【 論 文 】

東アジアからの漁業用フロートの漂着実態

岡 野 多 門*・加 藤 郁 美*

【要 旨】 鳥取県の8海岸で漁業用フロートの漂着量を2005年から毎月7年間調査した。総数は35,512個で、それらをEPS製フロートと、長径15 cmを基準としたEPS以外の素材の大型と、小型フロートに分けると、それぞれの漂着数は11.8, 7.2, 107.8個/(hm・y)、重量は8.9, 9.5, 4.4 kg/(hm・y)となった。合計漂着重量は22.8 kg/(hm・y)で、これは1 L以下のペットボトルの4.0 kg/(hm・y)よりはるかに大きい。したがって環太平洋諸国で持続的な水産業を継続するために、漁業ごみの投棄や流出を防止する対策が早急に必要である。現状の由来地域別のフロートの年間平均漂着重量は、朝鮮半島由来が6.1 kg/(hm・y)、中国・台湾が2.6 kg/(hm・y)、日本が0.5 kg/(hm・y)、不明が13.3 kg/(hm・y)で、この平年値から各地域で実施が期待される排出抑制策の実効性が評価できる。

キーワード：海洋浮遊ごみ、海浜堆積ごみ、放置漁具、漁業用フロート、漁業用浮標

1. 序 論

プラスチックと呼ばれる人工合成高分子は安価で強く、腐らず、高い耐水性を持ち、20世紀後半の漁業に画期的な変革をもたらした。それによって、人口増加が必要となった水産蛋白資源の確保に大きく貢献してきた。しかし一方で、漁業用品の流出や投棄が起り、それに民生や他産業からのごみ加わり、海域での難分解性素材ごみの蓄積が続いている¹⁻³⁾。とりわけ人口が多く、漁業が盛んな東アジア地域の海岸や海底には、すでに大量のごみが堆積し、今も蓄積し続けている⁴⁻⁷⁾。東アジア地域の海流の下流に位置する日本にとって、難分解性の越境浮遊ごみは深刻な問題である⁸⁻¹¹⁾。ただそれは反面で、日本が各国のごみ排出量を測る良い調査地であることを意味し、その結果から各国に排出抑制を求めることができる。

海浜の堆積ごみ調査は世界各地で広く行われているが、その目的は啓蒙活動である。それは単に海浜に溜まって

いるごみ調査であり、短い一定期間に漂着する海洋浮遊ごみを定量的に測る漂着量の調査ではない。また日本で行われている堆積ごみ調査のほぼすべてが汀線距離5 mあるいは10 mの狭い範囲で行われている。しかし漁業用品には大型の重量物が多く、その堆積量の測定には長い汀線距離の調査が必須である^{7,12)}。したがって日本では漁業ごみに関する、信頼できる堆積量の測定値は少なく¹²⁾、国外を含めても漂着量の調査は、著者らの漁業用ロープの報告以外にない⁷⁾。

海洋浮遊ごみの削減には流出の抑止が必須であるため、著者らは排出分野から海浜ごみを分類する提案や¹³⁾、各地からの排出量を推定するための浮遊ごみの漂流経路とその気象や季節依存性^{9,10,14,15)}、漂着量の測定法¹⁶⁾、さらに軽い紐から重いロープまでを測定するための二段階的調査法⁷⁾などについて報告してきた。これらの調査を鳥取県で行う至当性は、ここの海岸には日本を含む東アジア全域からのごみが漂着すること⁹⁾、干満差が小さいために漂着量の測定が容易であること¹⁶⁾、直線的な砂浜が多く人口も少なく、漂着ごみの人為的乱れが少ないことなどにある。

著者らは先に漁業用ロープの漂着重量が他のごみ種に比べて圧倒的に大きいことを報告した⁷⁾。これらの排出地は不明であるが、漂着量の多い事実は東アジアの漁業ごみの排出抑制が不十分であることを示す。この地域の海産食料は将来においても重要で、持続的に漁業を続けるためには、早急に漁業ごみの排出抑制を行う必要があ

原稿受付 2012. 12. 10 原稿受理 2013. 7. 16
J-STAGE 早期公開論文 (2013. 10. 5 早期公開)

* 鳥取大学大学院工学研究科

連絡先：〒 680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101

鳥取大学大学院工学研究科 岡野 多門

E-mail: okano@chem.tottoriu.ac.jp

る。したがって、各国に流出防止対策の実施を求めるためにも、将来に実施される各国の対策の実効性を評価するためにも、現状の漁業ごみの漂着量を科学的な調査によって明確にしておくことが必要である。以上の目的から著者らは漁業からの重大なごみ種といわれてきた¹²⁾漁業用フロートについての調査を続けてきた。ここではその結果について報告する。

2. 調査地と調査方法

フロートとは漁業用以外の浮体も意味するが、ここでは浮子（あば）などの漁業用浮体に限定するが、ここでの結果の一部には工事や海運用フロートが含まれている。一方で、空容器や発泡体などを用いた代用フロートも少数あるが、これらはフロートに分類せず、容器の本来の用途や発泡体として分類した。

漂着量調査は鳥取県の8海岸で行い、それらの位置は既に報告している^{7,9,10)}。対象は原形の半分以上をとどめる人工合成高分子素材の中空と発泡素材フロート、およびビーズ法発泡ポリスチレン(EPS)フロートから発生したと思われる大きな破片である。調査は2005年5月から2011年4月までの毎月、各海岸の汀線距離500mの範囲に新しく漂着した個数を数えることで行い、この月次調査での発見数を月間漂着数とみなした¹⁶⁾。浮遊ごみの漂着は、海浜面上にばらまかれる投げ捨てとは異なり、海面と海浜面の一次元の交線近くで起こるため、汀線距離あたりが現象論的な単位となる。さらに実際の調査結果からも汀線距離あたりが単位として妥当であることが証明されている^{17,18)}。ここでは漂着量の単位を一カ月間、汀線距離100m(hm)あたりで記し、蓄積期間が不定である堆積ごみ量は、時間の次元を除いて単に汀線距離あたりを単位とした^{7,18)}。

漂着フロートには水が入っていたり、ロープや貝などが付いていたりするため、フロートだけの重量を測定することは現実的に不可能である。このため、フロートを11種に分類し、下記の方法で各フロート種の1個あたりの平均重量を推定し、その平均重量と漂着数から漂着重量を計算した。この方法によって調査個数を増やすことで、測定精度を上げることができる。

ビーズ法発泡ポリスチレン(EPS)製の大きな円柱型フロートを本報では発泡俵型と略記し、体積で200L以上を発泡俵大型、50L以上200L未満を発泡俵中型、10L以上50L未満を発泡俵小型と3種に区分した。球形のビーズ法発泡PS製フロートは直径25cm以上を発泡球形、および直径25cm未満で15cm以上の球形フロートと、俵型フロートの破片と思われる短径が15cm

以上の破片を合わせて発泡小塊と分けて調査した。

ビーズ法発泡PS製以外のフロートでは、長径が15cm以上を中空と定義し、長径が30cm以上を中空大型、20cm以上30cm未満を中空中型、15cm以上20cm未満を中空小型と区分した。しかし、中空と定義しているものの中でも、実際には少数の発泡素材の円筒形中通し型フロートが中空中型と中空小型に含まれている。その例として長径約17cmの発泡中通しフロートを図1のAで示す。

長径が15cm未満のフロートは浮子と記し、形状から外縛り浮子、中通し浮子、外穴浮子の3種に分けた。外縛り型のほぼすべてが中空の構造で、浮子の外側から紐で縛って固定するタイプで、それらの写真は既に報告している¹⁵⁾。中通し浮子は浮体の中心にロープを通す穴があるタイプで、図1の上部に示す。図1の下部は外穴浮子で、中空浮体の外側にロープを通す穴があるタイプである。ただし外穴のない少数の球体フロート(図1のS)もこの区分に含めた。

上記の11種の一個あたりの平均重量はそれぞれ数十から百数十個の汚れや破損のない代表的なフロートの測定値から推定した。この精度は高くないものの、実施できる現実的な方法である。それから発泡俵大型の一個あたりの平均重量を6.0kg、発泡俵中型を1.6kg、発泡俵小型を0.7kg、発泡球形は0.27kg、発泡小塊は0.2kg、および中空大型は2.3kg、中空中型は1.2kg、中空小型は0.35kg、小型では外縛り浮子を25g、中通し浮子を50g、外穴浮子を85gと仮定した。

フロートの由来地域の帰属は文字で行い、ハングル文字は朝鮮半島、漢字で日本の地名・会社名以外を記したフロートは中国・台湾由来、ひらがなやカタカナおよび漢字による日本の会社名や図1のB型フロートなどで

図1 代表的な中通し浮子(上部でAはフロートに分類)と外穴浮子(下部)および調査対象外としたフロート(右側のG, H, Y, Z)

見られる made in Japan と刻印したフロートは日本由来、made in Korea は朝鮮半島由来などとした。さらにフロート上への手書き文字、フロートのカバーやケース上の文字、フロートに結ばれた標識布や空容器の文字からは優先的に帰属を行った。ただし SANSINKAKO や HANSUNG などのアルファベットの刻印名からの由来地域の帰属は行わなかった。

堆積量調査は汀線距離 5 m の砂浜上のすべての中小微細ごみを対象としたが、ここではゴム類を含む人工合成高分子素材ごみに限って集計した。対象の重量範囲は約 0.02 g のレジンペレットからおおむね 0.5 kg 前後までのごみで、これには長径が 15 cm 未満のほぼすべてのフロートが含まれる。ただし原形の半分以下の破断フロートは破片に分類した。この調査は 2005 年 5 月から 2011 年 4 月までの間に 198 回行い、調査法の詳細は既に報告している^{17,18)}。

堆積量に含まれ、漂着量調査に含めなかったフロートは写真右側の G の発泡 PS 製中空型、中空の長方体型の H、軟質発泡体を縛りつけた Y のような代用フロート、および硬質発泡体製の Z である。また軟質素材の風船型的大型中空フロートが見られたが、ヨット用と思われるので集計しなかった。これらは個数でも重量でも明らかに誤差の範囲を出ない。

3. 結果と考察

3.1 漂着フロートの素材・形状・用途

フロートは土木建設やオイフェンス、浮き桟橋や防舷材にも使われるが、大半は漁業分野で使用されている。それらは浮力と耐水圧から 3 種に大別できる。ビーズ法発泡ポリスチレン (EPS) 製のフロートは、浮力が大きい水面下での使用はできない。ビーズ法以外の発泡 PS 素材やポリ塩化ビニル、ポリビニルアセテートなどの発泡体フロートに大型物は少なく、これらの発泡体フロートは一般に水面上や浅い海中で使用される。ポリオレフィンやアクリロニトリル-ブタジエンスチレン共重合体 (ABS) などを用いた中空構造のフロートは、耐水圧や耐久性を高くすることができるため、深海での漁や、水面上での長期使用に適している。この調査ではフロートの用途や重量の推計のために、これらを 11 種に区分して調査した。

ビーズ法による発泡 PS フロートの多くは 50 倍以上の発泡倍率で、安価で浮力が大きい。しかし強度と耐久性が低いため、カバーをつけても風波や流れの強い海域での長期使用に耐えることができない。また独立気泡が水圧で潰れるため、水中での使用には適さない。このた

め内湾の養殖設備などで、数十 L から 1 m³ 程の体積の俵型フロートが多く使用されている。

ビーズ法発泡 PS は水上部が大きいので、海上での目印用にも使用される。この目的には小型の俵型フロートも使用されるが、多くは球形で、旗竹などを立てるための中通し穴がある。長方体のフロートも見られ、その内の蛍光色を塗ったフロートは日本由来と思われたが、両者とも調査対象外の小型が主であった。これらは漁の目印であるため、風波や流れの強い海でも使用される。

ビーズ法以外による PS 発泡体 (実例は図 1 の E) と他の素材の発泡体のフロートのほぼすべてが中空型である。強度は素材と発泡率で決まり、加わる力は用途とフロートの大きさで決まる。他の素材の発泡体フロートはビーズ法発泡 PS より強いが十分ではなく、図 1 の A のように軟質発泡体の中通し穴を硬質化することで補強している場合もある。このような軟質発泡体のフロートは漁だけでなく、防舷材や目印用としても多用される。

長径 15 cm 未満のフロートには硬質発泡体が多く、網の浮子として広く用いられている。これらの発泡率は 2~10 倍前後が多いが、2 倍に満たないフロートも見られた。低発泡体の耐水圧は高いと思われるが、発泡体フロートの深海での使用は一般に避けられる。

外縛り浮子を除くと、中空構造のフロートの外形は、図 1 や図 2 で見られるように球形浮体の外穴型が多いが、楕円体浮体の外穴型 (図 1 の V、図 2 の B) や、中空型の紡錘形浮体 (図 1 の B、N) や球形浮体 (図 1 の P) も見られる。中空構造の小型の外縛り浮子や外穴浮子には 100 m 前後の耐水圧の刻印が見られ、これらは浅い黄海や東シナ海の海底から表層の範囲で使用されている

図 2 中空大型 (B, D, F)、中空中型 (A, G, H) 中空小型 (C, E) フロート

と思われる。中空構造の大きなフロートでは、同じ体積でも重量物から軽量物まで見られた。たとえば、図2のBのようなフロートは非常に重く、500 m 以上の高耐水圧で、日本海や沖縄トラフなどの深海で使用されていると推定できる。中程度の重量の200～300 m 前後の耐水圧のフロートは東シナ海や黄海で使用され、軽量の図2のHやGのようなフロートは水面上や浅海で使用されていると思われる。日本でも定置網や海藻の養殖では中空構造のフロートが水面上で使用されている。

3.2 漂着フロートの由来地域

2005年5月から2011年4月までの月次調査での漂着総数は35,512個で、その内訳の結果を表1に示す。ビーズ法発泡PSフロート5種の合計数は総数の9.3%で、中空大型から中空小型までの3種の合計数は5.7%、小型浮子3種の合計は85%を占めた。

中国・台湾由来のフロート数は総漂着数の43.8%、朝鮮半島由来は9.4%、由来地域不明が46.2%である。しかし、外国製に日本文字を手書きしたフロートも含め、日本由来と確認できた漂着数はわずか202個で、総数の0.6%にすぎなかった。中空フロートの一部には日本や朝鮮半島のメーカーを想像させるローマ字名が書かれていたが、それによる由来地域の帰属を行わなかった。しかし、それが日本由来フロートの著しく少ない主因ではない。

発泡俵型フロート3種では、朝鮮半島由来が俵型全数の35.1%の408個、日本由来が1個、中国・台湾由来が1個であった。由来地域不明物と朝鮮半島由来物の一部には、内部に水の入ったフロートがあり、幾つかを解体すると、多数の板状発泡PSが内部にあり、その隙間

に水が入っていた。製造年が不明であるために断定はできないが、由来地域不明フロートの多くは外国由来である可能性が高い。ビーズ法発泡PSフロート類の全数の45.7%を占める発泡小塊の大半が俵型フロートの破片と思われる、実際に俵型フロートの頭部の形状を残した発泡小塊が相当数見られた。板状発泡PSをリユースして内部に入れるとフロートが破断しやすく、それらから発泡小塊に分類される大きな破片が発生した可能性が高い。すなわちビーズ法発泡PSフロートの大半の排出由来地域は日本以外であると考えられる。

朝鮮半島由来が多い原因は、朝鮮海峡から黄海に至る内湾での盛んな養殖業に起因すると思われる。朝鮮半島由来の発泡俵型フロートは、カバーシートやケース、フロート本体へのペンキ手書きによるハングル文字から確認できる。発泡俵型フロートは日本でも広く使用されているが、日本で販売されているフロートのカバーに文字はなく、発泡体本体に文字を書く習慣もない。鳥取県に漂着しうる浮遊ごみは九州北部の東シナ海側から山陰までの海域と推定できるが¹⁰⁾、山陰での海面養殖は皆無に近い。これらは日本由来の俵型フロートの少ない一因になりうる。しかし韓国と向かい合う九州北部の養殖業は盛んであり、皆無に近い漂着数の説明としては十分ではない。

中国の海面養殖は韓国や日本より盛んであるが、しかし中国・台湾に帰属できた発泡俵型フロートは1個にすぎない。他方で中国・台湾由来の外縛り浮子は14,515個も漂着する。この相反する結果の原因については、仮説も提示できない。ただ水上部が大きい俵型フロートと水上部が小さい外縛り浮子の風と海流による輸送差、また養殖と漁期に起因する流出時期と流出海域の違い、さ

表1 由来地域別の11種のフロートの漂着数と年間平均漂着数

フロート種	合 計			日 本			朝鮮半島			中国・台湾			不 明		
	種別合計	%	個/ (hm・y)	種別合計	%	個/ (hm・y)	種別合計	%	個/ (hm・y)	種別合計	%	個/ (hm・y)	種別合計	%	個/ (hm・y)
発泡俵大型	156	0.4	0.6	1	0.6	0.0	79	50.6	0.3	0	0.0	0.0	76	48.7	0.3
発泡俵中型	428	1.2	1.5	0	0.0	0.0	204	47.7	0.7	1	0.2	0.0	223	52.1	0.8
発泡俵小型	580	1.6	2.1	0	0.0	0.0	125	21.6	0.4	0	0.0	0.0	455	78.4	1.6
発泡俵計	1,164	3.3	4.2	1	0.1	0.0	408	35.1	1.5	1	0.1	0.0	754	64.8	2.7
発泡球形	636	1.8	2.3	2	0.3	0.0	253	39.8	0.9	0	0.0	0.0	381	59.9	1.4
発泡小塊	1,517	4.3	5.4	0	0.0	0.0	157	10.3	0.6	0	0.0	0.0	1,360	89.7	4.9
発泡PS型小計	3,317	9.3	11.8	3	0.1	0.0	818	24.7	2.9	1	0.0	0.0	2,495	75.2	8.9
中空大型	782	2.2	2.8	37	4.7	0.1	106	13.6	0.4	109	13.9	0.4	528	67.5	1.9
中空中型	500	1.4	1.8	23	4.6	0.1	185	37.0	0.7	38	7.6	0.1	254	50.8	0.9
中空小型	732	2.1	2.6	33	4.5	0.1	445	60.8	1.6	29	4.0	0.1	225	30.7	0.8
中空型小計	2,014	5.7	7.2	93	4.6	0.3	736	36.5	2.6	176	8.7	0.6	1,007	50.0	3.6
外縛り浮子	15,937	44.9	56.9	1	0.0	0.0	1	0.0	0.0	14,515	91.1	51.8	1,420	8.9	5.1
中通し浮子	11,002	31.0	39.3	97	0.9	0.3	521	4.7	1.9	120	1.1	0.4	10,264	93.3	36.7
外穴浮子	3,242	9.1	11.6	8	0.2	0.0	1,257	38.8	4.5	757	23.3	2.7	1,220	37.6	4.4
小型浮子小計	30,181	85.0	107.8	106	0.4	0.4	1,779	5.9	6.4	15,392	51.0	55.0	12,904	42.8	46.1
合 計	35,512*	100	126.8	202	0.6	0.7	3,333	9.4	11.9	15,569	43.8	55.6	16,406	46.2	58.6

* ロシア製の中空大型2個を含む

らに漂流路の季節性などの分析が必要と思われる。しかし事実として、日本海側はビーズ法発泡 PS フロートの朝鮮半島由来物の漂着量調査に適しているが、漂着数が皆無に近い日本や中国・台湾由来物の調査地としては適地ではない。

中空大型から中空小型フロートまでの3種では、合計数の36.5%が朝鮮半島由来、中国・台湾由来が8.7%で、日本由来は4.6%である。これは、他の8種のフロートの日本由来率が1%以下である点で大きく相違する。これらの日本由来フロートには防舷材用と思える発泡体フロートと、重量の重い中空構造の深海用フロートが多い。一方で朝鮮半島由来フロートの多くは軽量で、中空大型より小型が多い特徴がある。これらの一部にはアームの残ったフロートもあり、大半が表層で使用されていると思われる。他方で中空大型フロートでは中国・台湾由来が13.9%と多く、逆に中空小型では4%と少ない。中国・台湾由来を示す文字のあるフロートは、図2のDのように黒色で表面が粗く、中程度の重さで金型への手彫りによる刻印文字が見られた。ただし、黒色で表面が粗く、中程度の重さの中空大型や中空中型フロートの漂着数は多いが、それらの大半が無文字であった。また淡黄色で表面が滑らかな4穴型の特異な中国・台湾由来フロートも少数見られた。

長径15 cm未満の小型フロートは、製造国による形状特異性が顕著である。外縛り浮子の合計数は15,937個と多く、その91.1%が中国・台湾由来で、製造国も使用国も中国・台湾に限られると思われる。中通し浮子の漂着数は11,002個と多いが、その大半が由来地域不

明である。外穴浮子の漂着数は3,242個と少ないが、製造国による形状特異性が顕著である。ハングル文字のある球形浮体の上下2穴型(図1のQ)が38.8%を占め、その数に近い無文字の同形浮子が見られた。それ以外に由来地域不明の球形片面2穴(図1のU)、簡体字のある球形1穴浮子(図1のT)や、外穴のないハングル文字のある球形浮子(図1のS)が見られたが、いずれもわずかな個数であった。楕円体浮体2穴型(図1のV)は相当数見られ、風鈴形1穴浮子(図1のR)は少数で、両者の大半に中国漢字が見られた。

日本海側に非常に多くの外国由来フロートが漂着することは明らかで、一部の兼業漁師は外国由来フロートを再利用している。また山陰地方の遊漁船の防舷用発泡俵型フロートの大半が朝鮮半島からの漂着物である。日本由来のフロートは著しく少ないが、漂着数の多少だけで排出率を評価することはできない。鳥取県に漂着しうるフロートの排出海域は沖縄トラフより北部の東シナ海と日本海西部の海域と推定されるが¹⁰⁾、東シナ海から日本海の流入可能期間は主に数カ月間である⁹⁾。したがって、各海域での各国の漁船数とその活動度、漁法や漁期、フロートの印字率など、総合的な検討が必要で、それを基礎とする前提が国際協調による漁業ごみの削減のために必要である。

3.3 フロートの年間平均漂着数と年間平均漂着重量

フロート11種合計の年間平均漂着数は表1で示すように126.8個/(hm・y)で、年間平均漂着重量は表2で示すように22.8 kg/(hm・y)となる。ビーズ法発泡 PS が

表2 由来地域別の11種のフロートの年間平均漂着重量

フロート種	フロート種別合計			日 本			朝鮮半島			中国・台湾			不 明		
	kg	%	kg/(hm・y)	kg	%	kg/(hm・y)	kg	%	kg/(hm・y)	kg	%	kg/(hm・y)	kg	%	kg/(hm・y)
発泡俵大型	936	15	3.3	6	1	0.0	474	51	1.7	0	0	0.0	456	49	1.6
発泡俵中型	685	11	2.4	0	0	0.0	326	48	1.2	2	0	0.0	357	52	1.3
発泡俵小型	406	6	1.5	0	0	0.0	88	22	0.3	0	0	0.0	319	78	1.1
発泡俵計	2,027	32	7.2	6	0	0.0	888	44	3.2	2	0	0.0	1,131	56	4.0
発泡球形	172	3	0.6	1	0	0.0	68	40	0.2	0	0	0.0	103	60	0.4
発泡小塊	303	5	1.1	0	0	0.0	31	10	0.1	0	0	0.0	272	90	1.0
発泡 PS 型小計	2,502	39	8.9	7	0	0.0	988	39	3.5	2	0	0.0	1,506	60	5.4
中空大型	1,799	28	6.4	85	5	0.3	244	14	0.9	251	14	0.9	1,214	68	4.3
中空中型	600	9	2.1	28	5	0.1	222	37	0.8	46	8	0.2	305	51	1.1
中空小型	256	4	0.9	12	5	0.0	156	61	0.6	10	4	0.0	79	31	0.3
中空型小計	2,655	42	9.5	124	5	0.4	622	23	2.2	306	12	1.1	1,598	60	5.7
外縛り浮子	398	6	1.4	0	0	0.0	0	0	0.0	363	91	1.3	36	9	0.1
中通し浮子	550	9	2.0	5	1	0.0	26	5	0.1	6	1	0.0	513	93	1.8
外穴浮子	276	4	1.0	1	0	0.0	107**	39	0.4	64***	23	0.2	104	38	0.4
小型浮子小計	1,224	19	4.4	6	0	0.0	133	11	0.5	433	35	1.5	652	53	2.3
合 計	6,381*	100	22.8	136	2	0.5	1,742	27	6.2	741	12	2.6	3,757	59	13.4

* ロシア製の中空大型2個を含む。

** 平均重量を85 gとして計算した値であるが、朝鮮半島由来の平均を65 gと仮定すると82 kgとなる

*** 平均重量を85 gとして計算した値であるが、中国・台湾由来の平均を118 gと仮定すると89 kgとなる

素材である発泡俵型フロート3種と発泡球形と小塊の5種合計の年間平均漂着数は11.8個/(hm・y)で、年間平均漂着重量は8.9kg/(hm・y)となり、フロート11種の重量の39%を占める。その内の発泡俵大型は0.6個/(hm・y)で、汀線距離100mあたりへの年間漂着数が1個に満たないが、発泡体5種の内で最も漂着重量が大きい。

中空大型から中空小型までの3種の合計は7.2個/(hm・y)と少ないが、年間平均漂着重量では9.5kg/(hm・y)で、11種合計重量の42%を占めた。とくに中空大型フロートは2.8個/(hm・y)であるが、漂着重量は6.4kg/(hm・y)で11種中の最も大きい。漁業用ロープでも、本数が多い細く短いロープ・紐より、本数の少ない太く長いロープが重量ではるかに大きかった⁷⁾。したがって漁業ごみの主体は数の少ない大型重量ごみであり、漁業分野からの排出量を正確に推定するためには、長い汀線距離で大型物の漂着量を測ることが必須となる。

小型浮子3種の合計の年間平均漂着数は107.8個/(hm・y)で、数は圧倒的に多いが、年間平均漂着重量では4.4kg/(hm・y)で11種合計重量の19%を占めるにすぎない。最も数の多い外縛り浮子の年間平均漂着重量は1.4kg/(hm・y)で、それより個数の少ない中通し浮子の重量は2.0kg/(hm・y)で、むしろ外縛り浮子より大きい。ハングル文字のある上下2穴型浮子(図1のQ型)の重量は65g前後と軽く、漢字のある楕円体2穴型(図1のV)はその約2倍の重量を持つ。ただし表2では一個あたりの重量をすべて85gと仮定しているため、朝鮮半島由来物の重量は実際より大きく、中国・台湾由来物は実際の重量より少なく記してあることになる。しかし文字のない図1のQ型の上下2穴型浮子をすべて朝鮮半島由来と仮定するなら、実際の朝鮮半島由来外穴浮子の重量は表2の値より大きく、さらに中国・台湾由来の外穴浮子の重量より大きくなる。

3.4 フロートの流出原因

ごみの流出防止対策を考えるためには流出原因を知ることが重要で、著者らは、その原因をまず意図的投棄と過失的漏出に大別している¹³⁾。この区別は漂着フロートの状態から推定できる。発泡俵型ではカバーの付いた新しいフロートがある程度の割合で見られ、そのほぼすべてに固定用ロープが残っていた。これは明らかに風波によってロープが切断あるいは縛り目が解けたことによって流出したことを示す。しかし、発泡俵型フロートの過半は著しい劣化物で、固定用ロープの付随しないフロートが約半数、固定用ロープは残っているが、刃物で切断したような切り口に見えるものが少数見られた。した

がって、劣化フロートの多くは意図的な投棄が流出原因と思われる。

発泡球形フロートでは、大半が新しく、ロープだけでなく、一部には標識布や旗竹、鉄筋やコンクリートのおもりまで残っていた。切れた固定用ロープの残存は、流出の直接原因が強い風波や海流であることを示す。しかし、ビーズ法発泡PSフロートの浮力は大きく、風波や海流によって固定用ロープに大きな力が繰り返し加わることを知りながら適切な対策を取っていないなら、流出原因は過失的だとはいえない。

中空構造の中空大型から中空小型までのフロートでは、図2のように明確な破損がなく、非意図的に切れたようなロープが残存し、付着物も少ないものが約1/3を占めた。これらの流出原因は明確ではないが、一部には底引き漁から流出したと思われる高耐水圧のフロートが含まれていた。底引き漁では海底の岩礁を避けることが常識であると思えるが、それを無視した結果としての流出であるなら、やはり過失的だとはいえない。片面に多量のイガイや海藻が付いたフロートや、全表面に牡蠣が付着したフロートも少数見られた。これらは海表面での養殖や定置網の浅海用として長期間使用されていたフロートが流出したと推定される。したがって、これらの流出の一因は長期設置フロートの点検不足である。残りの半数近くの中空フロートは、水入りや、大きなひび割れや変形、外穴の一つが脱落したような破損品で、これらの大半も意図的な投棄と思われる。

図1のA型の発泡フロートは目印用以外に防舷材として広く利用されているが、そこから流出したと思われるフロートが相当数見られた。それらにはロープによって引き裂かれたような破断、船体との大きな圧力による変形、圧迫の変色跡を残すものなどに加え、何の痕跡もない完全品も含まれていた。防舷材には軟質の発泡素材が適しているが、その強度は十分に強くはない。船の移動によって大きな力が加わると、ロープによって引き裂かれ、逆にロープが切れると完全品が流出する。したがって流出には、メーカーにも一部の責任があり、防舷材用と明記し、その強度を高めることが必要である。

小型の中通し浮子の多くは脆性のある硬質発泡素材で、図1のJのように完全に2つに割れたフロートが相当数見られた。脆性の小さな発泡体ではロープによって中通し穴から片側だけが引き裂かれた図1のKやLのようなフロートも見られた。これらの原因は強度や耐久性不足で、メーカーの責任も大きい。ただしロープから外すために鋭利な刃物で切断し、その断面が歴然と残る図1のIのような発泡フロートも見られた。発泡体に限らず中空構造の中通しフロートはロープからの分離が困難で

あるため、ロープの両端を切断した図1のOのような投棄物、さらに数十個のフロートと網も合わせて切断した投棄物もあり、それらが中通し浮子の漂着数の過半を占めた。

外縛り浮子では、紐溝部の割れたフロートも見られたが、大半は破損の見られないフロートであった。とくに紡錘形フロートには完全物が多かった。したがって流出原因は形状に由来する単純脱落と外縛り紐の摩耗切断が主因で、さらに溝の破損も一部の脱落原因と考えられる。このように流出原因が外縛り型の構造自体に主因があるため、流出防止には中通しや外穴浮子への変更が必須である。ただし外縛り浮子においても、ロープの両端を切断した浮子や、数十個の浮子がついた網も見られ、意図的投棄も多いことは明らかである。

外穴浮子の漂着数の過半を占める球形浮体の上下2穴フロートのほぼすべては完全品である。これらは延縄用と思われるが、図1のQのように片方の外穴に撚り糸とテグスの残ったものが見られるが、両方に糸や紐の付いたフロートは確認できていない。このため流出原因が延縄の切断かテグスや撚り糸の切断が明らかでない。他方で中国・台湾由来の楕円体型フロートの大半は水入りである。水が入りやすい責任はメーカーにあるが、不良品の投棄の責任は漁業者にある。

3.5 漁業ごみの堆積量

漂着物の現存量である堆積ごみ量は汀線距離5mの砂浜で、2005年から各月10回以上、延べの汀線距離990mで調査を行った¹⁸⁾。ここでの集計はゴム類を含む0.02gからおおむね0.5kgまでの人工合成高分子素材ごみで、それを5種に分類し、個数と重量の割合を図3で示した。堆積個数は約2万個/hmと多いが、大半は微細なレジンベレットと合成高分子製品の破片や浜焼きの燃え残り残片である¹⁷⁾。堆積重量は39.1kg/hmで、原形の半分以上を残すフロートを含む漁業用品とみなせるごみは654個/hmと少ないが、重量では全体の36%の13.9kg/hmであった。それに対して民生由来ごみは全重量の22%の8.5kg/hmにすぎない。

堆積量の調査では大型ごみを対象としていないが、漁

図3 ゴム類を含めた合成高分子素材の中小微細ごみの排出由来分野別の 해변堆積量

業ごみには大型が多い。堆積量調査に含まれる外縛り、中通し、外穴浮子の3種の合計重量は0.6kg/hmで、全堆積量の1.6%である。漂着量ではこの3種合計の4.4kg/(hm・y)に対して、11種合計量はその5倍余りの22.8kg/(hm・y)である。さらに堆積量に含まない5m以上の長さの漁業用ロープの年間平均漂着量が20kg/(hm・y)で⁷⁾、また大型の酸液体容器やコンテナおよび網などは漂着量や堆積量のいずれの調査にも含まれていない。

外縛り、中通し、外穴浮子は堆積量調査の対象で、それぞれ9.1, 8.2, 2.6個/hmで、外穴浮子を基準とした比は3.5:3.1:1である。漂着量調査での外縛り、中通し、外穴浮子の比は4.9:3.4:1であるが、漂着量と堆積量での延べ調査距離が336kmと0.99kmであるため、これらの比に大きな相違はないが、外縛り、中通し、外穴浮子の年間平均漂着数はそれぞれ56.9, 39.3, 11.6個/(hm・y)で、絶対数では平均堆積数より年間平均漂着数で約4~6倍大きい。先に著者らは容量1L未満の小型ペットボトルの年間平均漂着数と平均堆積数の比が上記の浮子の比よりはるかに大きく、一方でロープの年間平均漂着重量は平均堆積重量の約1.5倍とあまり相違しないことを報告した⁷⁾。このように漂着量と堆積量は本質的に異なり¹⁸⁾、砂浜上の滞留期間の長いごみは蓄積が進み堆積量が多くなり、滞留期間が短いごみ種の堆積量は少なく観測される¹⁶⁾。したがって堆積量より各地からのごみ流出量を推測することは誤りである。堆積量から漂着量を推定するにはごみ種によって著しく相違する上記のような係数が必要である。発泡PS破片は風でも容易に飛散するため、漂着後の流出は極めて速いことは明白である。堆積量は全堆積重量の2.8%の1.1kg/hmであるが、漂着量の絶対値はこの値より大きいことは確実である。ただし破片は数が多くても、重量は小さいため、発泡PSが最も重量の大きなごみ種とは考えられない。

4. まとめと結論

中小微細な合成高分子素材ごみの堆積量の36%が漁業ごみで、民生ごみの約1.5倍に達する。この堆積量に大型ごみは含まれていないが、漁業ごみには大型が多い。堆積量調査に含まれない8種のフロートの合計の年間平均漂着重量は18.4kg/(hm・y)である。また堆積量調査に含まれない長さ5m以上の漁業用ロープは20kg/(hm・y)である⁷⁾。これらに比べて、民生ごみで最も多い1L未満のペットボトルの年間平均漂着重量は4.0kg/(hm・y)にすぎない⁷⁾。この事実は、東アジアの漁業が極度に突出した海洋浮遊ごみの排出産業分野であること

を示す。漁業用フロート 11 種合計の漂着重量の 27% を朝鮮半島が占め、中国・台湾が 12%、日本が 2%、由来地域不明が 59% である。さらに表 1 と 2 で 11 種ごとの由来地域別の平均漂着量も明らかにした。したがって今後特定の国で特定の漁業ごみの流出防止対策が実施されても、鳥取県だけの調査からその実効性を評価できる。

漁業用フロートの流出は意図的投棄が主因であり、流出防止に対する漁業者の無対策、外縛り型のような構造上の問題、およびメーカーに原因のある耐久性や強度不足も推測された。しかし多数のフロートが流出している事実、流出させた漁業者が流出原因をよく知っていることを示す。一般に漁業は多人数で行われ、その集団には長い経験を持ち、フロートの流出原因を熟知している漁業者が必ず含まれている。それにもかかわらず、流出防止対策を取らない理由は、フロートの経済価値が低いからである。したがって、耐久性や強度が高く、さらにデポジット制などでフロートの価格を高めることで、流出を容易に削減できると思われる。逆に安価なフロートは海底の岩礁での漁を助長し、また養殖や定置網のフロートの点検をおろそかにする。さらに安価なフロートは強度や耐久性が低く、劣化品の投棄や流出を増加させる。その結果として海洋や海岸で漁業系ごみがあふれる。それだけでは終わらず、発泡 PS フロートからのスチレンオリゴマーの発生による化合物汚染も危惧されている¹⁹⁾。他方で安価に耐久性を上げるための鉛化合物などの滑剤や安定化剤の大量使用²⁰⁾、安価な再生樹脂からの有機塩素や臭素系の難燃化剤の混入が起これば、海岸清掃によるごみの適正処理を困難にして、清掃活動を停滞させる恐れがある。

漂着ごみは海域ごみの一部にすぎず、多くが海底に沈み、多くの浮遊ごみが太平洋に流出し、蓄積し続けている。漁業用品の投棄や流出を監視することは困難であるが、漁具に製造社名と国名を入れることで国としての責任を問うことはできる。特に日本由来フロートの少ない原因を、印字が少ないためと疑われないためにも、日本は率先して印字するべきである。漁業は国内問題とされるが、国境を越える漁業ごみは重大な国際問題である。したがって流出防止に関する技術の国際協力は不可欠である。しかしフロート形状の著しい地域特異性は国際協力の欠如を示す。東アジア諸国にとって東シナ海や日本海、北西太平洋は海産食料を得るための重要な海域である。将来にわたって安定的に汚染の心配のない安全な海産食料を得るためには、国内制度だけでは不十分で、漁具メーカーも含めた東アジア諸国の協力体制が不可欠である。もちろん、漁業者による率先的な排出削減も不可欠であり、それは子孫に豊かな漁場を残すためでもある。

[謝 辞]

この調査研究の過程において、長崎大学水産学部の松下吉樹先生、水産庁九州漁業調整事務所、および㈱気泡材研究所からの有益な情報提供に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) G. Macfadyen and R. Cappell: Abandoned, Lost or Otherwise Discarded Fishing Gear, FAO Fishers and Aquaculture Technical Paper No. 523, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 85 (2009)
- 2) C. Morishige and K. McElwee: At-sea Detection of Derelict Fishing Gear in the North Pacific, An Overview, Vol. 65, No. 1-3, pp. 1-6 (2012)
- 3) C. Moor and C. Phillips: プラスチックスープの海, 海輪由香子訳, NHK 出版 (2012)
- 4) T. Matsuoka, T. Nakashima and N. Nagasawa: A Review of Ghost Fishing: Scientific Approaches to Evaluation and Solutions, Fisheries Science, Vol. 71, No. 4, pp. 691-702 (2005)
- 5) D. Lee, H. Cho and S. Jeong: Distribution Characteristics of Marine Litter on the Sea Bed of the East China Sea and the South Sea of Korea, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 70, No. 1-2, pp. 187-194 (2006)
- 6) P. Zhou, C. Huang, H. Fang, W. Cai, D. Li, X. Li and H. Yu: The Abundance, Composition and Sources of Marine Debris in Coastal Seawaters or Beaches around the Northern South China Sea (China), Vol. 62, No. 9, pp. 1998-2007 (2011)
- 7) 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)
- 8) T. 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)
- 9) J. Yoon, S. Kawano and S. Igawa: Modeling of Marine Litter Drift and Beaching in the Japan Sea, Vol. 60, No. 3, pp. 448-463 (2010)
- 10) 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, 第 22 巻, 第 5 号, pp. 285-292 (2011)
- 11) 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, 第 24 巻, 第 6 号, pp. 521-530 (2011)
- 12) 山口春幸: 深刻な海岸漂着ごみ汚染, 月刊廃棄物, 第 2003 巻, 第 3 号, pp. 2-23 (2003)
- 13) 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)
- 14) 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, 第 21 巻,

- 第 6 号, pp. 226–235 (2010)
- 15) 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, 第 23 巻, 第 5 号, pp. 232–239 (2012)
 - 16) 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)
 - 17) 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)
 - 18) 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)
 - 19) 道祖土勝彦, 雨宮恵司, 佐藤秀人, 岡部顕史, 小川直人, 釜谷保志, 木暮一啓, 西村昌彦, 奥川光治, 楠井隆史: 沖縄沿岸における漂流・漂着ポリスチレン由来のスチレンオリゴマー汚染の分析, 分析化学, 第 61 巻, 第 7 号, pp. 629–636 (2012)
 - 20) E. Nakashima, A. Isobe, S. Kako, T. Itai and S. Takahashi: Toxic Metals Derived from Plastic Litter on a Beach, Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, pp. 32–328 (2012)

Measuring Wrack Floats Originating from East Asia's Marine Products Industry

Tamon Okano* and Ikumi Kato*

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

† Correspondence should be addressed to Tamon Okano :
Department of Chemistry and Biotechnology, Graduate School of Engineering,
Tottori University
(4–101 Koyamachominami, Tottori 680–8550 Japan)

Abstract

The amount of accumulated plastic debris and wrack quantities of fishery floats were measured on beaches in Tottori Prefecture, Japan. The weight of the accumulated plastic debris totaled 387 kg, out of which litter from the marine products industry equaled a 36 weight percentage (13.9 kg/hm). A total of 35,512 floats were recorded during monthly monitoring from 2005 to 2012. The quantity of EPS floats was 8.9 kg/(hm·y) [11.8 pcs/(hm·y)] and the quantities of big and small floats made of materials other than EPS (long axis divided by 15 cm) were 9.5 kg/(hm·y) [7.2 pcs/(hm·y)] and 4.4 kg/(hm·y) [107.8 pcs/(hm·y)] respectively. The total was 22.8 kg/(hm·y), which is far heavier than the total weight of PET bottles less than 1 L in volume (4.0 kg/(hm·y)). These findings indicate that the marine products industry in East Asia is responsible for discharging large quantities of artificial litter into the sea. In order to reduce marine fishery litter, it is therefore necessary for individual measures to be taken up in Asian countries. The effectiveness of such measures can be readily measured on the basis of this study.

keywords : floating marine debris, accumulated beach litter, ghost fishing gear, fishing float, fishery buoy