【論 文】

漂着ごみから推定される日本から流出する海洋浮遊ごみ

岡 野 多 門*・加 藤 郁 美*

【要 旨】 海に流出した浮遊ごみの一部は海岸に漂着するため、漂着量は各国での固形廃棄物の管理体制の指標となる。ここでは日本からのごみの流出抑制を目的として、鳥取県の8海岸の延べ4 km 区間で、8年間半の毎月の漂着ごみ量を測定した。その結果、漁業ごみが最も多く、ロープ、フロート、20 L プラスチック容器の3種の年間平均漂着重量は約 65 kg/(hm・y) であった。日本製漁具は少なかったが、飲料や洗剤、調味料容器、耐圧缶、およびライターの民生ごみの年間平均漂着重量は約 28 kg/(hm・y) で、その約半分が日本のごみであった。最も深刻な日本ごみは小型のペットボトルで、近くの河川流域と海浜周辺で投棄されていた。この2つの投棄地からの漂着数の比は大型ペットボトルとタブ型飲料缶を説明変数とする重回帰分析で推定できる。これは漂着数と海浜での投棄数を推定するための初めての方法で、実効性のある排出防止対策の実施に利用できる。

キーワード：海洋浮遊ごみ、漂着ごみ量、ごみ排出、固形廃棄物管理、漂着ペットボトル

1. 序 論

固形廃棄物の管理体制が十分に整備されていないと投棄や漏出が起り、海に流出した浮遊ごみの一部は自国だけでなく、他国の海岸にも流れ着くこととなる。したがって、各国から流れ着くごみの調査は、各国の固形廃棄物の管理体制の改善に役立つといえる。日本は環太平洋アジア地域を流れる海流の下流に位置し、偏西風の風下に位置するため、国外からも多くのごみが漂着する¹⁻⁴⁾。しかし人口の最少県である鳥取においても多くの日本ごみが流れ着いている^{2,5,6)}。日本では海岸清掃が活発に行われている^{7,8)}にもかかわらず、国外ごみも日本ごみも減る傾向はみられない^{2,6,9)}。これは日本を含めた環太平洋アジア諸国に新たに有効なごみの流出防止策が必要であることを示している¹⁰⁾。

不法にごみを捨てるのは、通常、隠れたところで行われる。したがって机上の対策ではなく、実際に流れ着くごみ種と量から対策を考え、さらに実施後の再調査から

対策の改善策を再考することが必要である。海岸に溜まっているごみ量を測る堆積ごみ調査は世界各地で盛んに行われているが^{7,8,10)}、流出するごみ量を反映する流れ着く量、すなわち漂着ごみ量の調査は今まで著者ら以外に行われてこなかった。すでに著者らは排出抑制を考える観点から、海浜ごみの分類法¹⁾、台風⁵⁾と近隣河川の水位や風波の漂着に対する影響¹¹⁾、さらにペットボトル³⁾、ライター²⁾、漁業由来^{4,12)}および医療衛生用品⁹⁾等のごみ種についての国別漂着量について報告してきた。ここでは日本から流出の多い、民生由来と農業由来のごみについて、国外由来ごみと比較した漂着量、それらの漂着までの流路、および日本での流出抑制対策に必要な要素について報告する。

流出抑制対策に寄与するためには、各国からの年間の漂着量の信頼できる測定値が必須である。しかし、各国から漂着するごみ種と量は季節によって異なり、漂着したごみはやがて海岸から流出する^{13,14)}。したがって時点の特定された国別の堆積ごみ量は各国からの年間の排出量を反映していない。このため堆積量調査では国別の量を記載しない例が多い。すなわち、海岸に堆積するごみはごみ種の数だけある“入水量と出水量が異なる穴あきバケツモデル”に例えられるといえよう。バケツに溜まっている水量が堆積ごみ量に相当し、それは入水量に当たる漂着ごみ量ではない。このような系では、あらか

原稿受付 2014. 7. 9 原稿受理 2015. 2. 13

* 鳥取大学工学部環境化学工学研究科

連絡先：〒 680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101

鳥取大学工学部環境化学工学研究科 岡野 多門

E-mail: okano@chem.tottori-u.ac.jp

じめ測定するごみ種を撤去し、その後に順次漂着を続けながら、その一部は流出するが、流出数が漂着数に比べて十分に少ない期間内の数を漂着数の近似値とする方法が常法である。このような調査を1年間続けて行うことで、年間の漂着数を求めることができる。しかし、連続調査の間隔はごみ種の流出速度によって制限される。最近、浮遊ごみの接近や漂着を随時モニターできるカメラやレーダーの使用が行われているが^{15,16)}、しかし遠方のカメラから流れ着いた種々のごみの排出国を示す文字やバーコードをすべて正しく識別することは不可能である。したがって、これらの方法は各国での固形廃棄物の管理体制の改善を目的とする調査には適さない。ごみの由来国を示す印字やバーコードを正確に確認するためには、観測者による調査が不可避である。その調査間隔を1ヶ月とすると、漂着後に海岸から半数が流出するまでの期間、いわゆる半減期が1ヶ月以上のごみ種については、漂着量の近似値の測定が可能となる。海岸からごみが流れ出すことは報告されていたが¹³⁾、しかし著者らの調査の開始前には漂着後の流出による半減期の測定は行われていなかった。そのため、2006年から流出速度が遅いと想定できる潮汐変化の小さい鳥取県の砂浜で実際の漂着物の半減期を測定し、漂着ペットボトルは約1ヶ月、ライターと栄養ドリンクびんは約3ヶ月であることを確認してきた^{14,17)}。さらにこれと定性的な分析を合わせて測定可能なごみ種を確定した。最近、東京都の新島でフロートの滞留期間が209日と報告されたが¹⁸⁾、この値はライターや栄養ドリンクびんの半減期と大きく相違しないと思われる。

各国からの漂着量の信頼できる測定のためには、ごみの性質に応じた種類分けが重要で¹⁾、さらに国や地方に特有の産業や消費の性向、製品への印字慣習等にも注意する必要がある。たとえば、鳥取の海岸では日本の漁業由来の漂着ごみは著しく少ない⁴⁾。ハングル文字のある宣伝用ライターの漂着数は日本文字のあるライターよりはるかに多いが、それらは投棄量を直接に反映する値ではない²⁾。さらに、信頼される値を得るためには、ごみ量の単位の決定、漂着の不均一性を平均化するための適切で十分な調査範囲、訪問者による海岸での投棄ごみ量等、海岸によって異なるごみ量と組成の問題を解決する必要がある。しかし、それらに関する報告は皆無に等しく、今でもアメリカでは汀線距離500m¹⁹⁾、イギリスや韓国では100m^{20,21)}、日本では10m^{7,22)}と5m⁸⁾の調査範囲が推奨され、ごみ量の単位も面積あたりと汀線長さあたりが混用されている。このため、著者らは定量化のために、2005年から7年間の堆積ごみ量の調査より汀線長さあたりが単位として正しく^{23,24)}、また4年間の連

続月次調査の結果の分析から、漂着の不均一性による偏りを小さくするためには1海岸で汀線距離500m以上の調査が必要と判断した^{25,26)}。なお日本では生物環境に脅威を与える微細プラスチック破片の調査を重視するため²⁷⁾、必然的に範囲の狭い調査となる。しかし製品ごみの投棄や漏出を防ぐことはプラスチック破片の増加を防ぐ根源的な対策である。

このような調査法の検討と並行して、著者らは主要河川の河口からの距離を考慮し、また訪問者の少ないと思える8海岸の汀線500m区間の砂浜を選び、連続の月次調査を続けてきた。ここでは台風の影響が少なかった2005年1月以降の8年半の連続の月次調査から、日本からの排出が多い民生由来および農業由来のごみの排出抑制を目的として、国外ごみと比べた日本ごみの漂着実態や投棄地からの漂流と漂着過程について報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地の位置と状況

月間漂着量の調査地は図1に示すように、鳥取県に位置するA~Hまでの8海岸で直線的な砂浜の500m汀線区間で行った。各調査区間の西側の位置はA;35°29'9.2"N,133°16'48.7"E, B;35°30'5.7"N,133°44'13.3"E, C;35°30'12.4"N,133°50'53.7"E, D;35°31'5.2"N,134°2'6.6"E, E;35°31'44.3"N,134°8'17.1"E, F;35°32'25.6"N,134°11'54.6"E, G;35°33'22.8"N,134°15'47.2"E, H;35°36'0.1"N,134°21'29.2"Eである。調査地Aと九州および朝鮮半島南部までの直線距離はいずれも約400kmで、調査地AからHまでの距離は99kmである。これらの調査地は、2003年から2004年春までの予備調査から、①十分に長い直線的な海岸の一部で、奥行き幅の広い砂浜、②訪問者が少なく現場投棄ごみが少ないと思われる地点、③漂着後のごみの半減期に大きな影響を与える岩や礫を含まない完全な砂浜、④主要河川の河口との距離の影響を分析することを目的として決定した。ただし2004年

図1 鳥取県の都市と主要河川および8海岸の調査地の位置

は多くの強い台風に襲われ、その高波で大半の砂中埋没ごみが洗い出されたことはすでに報告した²⁾。本稿では台風の影響が少なく、砂中埋没ごみの洗い出しの影響の少ない 2005 年 1 月からの連続月次調査の結果をまとめた。なお、この地域の主要河川は西部の日野川、中部の天神川、東部の千代川で、これらの流域を中心とする西部と東部の人口はいずれも約 24 万人、中部の人口は約 11 万人となっている。

2.2 排出抑制を目的とするごみ種の分類法と漂着重量の推定法

従来の堆積ごみ調査では素材別の分類が多かったが、流出抑制のためには、ごみとなる前の製品を使用する国や地方、民生や産業等の分野、使用場所等を考慮し、分類することが重要である。そのため、予備調査から破片類を除く浮遊可能な約 150 種のごみリストを作り、実際に複数の海岸で季節ごとに汀線距離延べ 4 km にわたり各ごみ種の堆積数を調べた。それから 90 種を選び、各ごみ種の由来国別（文字やバーコードによる帰属と排出国は必ずしも一致しないため由来と記す）の割合を集計した¹⁾。その内の主要ごみ種から、排出分野や排出場所、ごみ種の明確な定義、由来国の高識別率、排出由来国別の割合の偏り等を考慮し、さらに必要に応じて細分化を行い、調査対象とするごみ種を決定した。具体的な細分化の例では、ペットボトルを容積 1 L、肥料袋は 10 L で 2 分し、1 L 未満の小容量ボトルは主に屋外で消費後に投棄、大容量ボトルは屋内で消費後に屋外で投棄されたこととした。後者の小型肥料袋は家庭の花菜用を含み、大型は主に農業用とみなした。このような細分化によって、排出分野や場所の明確化、漂着数から漂着重量の推測精度の向上等が可能となる¹⁾。漂着重量の推測は、原形を保つ典型的な各ごみ種をそれぞれ数十個持ち帰り、洗浄と乾燥後の平均重量から各ごみ種の 1 個あたりの重量を仮定し、その重量と漂着数の乗算から漂着重量を推定した。したがってこの値には投棄後に発生したプラスチック破片の重量を一部に含んでいる。これに対し、調査地での重量測定はごみの内容物や砂水、重油等の除去が困難なうえ、測定時の風雨の影響も大きく、3 種の天秤と長い測定時間を要するわりには、測定精度は低い。複数のごみ種からなる排出分野からの 1 個あたりのごみ重量の仮定は、各ごみ種の平均重量と年間平均漂着数の比率から計算した。この方法は多数のごみの集計に適用されるが、個数調査に限ることで調査時間を大幅に短縮できる。漁業由来の具体的にごみの測定法の詳細は既報に記したが^{4,12)}、フロート類は漁法による分類だけでなく、重量範囲が大きいため 11 種に細分化して個数調査

を行った⁴⁾。また、ロープについても、効率化と重量の推定精度を上げるために、長さとおさを測り比重を 0.67 g/cm³ として重量を計算する方法を用いた¹²⁾。

2.3 月次調査で漂着量の推定が可能なごみ種を決定するための半減期の測定

漂着量の測定可能なごみ種の決定は、2005 年から 8 年間の流出速度の定性的および定量的な調査から行った^{14,17)}。定性的調査は、風だけでも遠方に移送されるごみ種は風で動かないごみ種より流出速度が速いとみなし、砂浜とその後背の樹林帯中のごみをあらかじめ撤去し、その後に漂着したごみの砂浜と樹林帯中のごみ種の数調べることで行った。冬期の強風でもびんや缶類は樹林帯へ飛ばなかったが、空のペットボトルは砂浜上の数に比べてわずかに後背の樹林帯に移送されていた。それに対し、小型の発泡ポリスチレン製品やその破片、苗木ポット、豆腐容器、小型の袋類の多くが砂浜から後背の樹林帯に移送されていた¹⁷⁾。次いで 2006 年から定量的な測定を始め、新しい漂着ごみに印を付けて、一定期間後の個数の連続調査を開始した。それらの個数が時間に 1 次で減少することから、年平均の減少速度定数を求め、それから半減期を計算し、初期の結果を 2007 年に報告した¹⁴⁾。その後さらに精度を上げるために数年間の調査を連続して行い、実際に漂着したペットボトル 2,742 個、ライター 2,249 個、栄養ドリンクびん 1,243 個との調査結果から、年平均の半減期をそれぞれ 32, 90, 103 日と推定した。ただし、ライターは風速 7 m/sec 程度から飛砂の影響を受けるため、飛砂による埋没と露出率の実験も加えた¹⁷⁾。上記は砂上および砂中埋没物も含めた年平均の半減期で、栄養ドリンクびんの砂中埋没率は 1 ヶ月間で 1 割以下、ペットボトルの埋没率はわずかである。結論としてライターの厚さよりごみ種の砂上部が高いこと、ペットボトルより半減期の長いことがわかった。この 2 項目を満足するごみ種は撤去を伴う月次調査で漂着数の近似値を測ることができる。ただしこの半減期は海岸の潮汐変化の大きさや砂浜と礫浜の相違で異なる。

2.4 海浜ごみ量の単位と調査範囲

単位は砂浜の奥行幅が 25 m から 90 m の海岸で、カスプの影響を避けた汀線距離 5 m の範囲における堆積ごみ数とその重量から決定した^{23,24)}。ここではレジンベレット以上の大きさのプラスチック破片を含む浮遊性の堆積ごみを調査対象として、個数と重量を各月 10 回以上、7 年間に計 198 回の調査を行った。その結果、ごみ量と砂浜の奥行幅の相関性が著しく小さく、単位が汀線長さあたりであることを明らかにした。さらに海浜ごみ

量の偏りは、汀線方向 5 m の堆積ごみ量の偏り、1 km と 2 km の 10 m 区間ごとの中大型ごみ種の堆積数の偏り、漂着ごみでは月次調査を行っている 8 海岸の汀線 500 m 区間を 250 m に 2 分割し、両区画の量を 4 年間に 384 回測り、その偏りを示す過剰率から、少なくとも 1 海岸で汀線 500 m 以上の調査範囲が必要と判断した^{25,26)}。

調査する砂浜の奥行の範囲は汀線から浜崖基部、緩斜面の浜では夏期の草地帯の上部までを調査範囲とした。なお 2004 年の多数の台風の高波で古い砂中埋没ごみのすべてが洗い出されたと判断し⁵⁾、2005 年 1 月からの月次調査では、洗い出しごみは含まれず、すべて新しい漂着ごみとみなした。

2.5 本報で分析したごみ種の定義と由来国の同定、および撤去したごみの処分

調査した民生と農業由来ごみの 11 種を表 1 にまとめた。由来地域の帰属は記載文字を優先し、文字の判別が不可能な場合はバーコード、上記による判別ができない場合は製造地名やロゴマークの順で決定した。ただし、中華人民共和国と中華民国、大韓民国と北朝鮮人民共和国の文字は類似しているため、一部を除き正確に特定できないため、それぞれ中国・台湾由来、あるいは朝鮮半島由来とした。また、たとえば国外で製造されていても日本文字の説明や注意書き等がある製品ごみは日本由来、一部は民生で使用されているが多くは農業で使用されている製品ごみは農業由来等とした。ただし、ライターも多くは製造地と消費地が相違するため、宣伝用の印刷文字に限定して由来地域を決定した²⁾。漁業由来の定形ごみはフロートと 20 L 前後の容積のプラスチックタンク

とした^{4,12)}。それらの処分について、重量や容積の非常に大きなフロートと太く長いロープは印付けにとどめ、道路までの搬出は行わなかったが、それ以外はすべて車の通る道路脇まで運び上げ、それぞれ該当する米子市、北栄町（合併以前は北条町と大栄町）、鳥取市（合併以前は浜村町、鳥取市、福部村）、および岩美町に処分を依頼した。

2.6 調査の日時と連続した月次調査の期間および集計法と月次調査に必要な日数

日本海側の潮汐変化は小さく、大潮でも干潮時と満潮時のごみ量の相違は僅かである。このため調査は干満の日時によらず行なった。調査は月の下旬を目標に行い、ここでは 2005 年 1 月から 2013 年 6 月までの 8 年間半の連続月次調査の結果を集計した。ただし肥料袋は 2005 年 7 月以降の調査で、2013 年 6 月までの 8 調査地での 8 年間の各月の合計数から月間平均漂着数を求めた。他のごみ種は 1 月から 6 月までは 8 調査地での 9 年間の各月の合計数から平均値を求め、7 月から 12 月は 8 年間の各月の合計数から平均値を求めた。この月間平均漂着数の 12 ヶ月間の合計を年間平均漂着数とした。漂着ごみには意図的投棄と過失的漏出物が含まれ¹⁾、それぞれの排出抑制対策は異なるが、ここではすべて投棄と記した。また海浜訪問者による現場での投棄ごみも含まれているが、すべて漂着数と記録し、単位は汀線方向 100 m (hm) への月間 (month) および年間 (y) あたりの数とした。ここで主に議論する民生由来および農業由来ごみ、十種余りの漁業由来ごみ、さらに幾つかの工業、土木、建築、医療衛生用品ごみ等を含めた 30 種余りを著者ら

表 1 調査の対象とした 9 種の屋内および屋外由来ごみとライターおよび農業由来ごみ

分野	ごみ種	定義
屋内民生	洗剤・調味料容器	シャンプー、ボディークリーム等の人やペット用洗剤、衣類、食器、酸や塩基を含む住居やトイレ用の界面活性剤、約 200 mL 以上の容量の醤油、酢、ソース、食油等の食品や調味料用の硬質プラスチック容器。ただしマヨネーズやケチャップ、氷菓用等の軟質容器および金属とガラスの容器を除く
	カセット・スプレー缶	化粧品等の人間用スプレー、燃料用ブタン、塗料、蚊やゴキブリ等の殺虫剤の耐圧金属容器で、喘息治療薬のフロン類用耐圧容器を除く
	中型酒びん	容量 300 mL から 1.5 L までの酒用ガラスびんで陶器製を含む
	大型ペットボトル	容量 1 L 以上のミネラルウォーターや清涼飲料等の容器
屋外民生	小型ペットボトル	容量 1 L 未満のミネラルウォーターや清涼飲料用の容器
	スクリュウボトル缶	飲料用のスクリュウキャップ型金属容器
	タブ型飲料缶	鉱油等の容器を除く、タブの付いたアルミや鉄製の容器
屋内外民生	栄養ドリンクびん	エナジードリンクびんともいわれる 20 mL 以上のガラスびんと類似の形状をもつ清涼飲料用びん、および一部に二日酔い等の一般用医薬品びんを含む。ただし牛乳用と朝鮮半島型広口飲料びんを除く
	ライター	浮遊移動可能なライター
農業	農薬用プラスチック容器	希釈して使用する液体農薬用プラスチック容器と固体を含む除草剤プラスチック容器
	大型肥料袋	容積 10 L を超える繊維製を除く肥料や苗床用土用のシート製プラスチック袋

は8海岸で同時に調査している。その調査に必要な時間は、車での往復時間も含めて2~4人で、春と夏はほぼ3日間、秋から冬は3日から5日間前後である。ただし、ごみ種の由来国を示す文字の印刷や刻印位置等を記憶しておくことが必要である。なお、冬期は砂浜が積雪で覆われることがあるため天気予報に留意しながら降雪前に実施し、降雪後は各調査地付近のライブカメラを参考に融雪後に月次調査を実施した。北陸以北の日本海側での連続月次調査を数年間続けることは降雪のため困難と思える。

3. 結果と考察

3.1 排出分野からみた日本と近隣諸国由来ごみの漂着量の概要

由来国を問わない、排出分野からみたこの地域で最も重大な漂着ごみは、漁業由来のごみで次が民生由来のごみである。漁業由来ごみについては既に報告したが、年間の平均漂着重量はロープで35.1 kg/(hm・y)¹²⁾、フロートで22.8 kg/(hm・y)⁴⁾である。さらに20 L前後のプラスチックタンクの年間平均漂着数は4.6 個/(hm・y)で、1 個の重量を1.5 kgと仮定すると年間の平均漂着重量は約7 kg/(hm・y)となる。この3種に限っても年間平均漂着重量は約65 kg/(hm・y)となる。さらに漁網、プラスチック製トロ箱、集魚灯、アナゴおよびタコや硬軟イカの疑似餌なども多い。ロープや漁網の大半は排出国が不明であるが、フロート⁴⁾、アナゴ・タコ用漁具には国外製が多い。朝鮮半島製のプラスチックタンクは3.2 個/(hm・y)で、大半が海苔養殖の酸容器と思われる。日本由来は0.4 個/(hm・y)で、約半数が小型船の燃料用に転用された灯油容器で、残りが民生や農業用の灯油容器と思われる。日本製の漁具の漂着は少ないが^{4,12)}、日本では水に沈むポリ塩化ビニル製漁具が用いられることも一因と考えられる。

民生由来の漂着ごみも表2で示すように深刻である。民生ごみは種類も数も多いが、一般に1 個あたりの重量は小さい。表1に示す日本と国外由来ごみを含めた主要9種の各月の漂着数の平均値を合計した年間平均漂着数は434 個/(hm・y)で、1 個あたりの平均重量を65 gと仮定すると、年間の平均漂着重量は約28 kg/(hm・y)と概算できる。まれに冷蔵庫、テレビのブラウン管、乗用車や農業用のホイール付きタイヤも流れ着くが、3種を合わせても漂着数は0.01 個/(hm・y)以下で、漂着重量は大きくない。これら以外にも多種類の民生由来ごみが見られるが^{1,7)}、前記の9種以外に年間漂着重量の大きなごみ種が見られない。このため、鳥取県の海岸での民生由来ごみの年間漂着重量は漁業由来ごみより明ら

かに少ないと判断できる。

日本由来の9種の民生由来ごみの合計調査総数は60,094 個で、年間平均漂着数は180 個/(hm・y)である。1 個あたりの重量を65 gと仮定すると、年平均の漂着重量は12 kg/(hm・y)と見積もられる。図2で示すように、日本由来は総数の41%で、ラベルや印字の欠落した由来地域不明ごみにも日本由来が含まれると思われるため、全体の約半分が日本由来とみなせる。

表2 日本と近隣諸国からの民生由来および農業由来ごみの汀線100 mあたりの年間平均漂着数(個/hm・y)*

	日本	朝鮮半島	中国・台湾	ロシア	その他の国・不明	合計
洗剤・調味料容器	9.6	6.7	2.6	0.1	15.0	34.0
カセット・スプレー缶	7.2	4.0	0.4	0.1	1.3	13.0
中型酒びん	2.0	8.1	5.6	0.0	4.9	20.6
大型ペットボトル	8.5	20.0	2.4	0.0	10.3	41.2
小型ペットボトル	85.3	13.2	23.4	1.3	17.2	140.4
スクリューボトル缶	11.2	0.1	0.0	0.1	0.1	11.5
タブ型飲料缶	14.7	0.4	0.1	0.0	0.4	15.6
栄養ドリンクびん	36.2	26.9	1.0	0.5	9.3	73.9
ライター	4.8	8.7	9.5	0.0	60.5	83.5
小 計	180	88	45	2	119	434
農業プラスチック容器	2.6	3.9	0.5	0.0	6.8	13.8
大型肥料袋**	6.2	0.1	0.0	0.0	0.3	6.6
合 計	189	92	46	2	126	455

* 2005年1月から2013年6月までの月間平均漂着数の1月から12月までの合計値

** 2005年7月から2013年6月までの月間平均漂着数からの年間平均漂着数

図2 8海岸の延べ4 kmの砂浜に2005年1月から2013年6月までに漂着した民生由来ごみの総数と国別内訳

漂着ライターに印刷された地名や電話番号から、調査地に漂着できるごみの排出地は、長崎以北の佐賀、福岡、山口、島根、鳥取の各県の東シナ海と日本海側である²⁾。韓国では主に全羅南道から江原道であるが、黄海側の全羅北道から京畿道からも一部が漂着する²⁾。九州北部と韓国南部から調査地まではほぼ等距離で、その範囲の日本の人口は釜山と慶尚南道に限った人口にほぼ等しい。ただし、図1の東部のDからHの5調査地への千代川流域の地名情報を記したライターの漂着数は日本由来数の63%²⁾、一般ごみでは日本ごみの58%が千代川流域由来と見積もられている⁶⁾。すなわち、民生由来の漂着ごみの全体の2割弱が遠方の日本由来、2割強が人口24万人の千代川の流域由来と見積もられる。これに対して朝鮮半島由来は、図2に示すように約2割となっている。後記するように九州北部と韓国からの浮遊ごみの漂流経路に相違はあるが、この結果は日本での一人あたりの民生由来ごみの排出量が韓国に比べて著しく少ないとはいえないことを示す。この推定は宣伝文字入りライターの分析結果によっても支持される²⁾。したがって、調査地に近い河川の流域からのごみが多いことは、人口の多い地域の海岸の漂着ごみ対策には、周辺河川の流域での対策が重要であることを示す。

日本と韓国は農業や化学肥料を多量に消費する国で、ここでは農業用とみなせる農業用プラスチック容器と容積10Lを超える大型の肥料袋を調査した。国内外からの農業容器の合計は4,310個、大型肥料袋は2,104個で、両者を合わせた漂着数は20個/($\text{hm} \cdot \text{y}$)であった。日本由来の農業容器と肥料袋はそれぞれ841個と1,974個で、合計した漂着数は8.8個/($\text{hm} \cdot \text{y}$)である。由来国不明にも日本由来が含まれていることを考えると、漂着数でいえば農業由来ごみの約半数が日本由来となる。ただし、肥料袋では、総数の94%が日本由来で、これは国外からの肥料袋の多くが漂流過程で沈むことを示す。肥料袋が沈みやすいことは、河口に近い東側で、沿岸流の流れる方向にあるF調査地に限って漂着数が多いことからわかる。したがって、国内外からの肥料袋の海への流出数は実際の漂着数より相当に多いと思われる。

長距離の漂流が可能な農業プラスチック容器をみると、日本、朝鮮半島、由来地域不明の個数はそれぞれ19, 28, 49%である。漂流距離の長い国外からの容器はラベルの脱落等で由来地域の識別度が低下するため、由来地域不明に含まれている日本由来数は朝鮮半島由来数より少ないと思われる。したがって全体的にみると、これは日本由来数が朝鮮半島由来数より少ないことを意味する。しかし、日本および韓国での農地面積あたりの農業使用量は同程度であるが、調査地に漂着できる範囲の日本の

農地面積は韓国より狭いため、日本での消費数に対する流出割合が、韓国より少ないということはいえない。

日本由来物には70g程の農業容器と100g程の肥料袋が多いことから、2種の漂着重量はおおむね0.8kg/($\text{hm} \cdot \text{y}$)となる。その他に多くの日本製の苗木ポットが見られたが、大半が5g前後の軽量で、しかも風で飛ばされやすく海浜上の半減期が1ヶ月間より短いと推定されることから¹⁷⁾、漂着数は測らなかった。他に農業ガラスびんや果実用プラスチックコンテナ、送水ホースも見られたが、漂着数はいずれも少なかった。鳥取県は農業の盛んな地域であるが、上記の結果は農業由来ごみの漂着重量が民生由来ごみより少ないことを示す。ただし、農業由来ごみは産業廃棄物であり、農業の残った容器も見られるため、実効性のある回収ルートが確立が望まれる。

工業用のポリオレフィンペレットの堆積重量は小さいが、主に民生ごみから発生するポリオレフィン破片と同じく堆積数は膨大である²⁴⁾。土木、建設、流通業からのごみも見られるが、数も種類も少なかった。医療由来のごみは少ないが、感染性の病原体を含む可能性があり、その調査結果は既に報告した⁹⁾。したがって、日本からの人工素材漂着ごみの重量からみた大きな排出分野は民生由来および農業由来と結論できる。

3.2 日本と近隣諸国からの民生由来ごみの漂着の季節性と漂流経路

日本と近隣諸国の民生由来ごみの9種合計の月間平均漂着数の月別割合を図3に示す。日本由来ごみの漂着数の割合はすべての月で5%以上で、7月から増えはじめ、9月で漂着数が最多となる。しかし、その最高値は14%で近隣諸国由来ごみの内で最も低い。日本由来ごみの月間漂着数の変化が小さい主因は、後記するように多くの

図3 日本と近隣諸国からの民生由来ごみの年間平均漂着数に対する月間の漂着割合

ごみ種で投棄から漂着までの期間が短いからである。中国・台湾由来ごみは日本より少し遅れて8月から急増し、11月に23%と高い値を示し、その後は急減する。このシャープな変化の原因は東シナ海から日本海に流入できる季節が夏から秋に限られているため、そのことはペットボトル飲料の製造年月日の調査から解明している³⁾。また、その調査から対馬近海から調査地までの漂流期間が1ヶ月間程度であると推測している。朝鮮半島由来ごみも8月から少し増えはじめるが、しかし多漂着期は中国・台湾由来ごみより遅れて11月から1月となる。調査地から遠い中国・台湾からのごみが8月から漂着しはじめ、逆に調査地との距離の近い朝鮮半島からのごみの漂着が遅れる逆転現象は、以下のように考えられる。すなわち、朝鮮半島南部から海に流れ出した浮遊ごみは九州北部や中国・台湾からのごみより調査地の沖合を漂流する。このため、日本近海での海岸向きの風が弱い夏から初秋には漂着できず、日本海の中央部まで流れ出して一旦ごみ団塊を形成し、冬期の北寄りの季節風の強まりによって日本の海岸に向けて押し流されて漂着すると考えられる。このごみ団塊の仮説は、朝鮮半島由来のごみ団塊の北側にロシアからのごみがあり、そのロシア由来ごみがさらに2月まで遅れて漂着することから支持される。さらに、日本由来の酒びんが、後記するように冬期に多く漂着する理由は、秋以前に比重の重いびん類が流出しても、岸向きの弱風ではあまり漂着できず、海流によって沖合に押し流され、ごみ団塊の一部を形成し、強い北寄りの風が吹く冬期になってから漂着するためであると説明できる。

3.3 日本の民生由来および農業由来ごみの年間平均漂着量

日本の民生由来および農業由来の各調査地における主

要な11種のごみの年間平均漂着数を表3に示す。それらは日野川と中海の出口の中間に位置するA地点、大河川の河口に近いFとC地点で多く、河口から遠いDやH地点では少ない。これは河川の流域で投棄されたごみが河口から流れ出し、河口に近い海浜に多く流れ着くことを示す^{2,5,6)}。ただし、この3地点での11種のごみの年間漂着数の相関係数はAとC地点で0.99と高いが、AとF、およびCとF地点ではそれぞれ0.90と0.91と低い。この主因は河口から沿岸流の流れる方向にあるF地点で肥料袋が著しく多いためである。

民生由来ごみとなる製品には屋内と屋外用品がある¹⁾。洗剤・調味料容器、カセット・スプレー缶、中型酒びん、容積1L以上の大型ペットボトルは主に屋内で消費され、それらが屋外で投棄されて海に達すると考えられる。小型ペットボトル、スクリュウボトル缶、タブ型飲料缶、栄養ドリンクびんの多くは屋外で消費され、そのまま投棄され、その一部が漂着すると想定できる。このため排出源の同じ、たとえば屋内用の食油容器と殺虫剤スプレー、あるいは屋外用の弁当容器と小型ペットボトル等と一緒に入れられたレジ袋等が漂着することもある。これは、たとえば浴室用品のシャンプー容器の流出を防ぐ対策は、排出源が同じ屋内用品の台所の醤油容器や大型ペットボトルの流出防止に効果があることを示唆する。

屋内由来ごみ4種は民生由来9種の年間平均漂着数の15%を占める。漂着数の多い順に洗剤・調味料容器、大型ペットボトル、カセット・スプレー缶、中型酒びんで、それぞれの1個あたりの重量を70, 55, 100, 350 gと仮定すると年間平均漂着重量は約3 kg/(hm・y)となる。これらのごみは屋内から家庭ごみの回収ルートで集められるため、漏出は少ないと思われる。しかし、実際には屋内で消費された後に意図的に屋外に持ち出されて山河に投棄されていると思われる。これらが陸域で投棄され

表3 日本の民生由来および農業由来ごみの汀線100 mあたりの年間平均漂着数 (個/hm・y)*

調査地	洗剤・調味料容器	カセット・スプレー缶	中型酒びん	大型ペットボトル	小型ペットボトル	スクリュウボトル缶	タブ型飲料缶	栄養ドリンクびん	ライター	農薬プラスチック容器	大型肥料袋**	合計
A	11.2	9.8	2.6	10.5	105.1	13.0	10.1	63.7	5.9	2.0	0.6	234
B	9.5	5.1	1.5	6.6	71.7	8.5	11.2	34.8	6.9	2.3	3.5	162
C	10.2	10.5	1.7	10.5	95.5	17.6	21.1	57.9	5.4	2.9	2.1	235
D	7.3	3.8	2.0	7.5	64.2	7.1	10.2	21.4	3.4	1.7	6.0	135
E	8.5	7.7	1.5	8.3	95.6	13.4	17.2	25.5	4.2	2.2	3.7	188
F	16.0	11.1	2.8	10.3	125.5	14.0	24.6	33.1	7.0	6.0	30.0	280
G	8.4	7.3	2.7	7.7	79.9	10.7	12.8	39.1	3.2	3.0	2.1	177
H	5.8	2.5	1.2	6.7	45.0	5.6	10.7	14.0	2.3	0.7	1.5	96
割合	5%	4%	1%	5%	45%	6%	8%	19%	3%	1%	3%	

* 2005年1月から2013年6月までの月間平均漂着数の1月から12月までの合計値

** 2005年7月から2013年6月までの月間平均漂着数からの年間平均漂着数

ていることは A, C, F 地点で漂着数が多くなっていることからわかる。これらの屋内由来ごみがかんりの割合を占めることは、屋外に意図的に持ち出して投棄する明らかな理由があることを示す。この一因として、ガスの残った耐圧缶やライター、あるいは半透明なごみ袋に入れることを避けたい衛生用品ごみ等が、他のごみと一緒に投棄されていることが推測される⁹⁾。

屋外由来ごみ 4 種の年間平均漂着数は 148 個/(hm・y) で圧倒的に多く、農業由来ごみを含めた 11 種の総漂着数の 78% を占める。最も多いごみは小型ペットボトルで、次いで栄養ドリンクびん、タブ型飲料缶、スクリュエボトル缶の順となる。ただし栄養ドリンクびんの年間出荷数は 20 億本余²⁸⁾、ペットボトルの 1 割程度と推測されるが、出荷数と漂着数の比からみるとペットボトルより多い。さらに栄養ドリンクびんの一部にはマキシキャップが使用され、ペットボトルより沈みやすい。したがって、栄養ドリンクびんの投棄率は非常に高いと推測できる。

小型ペットボトル、栄養ドリンクびん、タブ型飲料缶、スクリュエボトル缶の 1 個あたりの重量をそれぞれ 30, 140, 20, 23 g と仮定すると、年間漂着重量は合計で約 8 kg/(hm・y) となり、これは日本の民生由来および農業由来 11 種の総漂着重量の 7 割近くに当たる。このことから、日本の最も重要な課題は小型飲料容器の投棄防止とそれらの海への流出阻止であることがわかる。

3.4 日本の民生と農業由来ごみの漂着数の季節変化

表 4 に民生由来および農業由来のごみ 11 種の月間平均漂着数を示す。まず、全体的な季節変動の傾向を把握

するため、表 4 のデータを用いてごみ種間の相関係数を算出し、これに基づいて主成分分析を行った。その結果を表 5 と図 4 に示す。各月の主成分スコアは連続的に変化し、漂着数とごみ組成が季節につれて徐々に変化する

表 5 日本の民生と農業由来ごみの月間漂着数の主成分分析の負荷量

	第 1 主成分	第 2 主成分
洗剤・調味料容器	-0.869	-0.305
カセット・スプレー缶	-0.915	0.189
中型酒びん	-0.198	-0.817
大型ペットボトル	-0.854	-0.222
小型ペットボトル	-0.941	0.253
スクリュエボトル缶	-0.863	0.468
タブ型飲料缶	-0.645	0.687
栄養ドリンクびん	-0.698	-0.596
ライター	-0.772	-0.617
農業プラスチック容器	-0.797	0.410
大型肥料袋	-0.664	-0.115
固有价值	6.567	2.518
寄与率 (%)	59.7	22.9

図 4 月間平均漂着数における第 1 および第 2 主成分スコアの散布図

表 4 日本の民生由来および農業由来ごみの汀線 100 m あたりの月間平均漂着数 (個/hm・month)*

月平均	洗剤・調味料容器	カセット・スプレー缶	中型酒びん	大型ペットボトル	小型ペットボトル	スクリュエボトル缶	タブ型飲料缶	栄養ドリンクびん	ライター	農業プラスチック容器	大型肥料袋**	合計漂着数	鳥取降水量***
1月	0.96	0.54	0.29	0.58	5.60	0.57	0.48	4.15	0.57	0.18	0.39	14.3	204
2月	0.81	0.49	0.31	0.65	4.92	0.61	0.60	2.91	0.43	0.17	0.35	12.3	166
3月	0.67	0.46	0.18	0.59	4.27	0.57	0.68	2.00	0.31	0.19	0.52	10.4	151
4月	0.70	0.41	0.10	0.52	4.37	0.59	0.46	2.06	0.29	0.12	0.36	10.0	98
5月	0.66	0.46	0.07	0.57	5.43	0.81	0.71	1.53	0.26	0.14	0.18	10.8	127
6月	0.62	0.35	0.06	0.42	5.27	0.64	1.21	1.48	0.21	0.19	0.73	11.2	139
7月	0.83	0.92	0.13	0.55	8.64	1.44	2.56	2.44	0.28	0.38	0.16	18.3	188
8月	0.76	0.81	0.13	0.77	11.07	1.64	3.50	2.99	0.37	0.26	0.23	22.5	127
9月	1.24	0.96	0.16	1.30	12.98	1.69	2.48	4.10	0.67	0.38	1.88	27.8	203
10月	0.95	0.93	0.23	1.11	9.69	1.26	0.98	5.81	0.60	0.22	0.67	22.4	152
11月	0.67	0.48	0.16	0.99	7.88	0.87	0.69	3.60	0.45	0.18	0.40	16.4	162
12月	0.73	0.42	0.20	0.48	5.22	0.54	0.40	3.13	0.35	0.18	0.29	11.9	193

* 2005 年 1 月から 2013 年 6 月までの 8 調査地の合計による月間平均漂着数

** 2005 年 7 月から 2013 年 6 月までの 8 調査地の合計による月間平均漂着数

*** 鳥取気象台の 2005 年から 2013 年までの月間の平均降水量 (mm/month)

図5 日本の民生および農業由来ごみの月間の平均漂着割合の変化

ことを示す。第1主成分は漂着数の変動を表すと解釈できることから、春期に漂着数が少なく、9月で最多となり、10月以降は減少するが、北寄りの季節風が強まる冬期に増加し、その後春に向けて徐々に減少することが分かる。第2主成分では、タブ型飲料缶やスクリューボトル缶、農薬プラスチック容器が大きな正の重みを持つ。一方で比重の重い中型酒びんや栄養ドリンクびん、ライターが大きな負の重みをもつ。これは図5からわかるように、前者のタブ型飲料缶やスクリューボトル缶、農薬プラスチック容器の漂着のピークは夏期で、冬期にピークはみられない。それに対して、後者の中型酒びんや栄養ドリンクびん、ライターは冬期にも明らかなピークがある。ただし、この冬期のピークは後記するように消費の時期と海への流出の季節性では説明できない。したがって、第2主成分は浮遊ごみに対する風と海流による作用が異なり、高比重物は風より海流で強く流され、その結果、高比重ごみは日本海中部のごみ団塊まで流され、それが冬期の強い季節風によって漂着すると考えられる。

図5の月間平均漂着数の割合から、物品の消費後の投棄から漂着までの過程をかなり詳しく推測することができる。左図の洗剤・調味料やカセット・スプレー缶、右図のライターはいずれも類似の漂着数の季節変化を示し、最少の6月と最多の9月の漂着数には2.0倍から3.1倍の相違がある。各年でみても5月や6月が少なく、9月で漂着数が多い。しかし、これらの製品の消費量の季節変化は小さいと思われるため、漂着数の変化を消費量に比例するとみなすことはできない。消費後に投棄された陸域のごみは、水系を経て海に流出する。このことから、ごみ投棄の多いと思われる都市部の鳥取気象台での2005年以降の平均の月間降水量を表2に示した。4月か

ら6月の雨量は少なく、6月より7月で雨量が35%増加するが、8月は雨量が少なく、9月は8月より60%も増加する。すなわち、9月の漂着量の急増の主因は、9月の雨量の急増によって、雨量の少ない時期に千代川流域の陸域に蓄積していた投棄ごみが9月に流出し、漂着したと考えられる²⁹⁾。

農薬製品に関していえば、袋に入れた15 kgから20 kgの苗床用土や有機や化成肥料の消費が春に増加することが原因で、雨量の少ない6月にも大型肥料袋の漂着数のピークがみられる。しかし、それでも雨量が急増する9月に漂着数が最多となる。農薬プラスチック容器も消費時期を反映し、7月に漂着数のピークがあり、また9月にも同程度のピークがある。これらの結果は、流出時期だけでなく、消費の季節性に伴う投棄、あるいは漏出も月間漂着数に影響を与えることを示す。

中型酒びんには清酒や蒸留酒容器が多くワインボトルは少ない。これらは9月より10月に多く、さらに1月から2月で最も多くなる。春期の漂着の少なさは雨量や消費時期だけでなく、波高が低いことや沖向きの南風の日が多いため、調査海浜への漂着が阻害されることも原因と考えられる。逆に冬期は、高い波と岸向きの強い北風のために漂着しやすくなると推定できる²⁹⁾。しかし、それでも2月の漂着数が6月に比べて44倍になることは、冬期の多消費を加えても説明が困難なように思える。冬期に漂着数のピークがあるごみ種は、酒びんに加え栄養ドリンクびん、消費の季節性が小さなライター、また水の入りやすい洗剤・調味料容器等、漂流中に比重の重いごみ種に多い。この原因は、水面下の部分の大きなごみ種が、前記のごみ団塊の一部となり、それが冬期に漂着すると考えられる。

肥料袋とタブ型飲料缶の月間の最大漂着割合はそれぞれ31%と24%で、他のごみ種の15%前後に比べて著しく高い。遠方の他県からのごみは海への流出時期や漂流距離の相違によって鳥取県の実地に漂着する時期が分散して広がり、月間漂着割合の最高値が低くなる。他方で、近隣河川の流域からのごみは、流域内の全域での降雨になりやすく、流域各地のごみの海への流出時期の同時性が高く、さらに河口から漂着までの日数が短いため²⁹⁾、流出と漂着が同月となり、月間漂着割合の最高値が高くなると考えられる。肥料袋は漂流過程で沈みやすいため遠方の県外からの漂着は少なく、ここでの過半数は千代川流域で春以降に投棄や放置された袋が河口近くのF地点に漂着した個数である。このような海への流出と漂着の同時性のため、肥料袋の月間漂着割合の最高値が高くなり、逆に流出の少ない季節の月間漂着割合は著しく低くなる。

タブ型飲料缶はA, C, F地点で漂着数が多いが、民生由来ごみ8種の合計数に対する割合は、それぞれ4.3, 9.1, 10.0%で必ずしも高くない。しかも、肥料袋と異なり、河口から遠いEやH地点でもそれぞれ9.4%と11.4%である。タブ型飲料缶は開封後に再度、封をすることができないため、河川を流れ下る過程では必ず沈むと思われる。このため肥料袋のように河口近くの調査地で漂着数が増えることはない。逆に、河口から離れた海浜でも相当に見られることは、タブ型飲料缶が近隣の河川流域や、遠方の他県からでなく、調査海浜とその近傍の海域で投棄されたと判断できる。そのため、投棄と漂着（海浜現場での投棄であっても、ここでは漂着と記す）月が同時となり、消費が最多となる8月で漂着割合が最高になる。その値が肥料袋より低い原因は、タブ型飲料缶の多消費月には数ヶ月間の広がりがあるが、陸域に蓄積していた肥料袋は9月に急激に流出するためと思われる。このような現象は他のごみ種の排出源を探る方法として有用である。

海浜ごみには陸域から海を経て流れ着いたごみと海浜周辺での投棄ごみが含まれる。前者の漂着の季節性は、消費に伴う陸域での投棄・放置量が前提になるが、むしろ降雨による海への流出時期の影響を強く受ける。さらに漂流過程における海流と風波の影響も受ける^{2,3,29,30)}。その結果、ごみ種とその排出地域の違いによって、漂着量は季節によって大きく変化する。したがって、各ごみ種の各国からの排出量の変化を推定するためには、撤去を伴う連続調査による年間平均漂着量の測定が必須となる。

3.5 日本の飲料容器の投棄地の推定法

飲料容器は日本から流出する最も重大なごみ種で、この削減には、投棄場所と投棄時期と海へ流出する季節を知ることが重要である。それを知ることによって適切な場所と季節に、具体的な対策を集中的に講じることができる。容量1L以上の大型ペットボトルはおもに屋内にあり、盛夏の8月に消費が多いが、漂着は9月が多い。8月と比べた9月の増加率は69%で、その原因は、陸域で投棄されたボトルの流出が降雨量の増える9月まで遅れるためと考えられる。それに対し、小型ペットボトルの漂着数は7月から増加を始める。8月より9月で多くなるが、その増加率は17%にすぎない。スクリューボトル缶は小型ペットボトルよりさらに7, 8月の漂着割合が高く、8月に比べた9月の増加率はわずかに3%である。海浜周辺での投棄に限られるタブ型飲料缶は上記3者と異なり、8月で最多となり、次に多い月は7月である。これらの飲料容器の季節性の順序は消費の季節性ではなく、漂流過程における沈みやすさの順序と考えられる。スクリューボトル缶はタブ型飲料缶と異なり、スクリューキャップを再封すると長距離の浮遊移動が可能で、再封しないとポリエチレンテレフタレート（PET）の1.38より比重が大きいので、ペットボトルより沈みやすい。すなわち、8月と9月の4種の飲料容器の漂着割合は海浜周辺と陸域での投棄割合の違いを示していると考えられる。

人口の少ない鳥取県の実地でも日本製小型ペットボトルは深刻なごみ種で、その多くは近隣河川の流域と海浜周辺で投棄されている^{2,5,6)}。このため、人口の多い地域の海岸では、近隣の河川経路の漂着に加え、海岸周辺での投棄のために、ごみ汚染が深刻と思われる。したがって、その削減には海浜周辺での投棄と漂着に分けた対策が必要である。しかし、いずれも日本製であるため、その両比率を簡単には推測できない。この調査では訪問者の少ない海岸を選んだが、小型ペットボトルの漂着数と海浜周辺での投棄数を推定する方法を提案する目的から、表3と表4のデータを用い、陸域で投棄される大型ペットボトルと投棄地が海浜周辺に限られるタブ型飲料缶の漂着数を説明変数とする重回帰分析の適用を試みた。

タブ型飲料缶は清涼飲料やビールに加え、エナジードリンクやコーヒー飲料用としても使われるが、ここでは海浜周辺で消費されるタブ型缶の飲料の季節性は、大小のペットボトルの飲料と同じと仮定した。また陸域での小型と大型ペットボトルの月間投棄数が比例し、それらの海への流出時期と漂着率が同じで、小型ボトルとタブ型飲料缶の海浜周辺での投棄数が比例すると仮定した。なお各月および各調査地での大型ペットボトルとタブ型

表6 重回帰分析による小型ペットボトルの陸域と沿岸域での投棄割合*

	VIF	大型ペットボトル			タブ型飲料缶			定数	決定係数
		係数Ⅰ	t	P-値	係数Ⅱ	t	P-値		
月 (n=12)**	2.85	6.99	17.3	<0.05	1.69	8.68	<0.05	0	0.99****
調査地 (n=8)**	3.60	7.50	3.57	<0.05	1.49	1.28	0.25	0	0.98****
月 (n=12)***	2.85	6.37	8.78	<0.05	1.66	8.49	<0.05	0.543	0.96
調査地 (n=8)***	3.60	9.91	2.45	0.06	1.38	1.13	0.31	-19.6	0.88

* 表3および表4の値から計算 ** 仮定から定数項=0として計算 *** 定数項=0を仮定せずに計算 **** 定数項=0の推定式の決定係数は推定値の二乗和/従属変数の値の二乗和、を示した

表7 重回帰分析による陸域で投棄された小型ペットボトルの漂着割合*

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
%	83	82	78	82	77	59	47	48	68	82	86	83
調査地	A	B	C	D	E	F	G	H				
%	84	75	72	79	71	68	75	76				

* (係数Ⅰ×大型ペットボトル数/(係数Ⅰ×大型ペットボトル数+係数Ⅱ×タブ型飲料缶数))×100

飲料缶の漂着数のVIFはいずれも10以下である。はじめに、「小型ペットボトルの漂着数=係数Ⅰ×大型ペットボトルの漂着数+係数Ⅱ×タブ型飲料缶の漂着数+定数」として重回帰分析を行い、次いで定数項をゼロとして計算した。その結果、各変数の偏回帰係数に顕著な相違がみられないため定数項をゼロと仮定した。

結果を表6と表7に示す。表7の陸域での小型ペットボトルの投棄率は、回帰式から計算できる小型ペットボトル数を分母として、大型ペットボトルの漂着数と回帰式の係数をかけた値を分子として計算した。なお、分母を表3と表4の小型ペットボトルの実測数としても、陸域での投棄率に大きな相違はみられなかった。海浜周辺で投棄された小型ボトルの割合は、海浜訪問客の多い7月と8月はいずれも漂着数の約半分で、5月、6月および9月にも少数の投棄がみられる。しかし、10月から5月までの漂着ボトルの大半が陸域由来と推測された。この調査では訪問者の少ない調査地点を選んだため、調査地による差は小さいが、経験的に釣り客などの訪問者が多少見られるC、E、F地点で、海岸周辺での投棄率が幾分高いようにみえる。

投棄の少ない季節では漂着割合がいずれの月も8割余りで、また多くの調査地の年間値は7割程度であるが、調査の実感から、著者らは海浜周辺での投棄率はこの計算値より少ないと思っている。その理由は冬期の調査海浜の周辺への訪問者は皆無に近いからである。著者らは、海浜周辺での投棄率が高くなった原因は以下の3点と思っている。①浮遊性のレジ袋等に他のごみと一緒に入った陸域投棄と思われるタブ型飲料缶を調査数に加えた。②図6のa)からd)の写真は漂着した国外由来の未開封のタブ型飲料缶であるが、この調査では陸域投棄物

a) 中国 b) 韓国 c) タイ d) ロシア
e) 腐食した日本製の開封タブ缶

図6 漂着した未開封の国外製のタブ型飲料缶と高波で浅海から打ち上げられた開封缶

が含まれる未開封の日本製タブ缶を調査数に含めた。③右下の写真e)は腐食したタブ缶が高波で浅海底から海浜に打ち上げられた写真で、この調査では原形の半分以上を残している、割れた缶を調査数に含めた。したがって、上記3種のタブ型飲料缶を分けて記録することで、陸域と海浜周辺で投棄された小型ペットボトルの比率をかなり正確に推測できると思われる。このように、投棄場所と投棄の季節性および海への流出時期を知ること、的を射た実効性のある対策の実施が期待される。

4. 結 論

山河に捨てられた人工素材ごみの一部は海に流出し、その一部は海岸に漂着するが、沖合にも流出して行く。このようにして難分解性のごみは海域で蓄積を続け、破片となって海域生物の脅威となる²⁷⁾。汚染の拡大を防ぐためには、先ず山河へのごみ投棄を防ぐことが重要である。日本は民生由来および農業由来の、かなりの量のごみを海に排出している。この抑制には、各分野の代表のごみ種の投棄時期と場所、投棄の原因を探り、適切な排出抑制対策を実施することが必要である。さらに、対策の効果を漂着量調査から評価し、対策を再修正することも重要である。排出抑制を目的とする漂着量調査では、すべてのごみを調査する必要はない。排出分野を代表する幾つかのごみ種に限ることが可能で、その漂着量の減少はその分野から排出される多くのごみ種の山河への投棄の減少を意味する。

日本から海に排出される最も重大なごみ種は小型飲料容器である。これらは、夏期に訪問者の多い海浜周辺と、近隣河川の流域で投棄される。本稿では今まで例のなかった連続した月次の漂着量調査から、それらの投棄の季節、場所および相対量が推定できることを示した。この方法によって、投棄の多い場所と季節に、小型飲料容器に特化した集中的な対策を実施することで、投棄量を効率的に削減できると期待できる。投棄防止に加えて、海への流出の阻止も重要で、陸域の水系周辺に堆積している投棄物を海に流出する前に撤去することも重要である。これらの対策と漂着量調査の結果の公表によって、地元からのごみの流出を減らすことが地元の海岸ごみを減らす有効な対策であることを、地元住民に知らせることも重要である。これによって、地元住民の自発的なごみ投棄の自粛が可能となる。ただし、日本からの排出を減らしても、国外からのごみは流れ着く。それでも日本での弛まぬ調査と研究による海岸美化の努力は、いずれ周辺諸国と協調的なごみの排出抑制体制の構築につながると思われる。

参 考 文 献

- 岡野多門, 安本 幹, 安藤重樹: 難分解性海浜堆積漂着ごみの性質と分類, 廃棄物資源循環学会論文誌, 第21巻, 第2号, pp.94-105 (2010)
- 岡野多門, 安藤重樹, 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, 第24巻, 第6号, pp.521-530 (2011)
- 岡野多門, 安藤重樹, 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, 廃棄物資源循環学会論文誌, 第22巻, 第5号, pp.285-292 (2011)
- 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, 廃棄物資源循環学会論文誌, 第24巻, 第5号, pp.88-96 (2013)
- 岡野多門, 安本 幹, 安藤重樹: 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, 第21巻, 第6号, pp.226-235 (2010)
- 岡野多門, 安藤重樹: 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, 第23巻, 第5号, pp.232-239 (2012)
- 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
(閲覧日 2014年7月1日)
- 「勤海と渚環境美化・油濁対策機構」
<http://www.umitonagisa.or.jp/html/syuppan.html>
(閲覧日 2014年7月1日)
- 岡野多門, 安本 幹: 医療・衛生用品廃棄物の漂着実態とそれらの日本での投棄率, 廃棄物資源循環学会論文誌, 第24巻, 第5号, pp.97-104 (2013)
- UNEP: Regional Seas Programme, Marine litter
<http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/>
(accessed 2014-July-1)
- 岡野多門, 向井一将, 櫻井詳子: 海洋浮遊ごみの漂着率を推測するための基礎研究, 漂着を促す気象と海象の分析, 環境科学会誌, 第27巻, 第4号, pp.199-206 (2014)
- 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, 第26巻, 第2号, pp.150-157 (2013)
- A. T. Williams and D. T. Tudor: Litter Burial and Exhumation, Spatial and Temporal Distribution on a Cobble Pocket Beach, Marine Pollution Bulletin, Vol. 42, No. 11, pp.1031-1039 (2001)
- 岡野多門, 池田圭吾, 築田哲也, 鷹取正基, 安藤重樹, 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)
- S. Kako, A. Isobe and S. Magome: Sequential Monitoring of Beach Litter Using Webcams, Marine Pollution Bulletin, Vol. 60, No. 5, pp.775-779 (2010)
- 片岡智哉, 日向博文, 二瓶泰雄: 河川から東京湾へ流入する漂流ゴミ量の逆推定, 国土記述政策総合研究所研究報告, 第53号, pp.i~24 (2013)
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/rpn/rpn0053.htm> (閲覧日 2014年7月1日)
- 岡野多門: 漂着ごみ量を測定するための海浜ごみの砂浜からの流出による半減期, 鳥取大学大学院工学研究科/工学部, 研究報告, 第45巻, pp.95-105 (2014)
- T. Kataoka, H. Hinata and S. Kato: Analysis of a Beach as a Time-invariant Linear Input/Output System of Marine Litter, Marine Pollution Bulletin, Vol. 77, pp.266-273 (2013)
- UNEP: National Marine Debris Monitoring Program Report
http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/NMDMP_REPORT_Ocean_Conservancy_2_.pdf (accessed 2014-July-1)

- 20) K. L. Storrer, D. J. McGlashan, S. Bonellie and K. Velandar: Beach Litter Deposition at a Selection of Beaches in the Firth of Forth, Scotland, *Journal of Coastal Research*, Vol. 23, No. 4, pp. 813-822 (2007)
- 21) S. Hong, J. Lee, D. Kang, H. Choi and S. Ko: Quantities, Composition, and Sources of Beach Debris in Korea from the Results of Nationwide Monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 84, pp. 27-34 (2014)
- 22) K. Kusui and M. Noda: International Survey on the Distribution of Stranded and Buried Litter on Beaches along the Sea of Japan, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 47, No. 1-6, pp. 175-179 (2003)
- 23) 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*, 第 21 巻, 第 1 号, pp. 69-74 (2011)
- 24) 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*, 第 25 巻, 第 6 号, pp. 432-441 (2012)
- 25) 岡野多門, 森田 晃: 広域のゴミ量の指標となる漂着や堆積量の測定法, 過剰率から評価する海浜ゴミの適切な調査範囲, 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp. 21-22 (2013)
- 26) 岡野多門, 森田 晃: 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, 鳥取大学大学院工学研究科/工学部, 研究報告, 第 45 巻, pp. 85-94 (2014)
- 27) A. L. Andrady: Microplastics in the Marine Environment, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 62, No. 8, 1596-1605 (2011)
- 28) 日本ガラスびん協会
<http://glassbottle.org/glassbottlenews/marketing>
(閲覧日 2014 年 7 月 1 日)
- 29) 岡野多門, 向井一将, 櫻井詳子: 海洋浮遊ごみの漂着率を推測するための基礎研究, 漂着を促す気象と海象の分析, *環境科学会誌*, 第 27 巻, 第 4 号, pp. 199-206 (2014)
- 30) J. Yoon, S. Kawano and S. Igawa: Modeling of Marine Litter Drift and Beaching in the Japan Sea, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 60, No. 3, pp. 448-463 (2010)

Analysis of the Floating Marine Litter that Flows out of Japan as Observed from Beach Litter

Tamon Okano* and Ikumi Kato*

* Department of Chemistry and Biotechnology, Graduate School of Engineering,
Tottori University

† Correspondence should be addressed to Tamon Okano:
(4-101 Koyama, Tottori 689-8852 Japan)

Abstract

The amount of litter found washed ashore on the beach from different countries is considered to be a good indicator of any particular country's solid waste management situation. In a survey, the largest amounts of litter found washed up on the beaches of Tottori Prefecture in Japan were fishing tools from other places. The total quantity of these kinds of waste materials, e.g. ropes, floats and 20 liter-plastic containers) measured in at 65 kg/(hm · y), whereas wastes ascertained to actually originate in Japan were much less. The second largest amount of litter found was waste from consumer goods. The total amount of beverage bottles, detergent and seasoning packets, gas cartridges, spray cans and disposable lighters measured in at approximately 28 kg/(hm · y), of which about half was estimated to originate from Japan. The total quantity for agricultural chemical bottles and fertilizer bags from Japan weighed about 0.8 kg/(hm · y), though the bags easily sink when drifting so do not always make it onto the beach. The most alarming quantities of beached wastes originating from Japan were that of beverage bottles. These wastes are often dumped inland near riversides and also around beaches during the summer season. The quantities of waste washed ashore from these two sources were estimated using multiple regression analysis, inputting the numbers for large plastic (PET) bottles and pull-tab drink cans as the descriptive variables.

Keywords: floating marine litter, beach litter, waste outflow, solid waste management, washed-up poly (ethylene terephthalate) bottle