなり、25m間隔の調査では46%となる。したがって、汀線距離5m範囲の1地点からの調査値には、調査地のある海岸一帯の指標値としての信頼性はない。

製品ごみの重量過剰率は大きいですが、製品ごみに含まれるレジンペレットの重量は著しく少ない。この結果は製品ごみの大きな重量過剰率の原因はレジンペレット以外の製品ごみにあることを示す。レジンペレットを除く製品ごみの1個当たり17gと重く、数は著しく少ない。すなわち狭い範囲での調査では、数の少ない重いごみの分布の偏りが重量の過剰率を大きくしていることが分かる。したがって、重量過剰率を小さくするためには、数の少ない重いごみの分布の偏りが小さくなるように、十分に広い範囲の調査を行うことが必要である。

レジンペレットを調査の下限とすると、膨大な数の微細ごみの調査が必要で、労力が過大となり、調査範囲を大きく広げることができない。これは調査する対象に微細ごみを加えると、調査地を含む海岸一帯の信頼できるごみ量の測定値が得られないことを意味する。この調査でのレジンペレットは総数の32%を占めるが、合計重量はわずかに712gで、総重量の0.3%にすぎない。さらにプラスチックの成形品・袋・シートなどの微細な破片数は膨大で、ストロー、キャップ、発泡ポリスチレンの破片などにも小型の軽量物が多く含まれる。これらは重量への寄与が小さく、しかも排出由来国の同定率は低く、飛砂埋没や風移送を受けやすい。これらの5品目を除くと、総個数の18%の $3.0 \times 10^3$ pcs/hmまで少なくなる。それでも総重量の78%の32kg/hmが残る。しかも微細なレジンペレットや民生ごみから多く発生する浮遊性のプラスチック破片の素材はポリオレフィンで、漁業用品の素材として多いポリ塩化ビニルの破片は海底下にある。したがって、重要性のない破片や部品などを調査からの除き、製品ごみ種に限ることで、調査地を含む海岸一帯の信頼できる測定値を得ることができる。ここでは調査対象として適切な具体的なごみ種についての論及は行わないが、それぞれ



の排出分野を代表し<sup>7)</sup>、定義が明快で、3次元の相似形の定形ごみ種を調査対象に選ぶことが重量の推定に重要である。なお、プラスチックの微細破片や野焼きからの熔融固化物や工場からのレジンペレットには生物による誤食や有機塩素化合物の濃縮などの指摘があるが、ここではそれらの個別の調査法は検討していない。

### 3.3 汀線距離 2000m の砂浜における中型製品堆積ごみ 6 種の分布

数が少なく重い製品ごみの分布の偏りが、前記の重量過剰率を大きくする主因であるが、それらの製品ごみの多くは相似形で、個数調査による堆積数と平均推定重量から堆積重量を計算できる。製品ごみの多くは容器類で、それらには内容物を含むものが多い。したがって、それらの正確な重量を海浜現場で測るより、上記の方法による測定精度の精度がはるかに高く、さらに個数調査に要する時間は著しく短く、十分に長い汀線距離の調査が可能となる。ここでは中型で個数の多い代表的な製品ごみを選び、1個当たりの平均重量が約11gのライターから、それより重いペットボトル、3種の小型漁業用フロート、液体の界面活性剤用プラスチック容器、栄養ドリンク瓶、最大約0.5kgまでが含まれる中容量の酒瓶までの6種についての堆積数の調査を、北条砂丘海岸の2000mの砂浜で4月、7月、10月、2月の四季に行った。前記の汀線距離5mの調査でのこれらの中型製品ごみ6種は、堆積ごみ総数の0.5%の509個で、年平均堆積数は77pcs/hm、総重量の16%の43,369g、1個当たりの平均重量は85gである。ここでの4回の延べ8000mの調査での合計堆積数は7071個で、6種のごみ組成に大きな相違はなく、平均堆積数は88 pcs/hmで、これらは汀線距離5m調査の年平均堆積数と大きく相違しない。両調査での堆積数とごみ種の組成が近いことは、これらの中型製品ごみの信頼できる堆積量の測定には、汀線5mの延べの調査距離、すなわち隣接2区画と4区画同時調査のそれぞれ48回と9回の調査範囲を合計した汀線距離の660m程度の調査が必要であることを示唆する。

中型製品ごみ6種の四季の堆積数の分布を連続した汀線距離50mごとの40区画で並べ、図2に示す。いずれの季節の調査でも、区画ごとの堆積数もごみ組成も変動が大きく、調査する汀線距離を50mとしても、その海岸全域の堆積数の信頼できる指標値が得られない。春期では第16区画前後に

低比重ごみの異常に多い地点があり、これは数カ所のすり鉢状に窪んだ地形に空のペットボトルが吹き寄せられていたことによる。漂着後の堆積ごみは通常、強風や波の遡上で排水口下の窪地やコンクリート残骸、太い木や大型重量ごみの周囲に集められる。さらに、その分布はカस्पや浜崖基部の地形にも依存する。したがって、堆積ごみ量の測定ではこれらの影響を小さくするために、50mをこえる十分に長い汀線距離の調査が必須である。

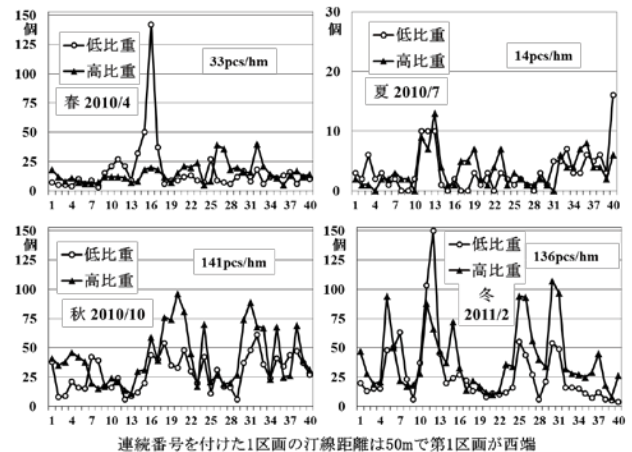


図2 北条砂丘海岸での低比重および高比重の中型製品ごみの堆積分布

秋期の堆積数は141pcs/hmで、秋以降も漂着の多い季節であるが<sup>[5, 16-18]</sup>、翌年の冬は136pcs/hmで堆積数は増えていない。これは漂着したごみが単純に蓄積して増加を続けるのではなく、漂着と海への再流出が同等に起こっていることが分かる。この事実は、堆積ごみ量とは調査時点の海浜に残っている量で、漂着量と異なる値であることを示す。

風だけで動く可能性のあるペットボトルと界面活性剤容器を低比重ごみとみなし、強風でも移送されにくいライター、小型フロート、ドリンク瓶、中型酒瓶を高比重ごみとすると、春期の14区画から17区画までを除いても、低比重ごみと高比重ごみの堆積数の相関係数は0.01と低く、晩冬の強風で低比重ごみだけが移送を受けていると思われる。他方で、多漂着期の秋と冬期の低比重ごみと高比重ごみの40区画での堆積数の相関係数はそれぞれ0.64と0.61と高い。秋と冬期の低比重ごみの割合はいずれも同じ41%であるが、秋と冬期の低比重ごみの堆積数の変動係数はそれぞれ0.44と0.70である。ただ一見して分かるように、冬期は低比重ごみも高比重ごみも堆積数の偏りが大きく、

それらの位置のパターンは秋期と大きく異なっている。すなわち、すなわち、図2の漂着数の不均一性は、汀線距離が50mの調査では、その海岸一帯の漂着数に近い指標的な値が得られないことを示している。

汀線距離を250mと500mと広げて比較した結果を表2で示す。すなわち、起点から250m地点までと250mから500m地点までを隣接2区画同時調査とみなし、250mから500mまでと500mから750mまでを次の調査とみなし、終点までの7比較の過剰率の平均値、さらに同様なやり方で500mに広げた過剰率を示した。隣接250m区間では春期以外の平均過剰率が20%より高く、調査距離が不十分である。隣接500mとして比較した過剰率は風や清掃の影響を受けた春夏期で高いが、多漂着期の秋と冬期の調査で小さい。それでも平均が10%を超えることから、中型製品ごみ6種の調査地を含む海岸一帯の堆積数の信頼できる指標値を得るためには、汀線距離500mの調査では十分とは言えないと結論できる。

表2 北条砂丘海岸の中型製品堆積ごみの隣接2区間での過剰率

調査季節	中型製品ごみ6種の堆積数	隣接250m区間の過剰率の平均(%) <sup>1)</sup>	隣接500m区間の過剰率(%)			
			0m-1000m	500m-1500m	1000m-2000m	平均
春	1255	17 (0.66)	44	18	8	23
夏	270	32 (0.67)	43	40	45	43
秋	2828	23 (0.63)	15	5	16	12
冬	2718	28 (0.61)	14	4	24	14

1) 隣り合う250mごとの区間の堆積数を比較した過剰率の平均値で括弧内は変動係数

### 3.4 大型フロートの堆積数の分布

中型製品ごみ調査と同時に長径15cm以上の大型フロートの調査も行った。4月の大型フロートの堆積数は165個であるが、図3で示すように、その内の117個が東側の汀線1000mの範囲に見られる。これは東側の清掃を担当する集落が大型フロートの撤去を怠っていたことを示す。ただし大型重量ごみの撤去が困難なほどに高齢化している地域もあるが、7月の調査では15個に減った。秋以降は多漂着期で、10月は33個の1.7 pcs/hm、2月は71個の3.6 pcs/hmと堆積が増えている。ところで、同時に行った中型製品ごみ6種の秋冬期の堆積数はほぼ同等で、漂着数と流出数は同程

度であったが、大型フロートは冬期で増えた。この結果はごみ種によって漂着数と流出数が異なることを示す<sup>[22]</sup>。

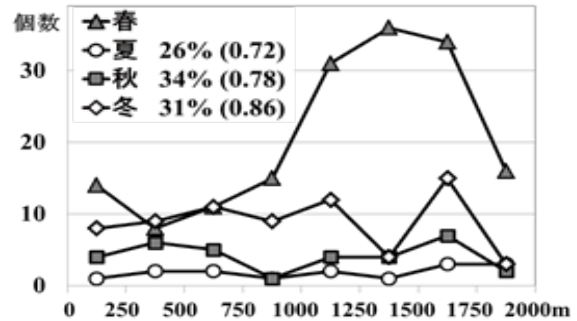


図3 大型フロートの汀線250m区画毎の分布と過剰率

隣接250mの同時調査とした場合の過剰率の平均と変動係数を図3の凡例内に示した。春期は除いてあるが、いずれも平均過剰率が30%前後で、調査する汀線距離が250mでは不十分であることを示す。汀線距離を500mとすると、夏、秋、冬期の平均過剰率はそれぞれ11%、15%、8%に低下する。堆積ごみについては、これ以上の検討を行っていないが、調査地を含む海岸一帯の堆積ごみ量の信頼できる指標値を得るためには、中型製品ごみ6種と同様に、少なくとも500mの汀線距離、望ましくはそれ以上の調査範囲が必要である。ただし、予期せぬ人為的な乱れや、時々見られる異常な大量漂着があった海岸もあるため、下記の漂着ごみ量の測定と同じように複数の海浜で汀線距離500m程度の調査を行うことが適切であると思われる。

### 3.5 中型製品ごみの漂着数と調査範囲

海への浮遊ごみの排出量が増すと、海洋浮遊ごみの密度が上がり、漂着が増加する。ただし、国や地方によって製品の消費に偏向があることにも注意が必要である<sup>[7]</sup>。また消費や投棄の季節性、漂流経路や漂流に必要な時間もそれぞれの排出地とごみ種によって異なる<sup>[5, 17, 18]</sup>。したがって、各地での投棄から漂着に至る経緯を探るためには、短期間あるいは月ごとに変化する漂着ごみ種の量と由来地域を調べることが重要となる<sup>[17, 18, 20]</sup>。すなわち、各国からの漂着量の季節変化を測り、排出量の増減は1年間の漂着量で比較しなければな

らない。ここでは6海岸の汀線距離500m区間をそれぞれ東西250m区画に2分し、両区間への毎月の漂着数を3年間にわたって調べた。調査地の6海浜のすべてが北向きの砂浜であるため、東側250m区間と西側250m区間のそれぞれへの漂着数の合計から過剰率を求めた。各調査地での3年間での同じ月の調査は延べ750mの汀線距離の調査に相当する。各月の6調査地の漂着数の合計は延べ1500m区間の調査に相当し、各調査地の12ヶ月の各年度の調査は延べ3000m、3年間では9000m、6調査地合計での各年度は延べで18000m、3年間では延べ54000mの汀線区間の調査に相当する。

表3 隣接東西250m区間の36回の中型製品ごみの月次調査の漂着数での過剰率

調査海岸	鳥取砂丘東	鳥取砂丘西	伏野海岸	浜村砂丘	北条砂丘西	弓ヶ浜	6海浜計
平均過剰率(%) <sup>1)</sup> (変動係数)	16 (0.94)	22 (0.94)	24 (0.77)	19 (0.83)	24 (0.84)	27 (0.62)	13 (0.75)
10年度 <sup>2)</sup>	0	8	4	14	2	17	1
11年度 <sup>2)</sup>	3	2	12	3	10	32	7
12年度 <sup>2)</sup>	8	1	0	12	2	9	4
3年間 <sup>2)</sup>	6	1	2	7	4	19	2
日本由来物 <sup>3)</sup>	6	3	8	7	7	14	2
朝鮮半島由来 <sup>3)</sup>	2	7	2	4	1	17	1
中国・台湾由来 <sup>3)</sup>	2	9	6	5	3	22	3

- 1) 36回の月間漂着量の過剰率の変動係数と平均過剰率
- 2) 東と西区間のそれぞれへの漂着数の合計数からの過剰率
- 3) 3年間の東と西区間のそれぞれへの漂着数の合計数からの過剰率

ごみ種は前記の北条砂丘海岸で調べた中型製品ごみ6種に農薬プラスチック容器と耐圧金属缶を追加した。これら8種の中型製品ごみの、6調査地の500m区間に漂着した36ヶ月間の総数は45,257個で、汀線100m区間への1年間当たりの漂着数は503pcs/(hm・Y)、2品目を加える前の6種に限ると総数は42,924個で、平均年間漂着数は477pcs/(hm・Y)である。中型製品ごみ8種の総数の日本由来数の割合は27%、朝鮮半島由来は17%、中国・台湾由来は20%、由来地域不明は36%、ロシアと東南アジア由来ごみ数は合計で0.5%である。

表3にまとめた結果を示す。各調査地での各月の漂着数の過剰率は平均で16%から27%で、変動係数も小さくない。したがって汀線距離250mの1地点の1ヶ月間の漂着数の調査では、調査地のある海岸の月間漂着数の指標としての信頼性は高くない。汀線距離1500mの調査に相当する6調査地の

月間漂着数の合計では、平均の過剰率が13%で、この偏りは56.5:43.5である。信頼度は十分に高くはないが、ここでの実際の調査は汀線距離500mの6調査地で、延べ3000mの調査であるため、信頼度は上記より高い。月間漂着数は漂着数の季節変化を知るために重要で、それについては後記する。

連続12ヶ月の月間漂着数の合計である年間漂着数での過剰率は、弓ヶ浜を除くと0%から14%の範囲で、大半の過剰率は10%以下である。これは、調査地のある海岸一帯への年間漂着数の指標として、ほぼ信頼性のある調査値が得られることを示している。ただ、弓ヶ浜での高い過剰率の原因は不明であるが、予期せぬ海岸清掃などの影響も軽減するためには、複数の海岸で調査をすることが重要である。弓ヶ浜を加えた6海浜の合計漂着数では、2010年度から2012年度までそれぞれ過剰率が1%、7%、4%で、いずれも信頼性があると評価できる。また3年間の合計では2%の過剰率である。

### 3.6 中型製品ごみの由来国別および月別の漂着数

漂着量の由来国別割合の調査には高い信頼性が必要である。各調査地の日本、朝鮮半島、中国・台湾の由来国別の3年間の漂着数で比較した過剰率は、弓ヶ浜を除き、1%から9%の範囲の信頼度で、3年間の6調査地の合計で比較した過剰率は1%から3%と信頼度は高い。6調査地の合計での月間漂着数の信頼性はあるが、1海岸の汀線距離250mへの月間漂着数での過剰率が高く、その結果の信頼性は不十分である。

表4 中型製品ごみ8種の6調査地の3年間の隣接東西250m区間への月別合計漂着数と過剰率

過剰率(%)	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
平均月間漂着数 <sup>1)</sup>	27	28	21	18	17	69	43	101	60	52	35	31
隣接区間漂着数 <sup>2)</sup>	4	1	4	12	19	18	1	7	2	8	19	25
当月-翌月間 <sup>3)</sup>	2	14	10	2	61	23	41	26	7	19	6	6 <sup>4)</sup>

- 1) 単位はpcs/(hm・M)
- 2) 3年間の各月の6海岸の調査地のそれぞれ東および西区間の合計漂着数での過剰率
- 3) 該当月の東西2区間の合計漂着数と翌月の合計漂着数で比較した過剰率
- 4) 3月-4月で比較した過剰率

表4に6調査地での各月の3年間の東西2区画への合計数から求めた過剰率と当月-翌月間の変化による過剰率で示した。多くの月で当月-翌月間の過剰率より、東西2区画での過剰率が小さい。すなわち、これらの月の調査値は海岸一帯の漂着数としての信頼性が高く、それに比べて前後の月



の漂着数の変化が大きいことから、漂着数の月変化に対する信頼性は高い。他方、晩冬から初夏の4ヵ月で当月-翌月間の過剰率より、東西2区画での過剰率が大きい。しかし、これらの期間の合計漂着数は総数の22%にすぎない。漂着数の少ない季節の月間漂着数の変化に対する信頼性は高くないが、漂着数が少ないため、季節変化の全体の傾向としての信頼性は高いと判断できる。同じように、各年の6海浜での漂着数の調査でも、季節変化の傾向を示す指標の信頼性は損なわれていない。なお500m区間への主要ごみ種の月間漂着数の標準誤差について報告しているので<sup>[5,18]</sup>、ここではこれ以上の論及はしない。

### 3.7 大型フロートとロープの汀線距離250mでの漂着量

大型フロートや長いロープの漂着数は少ないが、極めて年間漂着重量の大きなごみ種である<sup>[16,19]</sup>。ここでは中型製品ごみの調査と同時に長径15cm以上の大型フロートと直径6mm以上のロープの調査も行った。その結果を表5に示す。大型フロートの6調査地での3年間の総漂着数は1,096個で、年間平均漂着数は12pcs/(hm・Y)と少ない。調査地ごとの各月の平均の過剰率は38%から66%で、漂着数の少ないごみ種には250mより十分に長い汀線距離の調査が必要である。延べ1500mの汀線距離の調査に相当する6調査地の合計数からの平均過剰率は21%と低くなるが、この地域の海岸への月間漂着数の指標としての信頼性は不十分である。単一の海浜での12ヶ月の調査は汀線距離3000mの調査に相当するが、各年の18組の過剰率の値の半数は11%以下となる。しかし、弓ヶ浜や伏野海岸では40%以上の年度もあった。3年間の値では4地点で11%以下となるが、伏野海岸と弓ヶ浜はそれぞれ22%と41%である。訪問者が大型フロートを移動することも原因として否定できないが、なるべく多くの海岸で調査することが肝要である。6調査地の合計でみると、各年度の年間漂着数の過剰率は2%から12%で、3年間の合計での過剰率は9%となる。これは汀線距離250mの調査であるが、実際には2区間合計の500mの調査であるため、その調査結果の信頼性はあるとみなせる。

ロープの総漂着数は3年間で11,537本、総重量は3,382kgである。年間の平均漂着数は128pcs/(hm・Y)で、年間の平均漂着重量は38kg/(hm・Y)である。本数の大半は短いロープであるため、調査地ごとの36回のロープの漂着本数の平

均の過剰率は大型フロートより小さい。しかし調査地を含む海岸一帯への月間漂着数の指標としての信頼性は不十分である。6調査地の合計での月間漂着数での過剰率は平均17%で、この地域の海岸の月間漂着数の指標としての信頼性は足りない。しかし既報の図で示したように、おおまかな季節変化の傾向についての信頼性はある<sup>13)</sup>。各年度でみると、本数の過剰率は調査地によって著しく異なり、鳥取砂丘東や北条砂丘西では小さいが、鳥取砂丘西や伏野海岸で大きい。ロープは比重がほぼ同じ特長を持つが、特定の海岸で過剰率が大きい原因は不明である。したがって、複数の海岸で調査することが重要で、6調査地の1年間の合計からみた過剰率は0%から6%で、3年間の合計数での過剰率は4%である。

表5 大型フロートとロープの隣接東西250m区間の月次調査量で比較した平均過剰率(変動係数)と各年度の合計量と3年間の合計量からの過剰率

ごみ種	大型フロート	ロープ本数 <sup>1)</sup>	ロープ重量 <sup>2)</sup>
鳥取砂丘東	平均過剰率(変動係数) 45(0.90)	20(0.95)	39(0.68)
10年度	11	1	26
11年度	5	1	46
12年度	24	2	9
3年間合計	11	1	25
鳥取砂丘西	平均過剰率(変動係数) 42(0.94)	31(0.70)	55(0.57)
10年度	5	22	23
11年度	29	20	34
12年度	25	13	24
3年間合計	2	10	7
伏野海岸	平均過剰率(変動係数) 52(0.72)	31(0.72)	53(0.57)
10年度	5	22	13
11年度	40	33	40
12年度	28	20	76
3年間合計	22	13	49
浜村砂丘	平均過剰率(変動係数) 53(0.79)	30(0.78)	55(0.49)
10年度	5	10	54
11年度	5	5	30
12年度	21	11	29
3年間合計	11	4	6
北条砂丘西	平均過剰率(変動係数) 38(0.92)	22(0.81)	40(0.72)
10年度	6	5	21
11年度	17	6	24
12年度	3	2	2
3年間合計	9	3	3
弓ヶ浜	平均過剰率(変動係数) 66(0.54)	38(0.89)	55(0.59)
10年度	16	16	51
11年度	54	31	60
12年度	10	0	66
3年間合計	41	13	25
6海浜計	平均過剰率(変動係数) 21(0.94)	17(0.65)	32(0.67)
10年度	2	6	21
11年度	11	0	2
12年度	12	4	15
3年間合計	9	4	12

1) 直径6mm、長さ0.3m以上を調査

2) 比重を0.67g/cm<sup>3</sup>として長さから重量を算出

ロープの漂着重量の過半は太くて長いロープが占める。しかも、長いロープは互いに絡まり、塊状で漂着することが多い。その結果、各調査地の

月間や年間の漂着重量の過剰率は著しく大きい。延べ1500mに相当する6調査地の合計での月間漂着重量の過剰率の平均は32%と大きいですが、それでも既報で示したようにおおまかな季節変化の傾向を見みることにはできる<sup>13)</sup>。調査地ごとの12ヶ月の調査値の過剰率も高いが、3年間の調査では調査地によるばらつきが大きく、3調査地では10%以下となるが、他の3調査の値は25%から49%であった。6調査地での12ヶ月の調査は延べ18000mの汀線距離の調査に相当するが、各年度の過剰率は2%から21%で、3年では12%で、その重量比は56:44である。ここでは信頼度の目安を過剰率10%としたが、実際の調査は汀線距離500mで行われているため、この調査結果はこの地域の海岸への年平均の漂着重量の指標としての信頼性があると考えている。ただし、各年の漂着量の変化を確認できるほどの信頼性はない。各年の漂着重量の変化を知るためには、さらに調査地点を追加するか、調査範囲を広げることが必要と思われる。

#### 4. 結論

今まではボランティアによる定性的な調査が主であったが、海洋浮遊ごみと海浜ごみの監視と管理には定量的な調査が不可避である。特定の狭い範囲の海浜のすべてのごみの量を正確に測っても、それがその海岸一帯のごみ量の指標値となる保証はなく、他の海岸のごみ量と比較することはできない。したがって、調査地のある海岸一帯のごみ量の指標値として信頼できる測定値を得ること必須で、それによってその海岸一帯のごみ量の季節変動や経年変化、あるいは他の海岸のごみ量との比較が可能となる。ここでは信頼度を測る方法として過剰率を導入した。過剰率を10%以内にするためには、十分に長い汀線距離の調査が必要で、測定に時間を要する微細ごみを除くことが必須であった。したがって、調査するごみ種は排出国や排出産業を代表するごみ種から、定義が明確で個数調査から重量を計算できる定形製品ごみに限ることを提案する。堆積ごみ量の信頼できる指標値を得るためには、日本海側の海岸の複数の地点で少なくともそれぞれ汀線距離500mの調査を行うことが必要である。

漂着由来の海浜ごみ調査の目的は海洋浮遊ごみの削減である。各国での不適切なごみ処理によって浮遊ごみの流出が増すと、海洋浮遊ごみが増え、漂着量が増える。したがって日本での漂着ごみ調査から各国での不適切なごみ処理の状態や、新し

く実施された流出防止対策の実効性を評価できる。中型製品ごみの一部には製造年月日<sup>17)</sup>や詳細な地名情報<sup>18)</sup>があり、それらの情報を利用するとごみ流出地からの季節に依存する漂流経路も推測できる。ただし、漂着ごみ量の調査は環太平洋アジア諸国が一致して流出防止に向うために行われるべきである。そのためには調査に対する客観性と信頼性が不可欠で、漂着量と堆積量を分け、測定値の客観的な評価の可能な、科学的に検証された調査法が必須である。漂着量の季節変化までを知るためには、潮汐の小さな日本海側で、汀線距離500mの範囲の調査を毎月6海浜以上で行うことが必須である。著者ら以外に漂着ごみ量の調査は行われて来なかったが、この調査法の改良と調査地の拡大を行い、環太平洋アジア諸国の協調的な浮遊ごみ流出防止体制を構築することが、太平洋の浮遊ごみ汚染を軽減する喫緊の課題である。

#### 謝辞

この漂着ごみ調査において撤去したごみについて、その処分を行った米子市、北栄町（合併以前は北条町と大栄町）、鳥取市（合併以前は気高町、鳥取市、福部村）、および岩美町に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] UNEP: Regional Seas Programme, Marine litter, [http://www.unep.org/regionalseas/marine\\_litter/](http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/) (accessed 2014-October-31).
- [2] Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. and Barlaz, M.: Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments, *Philos. Trans. R. Soc., B, Biol. Sci.*, 364, pp. 1985-1998, 2009.
- [3] 環日本海環境協力センター: 各種報告書, [http://www.npec.or.jp/3\\_report/hk-tp.html](http://www.npec.or.jp/3_report/hk-tp.html) (accessed 2014-October-31).
- [4] 公益財団法人 海と渚環境美化・油濁対策機構: 発行物, <http://www.umitonagisa.or.jp/html/syuppan.html> (accessed 2014-October-31)
- [5] 岡野多門, 安東重樹: 海岸漂着ごみに与える地元投棄ごみと河川の影響, *廃棄物資源循環学会論文誌*, 23, pp. 232-239, 2012.
- [6] 岡野多門, 安本 幹, 安東重樹: 人工素材海浜ごみに対する台風の影響, *廃棄物資源循環*

- 学会論文誌, 21, pp.226-235, 2010.
- [7] 岡野多門, 安東重樹, 安本 幹: 難分解性海浜堆積漂着ごみの性質と分類, 棄物資源循環学会論文誌, 21, pp.94-105, 2010.
- [8] National Marine Debris Monitoring Program Rreport - UNEP:  
[http://www.unep.org/regionalseas/marine\\_litter/publications/docs/NMDMP\\_REPORT\\_Ocean\\_Conservancy\\_\\_2\\_.pdf](http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/publications/docs/NMDMP_REPORT_Ocean_Conservancy__2_.pdf) (accessed 2014-October-31).
- [9] Storrier, K. L., McGlashan, D. J., Bonellie, S., and Velander, K. : Beach Litter Deposition at a Selection of Beaches in the Firth of Forth, Scotland, *Journal of Coastal Research*, 23, pp.813-822, 2007.
- [10] Hong, S., Lee, J., Kang, D., Choi, H., and Ko, S.: Quantities, Composition, and Sources of Beach Debris in Korea from the Results of Nationwide Monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, 84, pp.27-34, 2014.
- [11] 山口春幸: 深刻な海岸漂着ごみ汚染, 月刊廃棄物, 第3号, pp.2-23, 2003.
- [12] 小畑健一, 敷田麻美: 石川県における海外ごみの分布と季節変動に関する研究, のと海洋ふれあいセンター研究報告, 第7号, pp.43-50, 2001.
- [13] Plastic Debris in the World's Oceans,  
[http://www.unep.org/regionalseas/marine\\_litter/publications/docs/plastic\\_ocean\\_report.pdf](http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/publications/docs/plastic_ocean_report.pdf) (accessed 2014-October-31).
- [14] 岡野多門, 安東重樹, 築田哲也, 安本 幹, 宮崎義大: 漂着堆積人工素材ごみの砂浜上の分布とその調査法, *環境科学会誌*, 25, pp.432-441, 2012.
- [15] 岡野多門, 築田哲也, 安本 幹, 池田圭吾, 安東重樹: 人工素材漂着ごみによる海浜汚染とそれを測る適切な単位, *環境化学*, 21, pp.69-74, 2011.
- [16] 岡野多門, 森田 晃: 漁業や海運用のロープによる海浜の漂着ごみ汚染, *環境科学会誌*, 26, pp.150-157, 2013.
- [17] 岡野多門, 安東重樹, 池田圭吾: 日本海に流入する海外からの飲料用ペットボトルの漂流経路, 棄物資源循環学会論文誌, 22, pp.285 - 292, 2011.
- [18] 岡野多門, 安東重樹, 安本 幹: 漂着ライターの地名情報からみた民生分野からの海域ごみの排出地, *環境科学会誌*, 24, pp.521-530, 2011.
- [19] 岡野 多門, 加藤 郁美: 東アジアからの漁業用フロートの漂着実態, 棄物資源循環学会論文誌, 24, pp.88 - 96, 2013.
- [20] 岡野 多門, 加藤 郁美: 漂着ごみからみた日本から流出する海洋浮遊ごみ, 棄物資源循環学会論文誌, 印刷中.
- [21] Velander, K. and Mocogni, M. : Beach Litter Sampling Strategies: is There a Best Method?, *Marine Pollution Bulletin*, 38, pp.1134-1140, 1999.
- [22] 岡野多門, 池田圭吾, 築田哲也, 鷹取正基, 安東重樹, 安本 幹: 海浜漂着人工素材ゴミの調査方法(2) 漂着ゴミの埋没と再露出および流出, 第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集I, pp.273-275, 2007.

(受理 平成26年11月25日)