

携帯電話搭載型フロートによる 河川漂流ゴミ挙動の検討

BEHAVIOR OF FLOATING-LITTER IN A RIVER USING FLOATS WITH MOBILE PHONES

守田千里¹・二瓶泰雄²・尾ノ井龍仁³

Chisato MORITA, Yasuo NIHEI and Tatsuhito ONOI

¹正会員 学 (工) 大成建設東京支店 芝浦水再生センター (元東京理科大学学部生)

²正会員 博 (工) 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科
(〒278-8510千葉県野田市山崎2641)

³学生員 学 (工) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程

Marine litter is mainly supplied from inland area through rivers under hydrologic events. However there have been little information for quantity and quality of floating litter through rivers into coastal region and further behavior of floating litters in river and coastal area. In the present study, GPS floats with mobile phone were used to track a Lagrangian behavior of floating litters in rivers under floodings. In this study, we conducted field measurements of 10 GPS floats in two flooding events in Egogawa River. The results indicate that most of GPS floats were drifted in banks of river mainly due to wind stress. It is found that the moving distance of GPS float for simulated vegetation was larger than that for simulated artificial debris.

Key Words : marine litter, float, flood, mobile phone, GPS

1. 序論

沿岸部に大量に漂着するゴミは、漁業被害や海岸部・海底部における環境汚染、港湾内における航行障害などを引き起こす要因となるため、ゴミ漂着後には適宜回収する必要がある^{1)~4)}。現行では、ゴミ回収の費用や労力を地先の地方自治体や管理者が負担しているが、ゴミの起源の大部分が陸域(流域)であることを想定すると¹⁾、土砂管理等に倣って“流域一貫ゴミ管理”を実現し、ゴミ問題を陸域を含めて取り扱う必要がある。しかしながら、これまでの漂着ゴミ問題に関する調査研究は、直接問題が生じている沿岸域のみに集中している^{2)~7)}。そのため、ゴミ問題の原因の大部分を占めると目される河川から沿岸域へのゴミ流入量及び河川における漂流ゴミの挙動や発生量については把握されてこなかったのが実情である。

このような現状を打破するために、著者らは、まず出水時河川における漂流ゴミ輸送量調査法を確立し、中小河川(千葉県大堀川)のゴミ輸送量が出水時に卓越する

ことを把握した⁸⁾。また、そのゴミ調査方法を大河川用に発展させて、東京湾に流入する江戸川において出水時ゴミ輸送量調査を実施し、ゴミ輸送量 L と流量 Q の相関関係やそれに基づく東京湾への総ゴミ輸送量を評価するとともに、漂流ゴミの中身として、ペットボトルやプラスチック製品等の“人工系ゴミ”よりも植生等の“自然系ゴミ”が大部分を占めることを明らかにした⁹⁾。さらに、最近では、水位変動を用いた新たな漂流ゴミ輸送量評価法を提案するとともに¹⁰⁾、自然系ゴミの主要部分である草本類の流出形態や破壊を引き起こす水理条件の検討を行っている¹¹⁾。しかしながら、そこでは主として一断面におけるゴミ輸送量に焦点を当てていたため、実際に漂流ゴミの何(What)が、いつ(When)、どのように(How)河川を流下し、どこに(Where)漂着するか、さらにそれらのメカニズムは?(Why)、という漂流ゴミ動態の“4WIH”はブラックボックスのままである。

そこで本研究では、GPS搭載の携帯電話が普及していることを利用して、漂流ゴミを模擬した携帯電話搭載型フロートを作製し、それを平常時・出水時の河川に放流

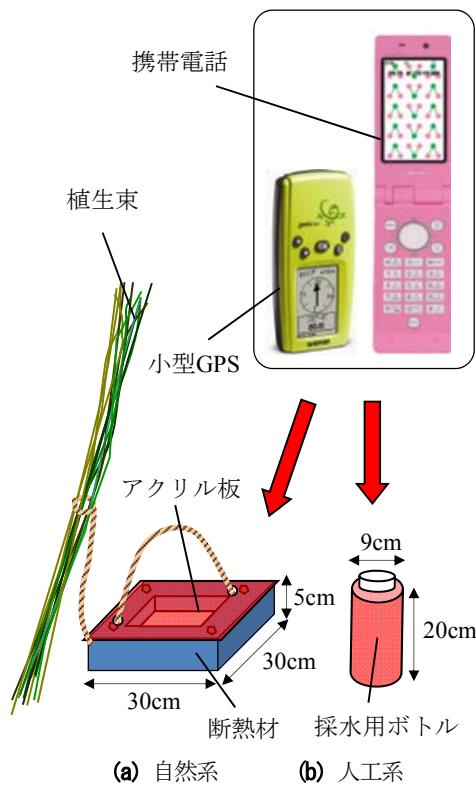


図-1 漂流ゴミ追跡用フロートの概略図

し、漂流ゴミのラグランジュ的挙動を追跡・把握することを試みた。ここでは、漂流ゴミとして植生等の自然系ゴミやペットボトル等の人工系ゴミを模したフロートを江戸川中流部に位置する野田橋（河口から39km）から放流し、それらの挙動を追跡した。出水時にはフロート群のうちの一部が30km以上流下して河口付近や東京湾沿岸部にまで到達しており、それらのラグランジュ的挙動や漂流・漂着過程について、以下に記述する。

2. 現地観測の概要

(1) 携帯電話搭載型フロートについて

これまでGPSを搭載したフロート調査は、主として海流や沿岸流計測に用いられており^{12)~14)}、GPSセンサの小型化に伴って安価でハンドリングが容易なフロートも試作されている¹³⁾。また、河川流計測へのGPSフロートも適用されており、河川水のラグランジュ的挙動や移流・分散過程について検討されている¹⁵⁾。

近年の携帯電話において、GPS機能や現在位置検索アプリケーションを一般ユーザーが誰でも使用できる状況を鑑みて、本研究では、GPS機能・位置検索機能を持つ携帯電話を搭載したフロートを用いて、漂流ゴミのラグランジュ挙動調査を行うことを試みる。漂流ゴミ輸送が卓越する出水時における調査を念頭にして、漂流ゴミを放流し、河川内の漂流ゴミ位置を適切に記録し、出水が終わった後に着実に回収できるようにするために、図-1

表-1 観測で用いるGPSセンサーの仕様

	携帯電話	小型GPS
製品名	F-05A	geko201
サイズ[mm]	48×105×19.1	48×98×23
質量[g]	120	96
保存点数	100	10,000
電池寿命[hour]	約400*	約12
測地精度[m]	5~	5~15
記録時間間隔[min]	60	1

*連続待ち受け状態の結果

に示すGPSフロートを作製している。ここでは、人工系ゴミと自然系ゴミに分けてフロートを作製している。具体的には、人工系ゴミ用のフロートには採水ボトル（外径9cm、長さ20cm）を用いる。自然系ゴミ用のフロートには、河川植生の優占種であるイネ科植物⁹⁾の束の中心をロープで断熱材（30cm四方、厚さ5cm）に結び付けた形としている。

このフロートに搭載するGPSセンサーとしては、GPS機能搭載携帯電話（F-05A、株NTTドコモ製）に加えて、一般的な小型GPSロガー（Geko201、Garmin社製）を用いる。研究開始当初は、携帯電話のみを搭載する予定であったが、携帯電話の性能は、表-1に示すように、位置の保存点数がわずか100点しかなく、漂流中におけるフロート位置の記録が不十分になる可能性がある。そのため、ここでは、一般の小型GPSロガーも合わせて搭載している。ただし、用いた小型GPSロガーは、電池寿命が約12時間であるため、フロート軌跡としては、フロート放流開始後から12時間程度は小型GPSロガーの位置データを用い、それ以降については携帯電話のGPSデータを用いる。また、放流中のフロートの現在位置や出水後にフロートを回収する際には、携帯電話の位置検索機能を用いる。なお、両GPSセンサーの測地精度は、メーカー公表値としては表-1に示すとおりであるが、実際に測地精度テストを行ったところ、両者ともに測地精度が概ね5~10mとなり、漂流ゴミ追跡には全く問題ないことが確認された。

このような人工系フロートと自然系フロートをそれぞれ5台（計10台）作製した。自然系フロートに上記の2つのGPSセンサーを取り付ける際には、これらのGPSセンサーをプラスチックケースに入れ、それを中央上部がくり抜かれた断熱材にはめ込む形としている（図-1）。また、人工系フロートには、そのままボトル内にGPSセンサーを入れているだけである。これらのフロートの喫水は、GPSセンサーや携帯電話を入れた状態で、自然系では約1cm、人工系では約4cmとなる。そのため、空中



図-2 観測サイト

に露出する高さは、自然系・人工系フロートにてそれぞれ 4cm, 7cm となる。なお、断熱材や GPS センサーを取り付けた自然系及び人工系フロートが、これらを取り付けない状態の漂流ゴミと一致した挙動をするかを確認するために、平常時において両者を同時に放流させるという予備観測を行った。その結果、両者のフロートは概ね同様の流下距離となっていることが確認され、本論文で用いるフロートは実際の漂流ゴミの挙動と概ね一致しているものと見なして問題ない。

(2) フロート調査概要

これらのフロートを用いて、漂流ゴミのラグランジュ観測を行った。図-2 は観測サイトである江戸川の位置と周辺のアメダス観測地点を示す。フロートの放流地点は江戸川・野田橋 (+39km) であり、平常時 (2010/8/11, 野田橋水位 4.20Y.P.m) にはゴムボートからフロート 10 台を横断面全体にわたり同時放流し、川岸に引っかかったものは順次回収し、最終的に玉葉橋 (野田橋から 4km 下流) で全て回収した。

また、台風 1012 号 (同年 9/24~10/1, H.W.L.: 6.09Y.P.m) と台風 1014 号 (同年 10/31~11/2, H.W.L.: 7.22Y.P.m) の出水時には、野田橋上から低水路中央部に自然系・人工系フロート 1 台ずつを同時に放流した。出水後に携帯電話を利用してフロートの位置を特定し、放流した延べ 16 台のフロートを全て回収した。出水中のフロート放流のタイミングと台数は、台風 1012 号時では、増水期、ピーク期、減水期と 3 回に分け、毎回自然系・人工系フロー

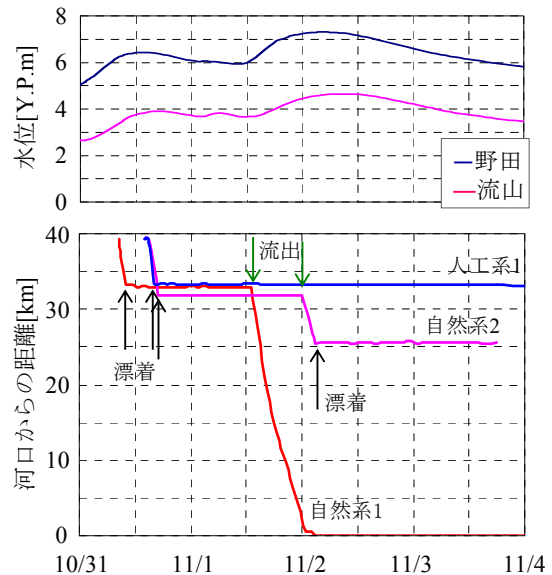


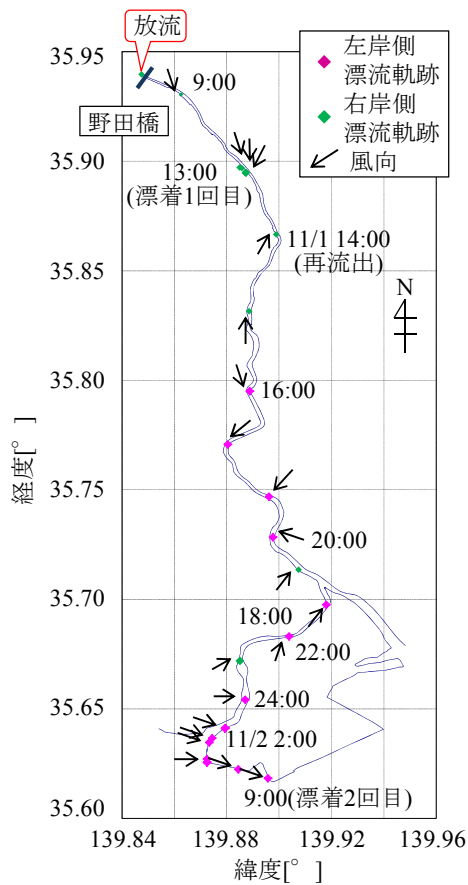
図-3 出水時における漂流ゴミの流下特性 (台風 1014 号)

ト 1 台ずつ (合計 6 台) を同時放流した。この結果を踏まえて、台風 1014 号時では、増水期から水位ピーク期にかけて 4 回 (3 回は両フロート, 1 回は自然系フロートのみ) 放流した。この時の観測スケジュールとしては、最初の放流は 10/31 8:37 であり、それから概ね 3 時間間隔で放流した。なお、今回の出水規模は小さく、下流部の行徳可動堰は閉鎖していたため、洪水流は全て旧江戸川へ流れた (図-2)。

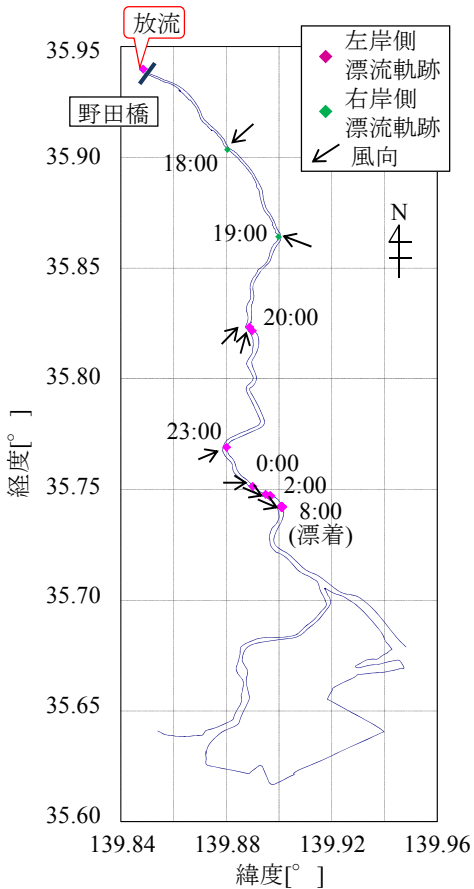
3. 観測結果と考察

(1) 出水時・平常時における漂流ゴミの流下特性

出水時における漂流ゴミの流下状況を把握するために、台風 1014 号時における自然系フロート 2 台及び人工系フロート 1 台の流下位置の時間変化を図-3 に示す。ここでは、各フロートの流下位置を河口からの距離に換算して表示しており、また、野田 (39km) と流山 (28km) の水位データも合わせて表示している。この出水イベントでは二山の水位ピークがある。これを見ると、自然系フロート 1 (以下、自然系 1 と略す) は、10/31 9 時頃に放流され、一山目の増水期 (放流開始から 4 時間後) には 33km 地点に漂着したが、二山目の増水初期に再流出し、水位ピークに達する前の 11/2 3 時には東京湾沿岸部に流出し、9 時ごろ舞浜付近に漂着した。一方、10/31 14 時に同時放流された自然系 2, 人工系 1 は各々 32km, 33km 地点に漂着し、自然系ゴミの移動距離が長かった。また、自然系 2 も二山目の洪水の増水後期に再流出し、最終的には水位ピーク付近で 26km 地点に漂着した。このように、人工系と自然系フロートの流下特性は異なることや、



(a) 自然系1 (10/31 8:37放流)



(b) 自然系4 (11/1 17:00放流)

図-4 自然系フロートの流下軌跡と風向 (台風1014号)

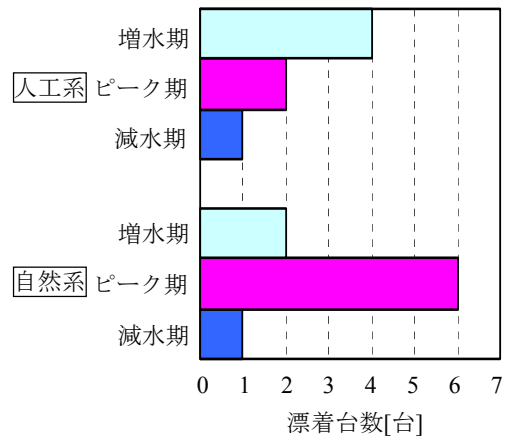


図-5 出水時における漂流ゴミの漂着時期

ロートの漂着時期は増水期や水位ピーク期に多く表れていることが見てとれる。

また、平常時におけるフロート放流結果としては、自然系フロートは回収地点である玉葉橋に全て到達したのに対して、人工系フロートは5台中1台しか玉葉橋まで流下せず、残りは途中で漂着した。このように、平常時においても自然系・人工系フロートの流下距離に明確な違いが現れていることが分かる。

(2) 漂流ゴミの輸送経路

出水時に漂流ゴミがどのような経路で輸送されるのかを把握するために、台風1014号出水時における自然系フロートの流下軌跡を図-4に示す。ここでは、自然系フロート1 (10/31 8:37放流)、フロート4 (11/1 17:00放流)の1時間ごとに得られる位置データを漂流軌跡としており、また各々の時刻において、気象庁アメダス地点(我孫子)における風向データを表示している。これを見ると、自然系1では、10/31 13時に一度漂着したものの、翌日11/1 14時に再流出し、最終的には東京湾に流出している。一方、自然系4については、輸送過程で一度も漂着することなく、約25km輸送されている。

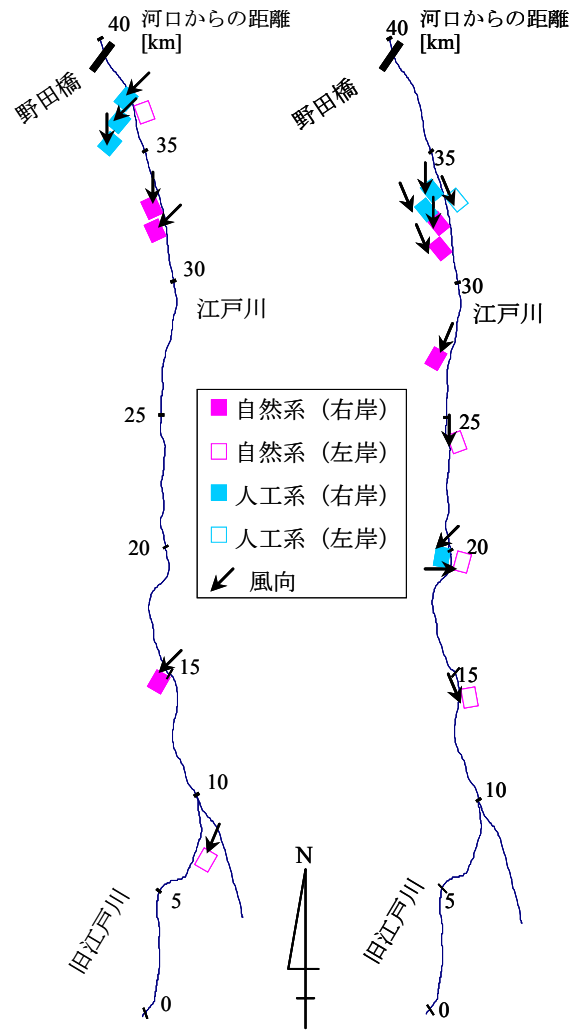
また、それぞれの漂流軌跡を比較すると、相対的に河川の湾曲に沿って外岸側を漂流していることが見てとれる。これは一般的な、河道の蛇行による二次流の影響を受けて、フロートが外岸に大きく膨らみながら輸送されていることが考えられるが、中には、内岸側を通過しているものも数多く存在した。この結果を踏まえた上で、図中に示された風向に着目すると、内岸側を漂流するのは、風の影響を受けることで、風下側に吹き寄せられていることが分かる。これは、野田橋での漂流ゴミ輸送量調査において、低水路法線形や風向により、横断地点でゴミ輸送量が異なることと対応する¹⁰⁾。したがって、漂流ゴミの輸送軌跡に関しては、河道の法線形や風の影

響を大いに考慮する必要があると考えられる。

(3) ゴミの漂着時期

いつ漂流ゴミが河岸に漂着するかを定量的に示すために、人工系・自然系フロートの漂着時期を図-5に示す。ここでは、増水期とピーク期（HWLの前後3時間）、減水期と分け、各期間に漂着したフロート台数を表示する（台風1012号と1014号出水時データを対象）。また、ここでの水位変動期の分類に際しては、野田（39km）と流山（28km）、三郷（24km）の3つの水位観測地点のうち最も近かった地点の水位データを用いている。なお、江戸川下流域は、江戸川水閘門（河口から9km）の開閉状況の影響を受ける湛水域となっているため、今回のような小規模出水では、下流部の水位データから増水期・減水期の判定が難しいことから、ここでは三郷地点を下流部の水位代表地点として選定している。

これより、人工系フロートにおいて漂着台数は増水期の方がピーク期より多く、自然系フロートではピーク期に集中していることが分かる。減水期に漂着した両フロートは放流時期が減水期であったためであり、増水期もしくはピーク期に放流されたフロートは減水期まで流れてはならず、その前に漂着していることが明らかとなった。これは、漂流ゴミ輸送量が増水期やピーク期に卓越し、減水期に小さくなることと対応する⁹⁾。また、人工系フロートの方が自然系フロートよりも漂着時期が相対的に早く、結果として、流下距離も短かった。



(a) 台風1012号 (b) 台風1014号
図-6 フロートの漂着位置

(4) ゴミの漂着位置

どこに漂流ゴミが漂着するかを定量的に検討するために、フロートの漂着位置を図-6に示す。ここでは、台風1012号と1014号出水時のデータを対象とし、漂着した河岸の位置を右岸側と左岸側に分けて表示している。また、漂着時の風向も合わせて図示している。これを見ると、人工系フロートの漂着位置は、相対的に自然系フロートよりも上流部に位置しており、人工系フロートの流下距離が相対的に短いことが分かる。

このようなゴミの種類による漂着位置や流下距離の違いを把握するために、漂着位置と河道平面形の間を関係を図-7に示す。ここでも両出水時データを対象とする。これより、内岸側に漂着した台数は自然系フロートでは11個中5個と半分であるのに対し、人工系フロートでは7個中6個と大部分を占めている。湾曲部における二次流構造の影響を受けると、一般には、フロートは外岸側に漂着するものと考えられるが、ここでは逆の結果となっているが分かる。そこで、漂着した河岸と風向の関係をみると、図-6に示すように、フロート全てが風下側の河岸に漂着していた。表面を浮遊するフロートは空気抵抗の影響により風下側の河岸に吹き寄せられ易く、その

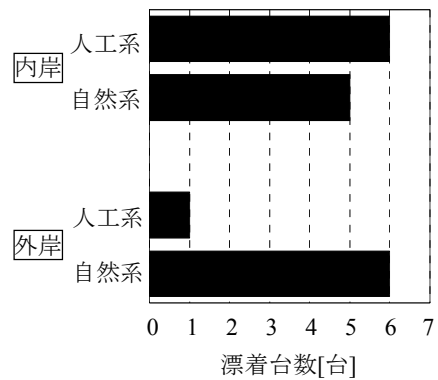


図-7 漂着位置と河道平面形の関係

影響は空中部の投影面積が相対的に大きい人工系フロートの方が顕著である。このことから、風による空気抵抗を受け易い人工系ゴミの方が河岸に吹き寄せられて漂着し易いため、移動距離が相対的に短くなると考えられる。なお、フロートの漂着過程には、河道法線形や風向のみならず、側岸の形状も関係しているものと考えられるが、今回は漂着部における側岸構造に関しては十分な調査をしておらず、今後の検討課題である。

4. 結論

本研究では、東京湾流入河川の一つである江戸川を対象とし、漂流ゴミを模したGPSフロートを用いて、それらのラグランジュ的挙動や漂流、漂着過程について調査を行った。得られた結論は以下の通りである。

(1) 台風1014号出水時は水位に2回のピークがあり、自然系フロートはいずれも一山目の増水期に漂着したものの、二山目の増水期初期に再び流出した。人工系と自然系では流下特性が異なり、またフロートの漂着時期は増水期や水位ピーク期に多いことが明らかとなった。

(2) 漂流軌跡を比較すると、相対的に河川の湾曲に沿って外岸側を漂流していた。これより、河道の蛇行による二次流の影響を受けて、フロートが外岸に大きく膨らみながら輸送されていることが考えられるが、風の影響を受けて内岸側を通過しているものも存在した。漂流ゴミの輸送軌跡を検討する際には、河道法線形及び風の影響を考慮することが必要であることが示された。

(3) フロートの漂着時期は、人工系フロートでは増水期の方がピーク期より多く、自然系フロートではピーク期に集中している。また、人工系フロートの方が自然系フロートよりも漂着時期が早く、結果として、流下距離も短かった。

(4) 内岸側に漂着したフロート台数は自然系では半分、人工系では多数を占めていた。空中での投影面積が大きい人工系ゴミの方が風による空気抵抗を受け易く、河岸に吹き寄せられて漂着し易いため、移動距離が相対的に短くなるものと考えられる。

謝辞：本研究の一部は、(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業(研究代表者：二瓶泰雄)によって実施された。現地観測の実施に際して、東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室学生諸氏に大変お世話になった。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 小島あずさ, 眞淳平: 海のゴミ—拡大する地球環境汚染, 中公新書, pp.1-232, 2007.

- 2) 山口晴幸: 外国から漂着するゴミによる海岸汚染, 土木学会誌, Vol.83, No.3, pp.60-62, 1998.
- 3) 藤枝繁, 小島あずさ, 兼広春之: ディスパーザブルライターを指標とした海岸漂着ごみのモニタリング, 廃棄物学会論文誌, Vol.17, No.2, pp.117-124, 2006.
- 4) 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, Vol.21, pp.226-235, 2010.
- 5) 藤枝繁, 小島あずさ, 金子博: 国内海岸漂着ごみのモニタリング手法の整理と今後の進め方, 沿岸域学会誌, Vol.18, No.4, pp.93-100, 2006.
- 6) 日向博文, 諸星一信, 金津伸好: HF レーダーによる漂流ゴミ回収効率化の試み, 沿岸海洋研究, Vol.45, No.2, pp.105-114, 2008.
- 7) S. Kako, A. Isobe, S. Magome, H. Hinata, S. Seino, and A. Kojima: Establishment of numerical beach litter hindcast/forecast models: an application to Goto Islands, Japan, *Mar. Pollut. Bull.*, Vol.62, pp.293-302, 2011.
- 8) 二瓶泰雄, 若月宣人: 洪水時河川における浮遊ゴミ輸送量計測の試み, 土木学会論文集 B, Vol.66, No.1, pp.19-24, 2010.
- 9) 二瓶泰雄, 白川明宏, 鈴木達裕, 赤松良久: 出水時大河川における浮遊ゴミ輸送特性に関する現地観測と湾内 DO 環境へ及ぼす影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1171-1175, 2010.
- 10) 尾ノ井龍仁, 二瓶泰雄: 水位時間変化率に基づく新たな漂流ゴミ輸送量評価法の提案, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, pp.1076-1080, 2011.
- 11) 加茂川優紀, 二瓶泰雄: 出水時における河川内草本類の破壊条件に関する基礎的研究, 河川技術論文集, Vol.17, pp.239-244, 2011.
- 12) 栗山善昭: 沿岸域における潮流・海浜流観測, 環境圏の新しい海岸工学(榎木亨 監修), フジテクノシステム, pp.496-500, 1999.
- 13) 灘岡和夫, 波利井佐紀, 三井順, 田村仁, 花田岳, Enrico Paringit, 二瓶泰雄, 藤井智史, 佐藤健治, 松岡建志, 鹿熊信一郎, 池間健晴, 岩尾研二, 高橋孝昭: 小型漂流ブイ観測および幼生定着実験によるリーフ間広域サンゴ幼生供給過程の解明, 海岸工学論文集, Vol.49, No.1, pp.366-370, 2002.
- 14) 西隆一郎, 萩尾和央, 山口博, 岩根信也, 杉尾毅: 水難事故予防のための離岸流調査に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, Vol.50, No.1, pp.156-160, 2003.
- 15) 江端萌奈美, 二瓶泰雄: GPS フロートに基づく河川流のラグランジュ的観測, 水工学論文集, Vol.50, pp.703-708, 2006.

(2011.9.30 受付)