

淡路島・成ヶ島に漂着する 浮遊ごみの実態把握調査

STUDY ON DRIFTED OBJECTS AROUND THE COAST OF THE NARUGASHIMA ISLAND

宇野宏司¹・近藤文音²・辻本剛三³・柿木哲哉⁴

Kohji UNO, Ayane KONDOH, Gozo TSUJIMOTO and Tetsuya KAKINOKI

¹正会員 博(工) 神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 (〒651-2194 神戸市西区学園東町8-3)

²非会員 防衛省 東海防衛支局 (〒460-0001 名古屋市中区三の丸2丁目2番1号)

³フェロー会員 工博 神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 (〒651-2194 神戸市西区学園東町8-3)

⁴正会員 博(工) 神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 (同上)

To clarify the actual condition of the drifted objects around the coast of the Narugashima Island which is located in the eastern mouth of the Seto Inland Sea, Japan, field observation and numerical simulation were carried out. In the field observation, to grasp the space-time distribution of drifted object around this island, fixed-point monitoring and line survey were conducted. From the results of these observations, it was shown that the drifted objects in the side of inner bay have a greater tendency to be washed ashore than offshore. This tendency stands out in winter, because the northwesterly winter wind promotes the development of drift current. Moreover, we can see there is a good correlation between the amount of drifted object and the precipitation. These features were also seen in the results of numerical simulation.

Key Words : *Natugashima Island, Seto Inland Sea, drifted object, tidal current, the northwesterly winter winds*

1. はじめに

大阪湾湾口、淡路島の南東部に位置する成ヶ島(図-1)は、南北方向に約 2.5km、東西方向に数百 m 伸びる砂嘴状の島である。本島は、瀬戸内海国立公園の一部に指定され、アカウミガメ (*Caretta caretta*) の産卵地、ハクセンシオマネキ (*Uca lactea*) やハマボウ (*Hibiscus hamabo*) 等の貴重な動植物の生息地として知られる。本島と淡路島に囲まれた由良湾では、近年、水質悪化によって失われたアマモ場が回復傾向にあることが報告されており、本島を取り巻く自然環境は良好な状態を保っている¹⁾。

一方で、本島の海岸には、陸域から瀬戸内海へと流出し、大阪湾内の時計回りの循環流によって運ばれてきた浮遊ごみ(写真-1)が打ち上げられるため、これら浮遊ごみによる生態系への影響や景観の悪化が懸念されている。

浮遊ごみについては、これまでも継続的な調査が続けられ、その実態が明らかにされつつある^{2)~4)}。浮遊ごみ問題の根本的な解決策は、発生源と漂着過

程を明らかにすることにあると考えられるが、その機構はよく知られていないところである。そこで本研究では、浮遊ごみの漂着機構の解明に向けて、その第一歩として、成ヶ島における浮遊ごみの実態把握を目的とした現地調査を行った。また、成ヶ島周辺の浮遊ごみの漂着特性把握に関する数値シミュレーションを実施した。

2. 調査方法

(1) 浮遊ごみの実態把握に関する現地調査

成ヶ島では、地元住民のボランティア活動によって月 1 回程度の清掃活動が行われている。本調査は、これらの清掃活動の影響を極力避けるために、清掃が行われてから 2~3 週間後に調査を実施するように努めた。

a) 定点コドラート調査

由良湾に面する成ヶ島西岸(内湾)と大阪湾に面する成ヶ島東岸(沖側)の高潮線付近にそれぞれ定点コドラートを設け、2008 年 6 月~2009 年 1 月にかけて毎月 1 回コドラート内に漂着したごみの重量

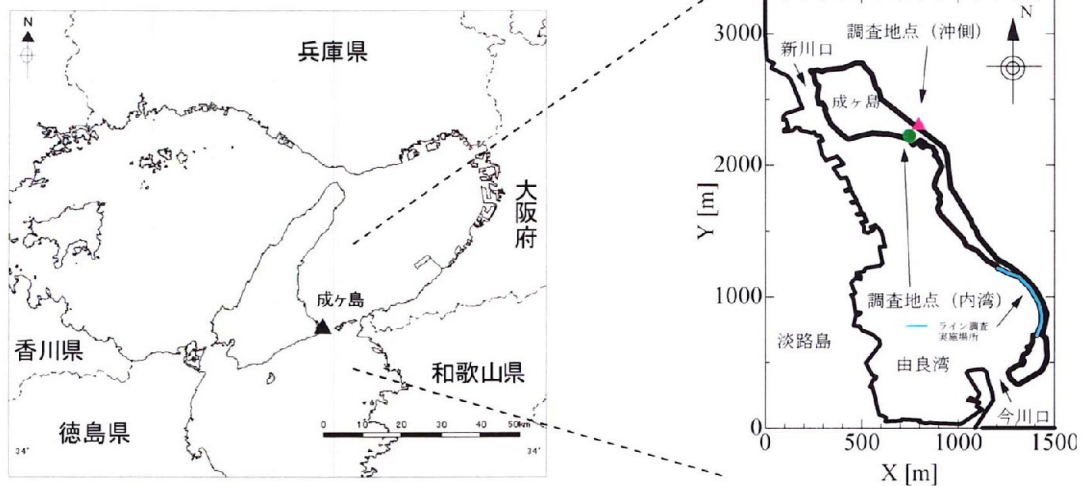


図-1 調査地点



写真-1 成ヶ島に漂着した浮遊ごみ

と種類を記録した（ただし、2008 年 6 月は沖側コードラートのみ調査を実施）。回収された浮遊ごみは、表-1 に示すとおり分類した。

b) ライン調査

漂着場所の時空間分布を把握するため、成ヶ島中央部から南部にかけて伸びる護岸上（図-1 参照）において、約 30m 間隔でデジタルカメラを用いた写真撮影を行い、汀線付近の漂着物の状況を撮影した。撮影画像から目視で明らかにゴミであると判別できる物体（主としてペットボトルや発泡スチロール）の個数をカウントし、「護岸北部」、「護岸中央部」、「護岸南部」の 3 領域でそれぞれ集計した。

(2) 浮遊ごみ漂着特性に関する数値シミュレーション

浮遊ごみの漂着過程を明らかにすることを目的として、由良湾を含む成ヶ島周辺海域を解析対象とした 2 次元 FEM 潮流シミュレーションを実施した。表-2 に計算モデルの概要を示す。本モデルでは、浮遊ごみを中立粒子に見立てて Lagrange 的に追跡することで、その漂着過程を検討する。開境界部を与える M_2 潮位は周辺海域での観測データ⁵⁾を参考

表-1 ごみの分類項目

No.	項 目
1	ペットボトル
2	缶類
3	ビン類
4	食品トレイ
5	紙バック
6	ライター
7	ボール
8	漁具
9	袋類
10	流木
11	ストランディング（死骸）
12	その他

表-2 シミュレーションモデルの概要

項 目		内 容
計算領域		南北 3.5km 東西 2km
節点数		947節点
要素数		1652要素
計算時間ステップ		0.2秒
潮汐	周期	12時間25分
	振幅	0.870m（大潮） 0.435m（小潮）
河川水の流入		考慮せず
浮遊ごみの初期位置		75m間隔で 格子状に配置

に決定した。なお、由良湾には複数の小河川が流入しているが、そのほとんどが河口閉塞を引き起こして川－海の連続性が断たれていたり、流量が極めて小さいことなどから本計算では河川水の流入は全く考慮していない。

計算は 1 潮汐間（12 時間 25 分）の助走計算で流

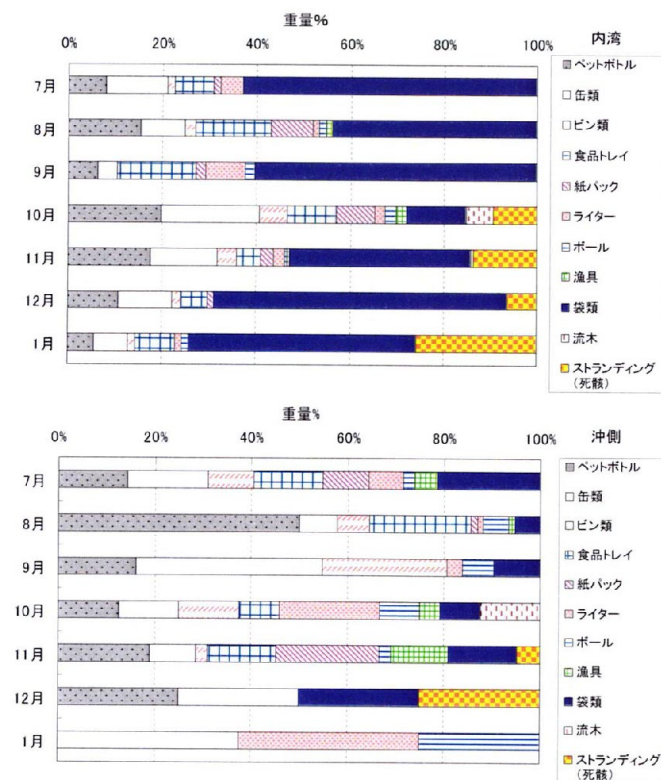


図-2 回収ごみの項目別重量割合

動場を再現した後、浮遊ごみを 75m 間隔の格子状に配置し、7 潮汐分の追跡計算を行った。

なお、浮遊ごみの移動分散については、早川ら⁶⁾の方法によって評価した。本手法によると、計算 1 ステップあたりの x 方向の移動距離は、分散を考慮して次式で評価される。

$$\Delta x = \left[\frac{u \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} \Delta t \right) + \frac{1}{2} v \frac{\partial u}{\partial y} \Delta t}{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial x} \Delta t \right) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} \Delta t \right) - \frac{1}{4} \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} (\Delta t)^2} \right] \Delta t + \gamma \sqrt{2K\Delta t} \quad (1)$$

ここに、 γ は平均値 0、標準偏差 1 の正規乱数、 K は乱流拡散係数である。陸域に到達したとみなされる浮遊ごみについては、到達点の海岸形状が直立護岸の場合は到達直前の水域に滞留し、自然海岸の場合は打ち上げられて漂着するものとした。なお、一度漂着した場合でも、水位の上昇によりごみ到達点が再び水没する場合はその地点から追跡計算を再開するものとした。

3. 調査結果及び考察

(1) 浮遊ごみの実態把握に関する現地調査

図-2 に回収された浮遊ごみの項目別重量割合を示す。内湾についてみると、2008 年 10 月を除く各月で袋類の占める割合が一番大きくなっていること

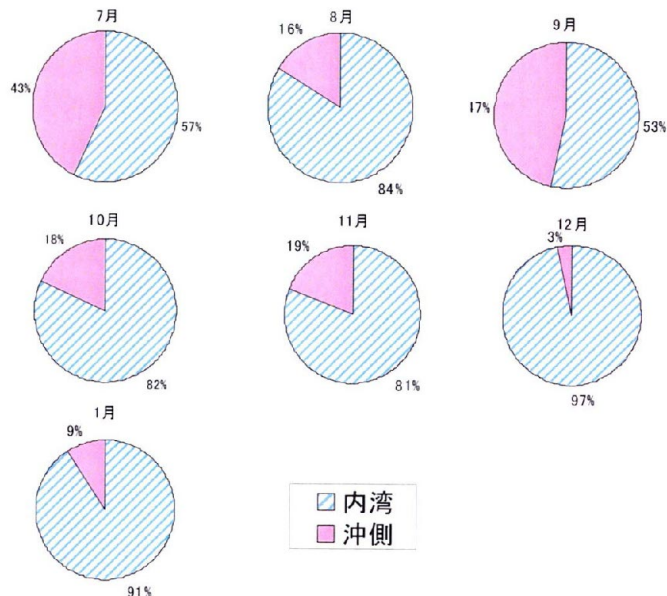


図-3 回収ごみの重量比

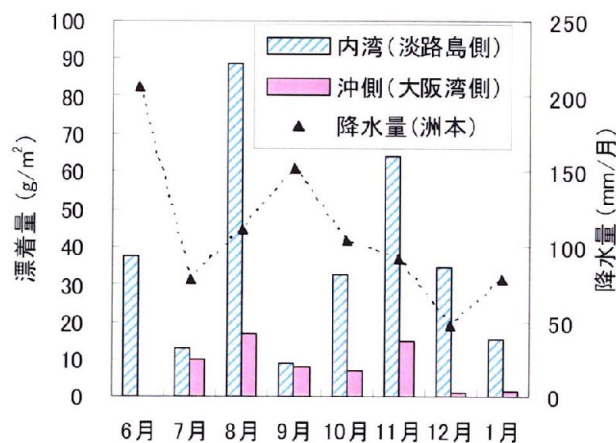


図-4 浮遊ごみ量と降水量の時間変化

がわかる。一方、沖側については、月ごとに漂着するごみの割合が大きく変化していた。また、内湾、沖側とも秋以降にストランディング（動物の死骸）として、コウイカの甲の出現が確認された。一般に、コウイカは春から初夏にかけて浅場を訪れ、藻などに産卵した後死亡することが知られており、アマモ場の発達した由良湾においても、同様の現象が見られることがわかる。これら浮遊ごみの多くは、漁具等を除いてはほとんどが陸域起源のものであった。また、中国や韓国等、アジア諸国からの漂着物も確認された。

図-3 に回収された浮遊ごみの重量比を示す。調査期間中の全ての月において、内湾の浮遊ごみ量が沖側の浮遊ごみ量を上回っていることがわかる。また、この図より、冬季に向かうにつれて、沖側に比べて内湾への漂着量の比率が増す傾向がうかがえる。

陸域で生じたごみは、主として河川によって瀬戸内海へと運ばれ、成ヶ島に到達しているものと予想される。したがって、浮遊ごみ量は河川流量と何ら

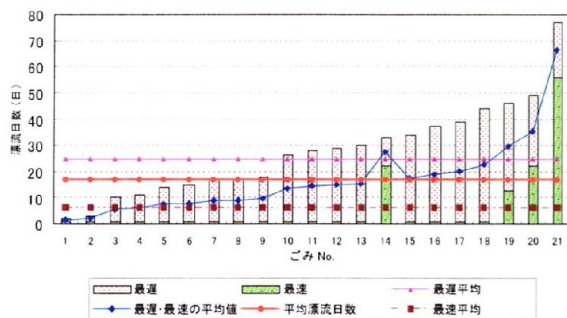


図-5 ごみの漂流期間（菓子パン袋）

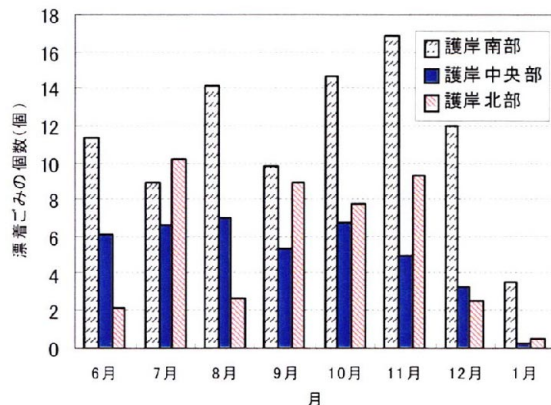


図-6 浮遊ごみの時空間分布

かの相関があるものと思われる。しかしながら、現時点では正確な河川流量データの入手が困難なことから、本研究では河川流量の代わりに降水量（気象庁アメダスデータ）を用いて、両者の応答関係を検討することとした。

図-4 に回収された浮遊ごみ量と降水量（観測点：洲本）の時間変化を示す。降雨量が多かったのは2008年6月と9月であるが、その2ヶ月後の8月、11月に内湾、沖側ともに浮遊ごみが増える傾向がみられた。また、降雨量の少ない月の2ヶ月後には、やはり漂着するごみの量も少なくなっていた。このことから、瀬戸内海各地での発生した浮遊ごみが、瀬戸内海南東部に位置する成ヶ島に漂着するまでに平均2ヶ月ほどの時間を要するものと考えられる。

ところで、浮遊ごみの中には賞味（消費）期限が明記されているものも少なくない。特に菓子パンなど製造日から賞味（消費）期限日までの間隔が短いものについては、賞味期限の日消費されたと仮定することで、大まかではあるが、ごみの漂流日数を算出することができる。ここでは、ごみが到達するのに最も日数を要する最遅日数は、（ごみ回収日）－（賞味期限日）で算出し、ごみが最も早く到達する最速日数は、（前回回収日翌日）－（賞味期限日）で算出するものとした。

図-5 にごみの漂流期間（菓子パン袋）を示す。全調査期間内に21個もの菓子パン袋が回収されたが、算定の結果、早ければ平均6日、遅くとも25日程度で到達していることがわかった。安易に打ち上げ

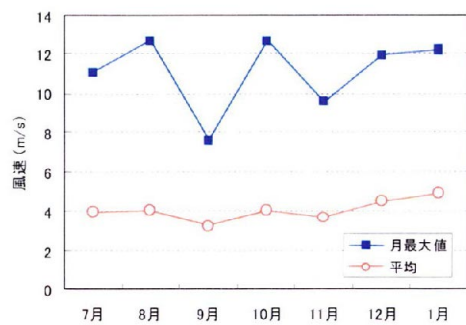


図-7 最大風速と平均風速の時間変化

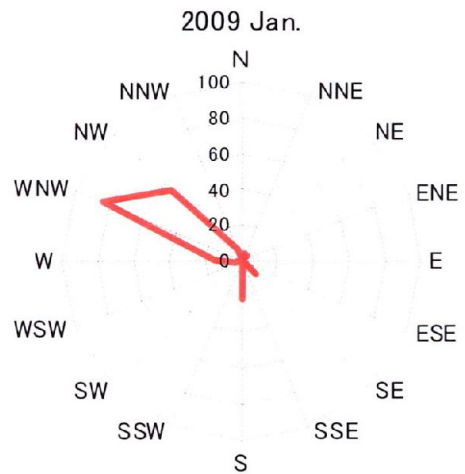
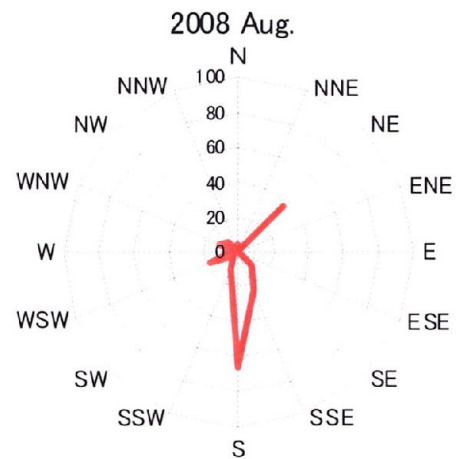


図-8 出現風向頻度（観測点：洲本）

られやすい菓子パン袋のようなごみは、発生場所と漂着場所がそれほど離れていないものと予想されるが、推定された漂流日数からその可能性が高いことが示された。

次に浮遊ごみの漂着場所の空間特性について考察する。一般に浮遊ごみは海岸一帯に様に押し寄せるとはならず、地形や流れの影響を受けて、その漂着場所には空間的な差異を生じるものと思われる。そこで、ライン調査の結果をもとに、浮遊ごみの漂着場所の空間分布について検討した。

図-6 にライン調査で撮影された画像をもとに集計

表-3 計算ケース

計算ケース	潮汐	風
CASE-01	大潮	北西 8m/s
CASE-02		なし
CASE-03	小潮	北西 8m/s
CASE-04		なし

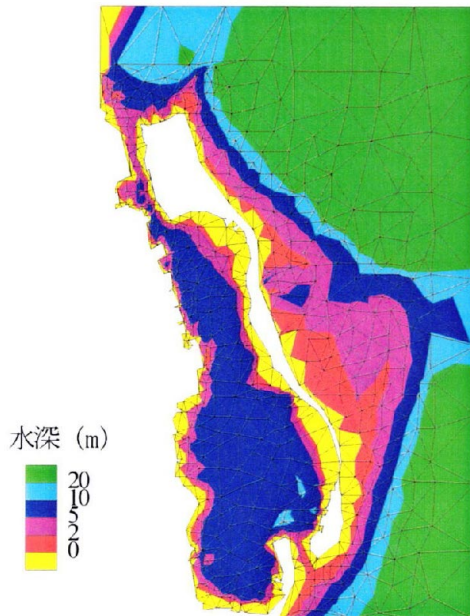


図-9 計算メッシュ

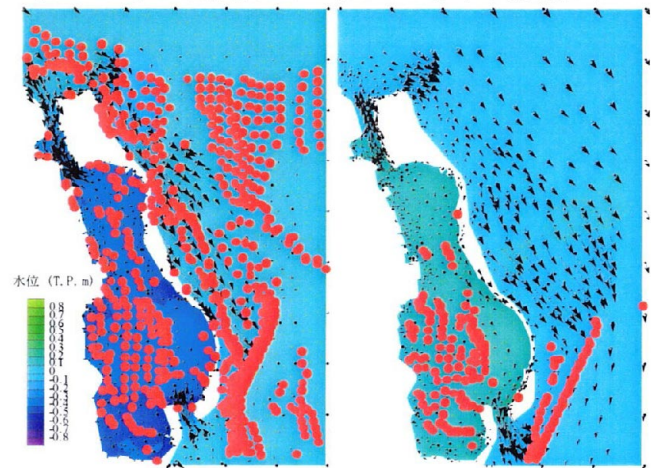
した浮遊ごみ量の時間変化を示す。いずれの月においても護岸南部での堆積量が多くなる傾向がうかがえる。また、コドラート調査の結果と同様に、冬季にはごみの量そのものが減少していることがわかる。

海域に到達したごみを輸送するものとしては、海流や潮流のほかに吹送流が考えられる。特に、海面付近を漂うごみは吹送流の影響を強く受けるものと予想される。したがって、浮遊ごみの漂着場所の空間分布の考察にあたっては、現場周辺の風の出現特性との関係を把握しておく必要がある。本研究では、アメダスの風向風速データ（観測点：洲本）から、現地周辺の風特性について整理することとした。

図-7 に最大風速と平均風速の時間変化を示す。また、図-8 に出現風向頻度を示す。2008 年は成ヶ島付近を通過する台風が無かったために、夏季には南寄りの風が卓越するが、最大風速は 10m/s 以下にとどまっていた。一方、平均風速についてみると冬季に強くなる傾向が伺える。北西方向からの風の出現が卓越していることから、冬季季節風が発達しているものと判断される。

図-6 の浮遊ごみの漂着場所の時空間分布についてみると、護岸南部に漂着するごみの比率は、冬季ほど高くなっていることがわかる。これは上述の北西季節風によって由良湾内のごみが護岸南部に吹き寄

【CASE-01】 上げ潮最強時 【CASE-01】 下げ潮最強時



【CASE-04】 上げ潮最強時 【CASE-04】 下げ潮最強時

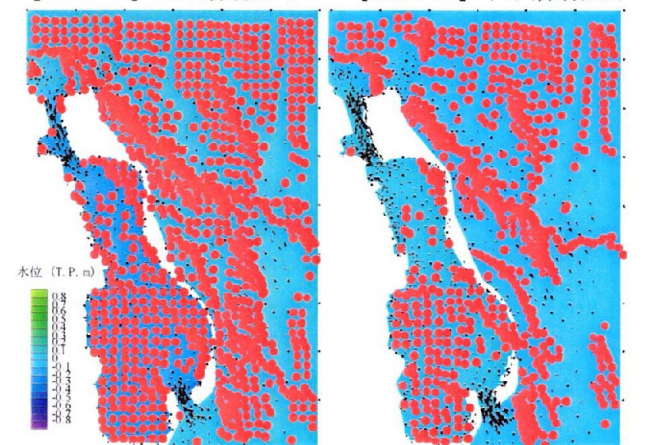


図-10 計算結果 (CASE-01 と CASE-04)

せられやすいためであると考えられる。また、コドラート調査において、沖側のごみ漂着量が減少することについても、冬季季節風の卓越により、ごみが岸に寄せられにくくなることが原因であると考えられる。

(2) 浮遊ごみ漂着特性に関する数値シミュレーション

前節の現地調査の結果から、成ヶ島においては冬季に卓越する季節風が浮遊ごみの漂着場所の空間的な分布を位置づけている可能性があることが示唆された。そこで数値シミュレーションでは、潮汐の程度の違い、北西風が吹いた場合とそうでない場合で領域内のごみの漂着過程がどの程度変化するかを検討した。計算条件と解析メッシュを表-3、図-9 にそれぞれ示す。

図-10 に CASE-01 (大潮・風あり) と CASE-04 (小潮・風なし) の場合の上げ潮最強時 (ごみ投入から 0.5 潮汐後) と下げ潮 (ごみ投入から 1 潮汐後) の、水位・流速ベクトル・漂流ごみの空間分布を示す。CASE-01 (大潮・風あり) の上げ潮最強時には、強い北西風が吹くことによって、上げ潮時にもかかわらず沖側で島沿いを南下する流れが見られる。沖側のごみもこの流れに沿って南東方向に移動するが、

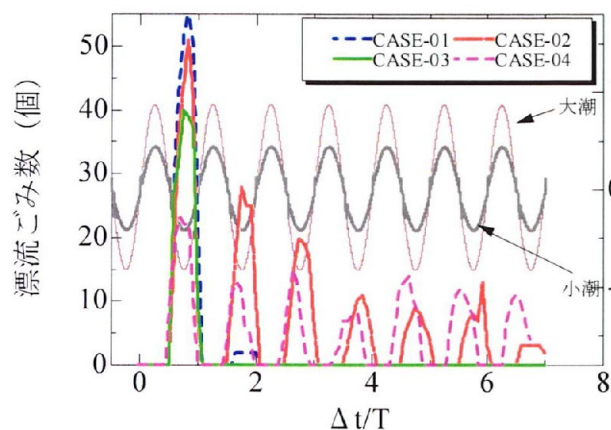


図-11 浮遊ごみの初期漂着回数

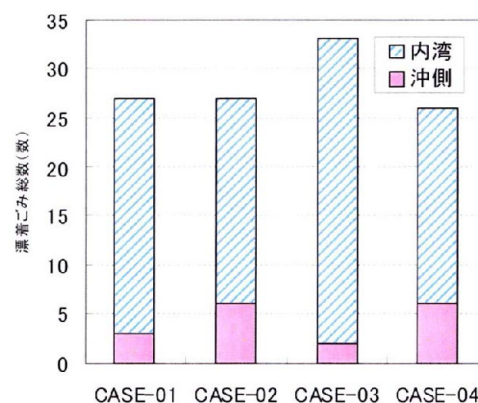


図-12 漂着総回数の内訳

するが、島の南東側では、島と海底の地形形状により吹送流の効果が弱まるため、南東沖でゴミが集積している様子がうかがえる。一方、由良湾内については、沖側よりも水位が低いため、島の北側の新川口と南側の今川口の両水路から湾内への強い流入が見られる。北西風により湾内のゴミも南下傾向にあるが、今川口からの流入によって相殺され、湾内流速は沖側のそれと比較して大変小さいものとなっている。

一方、CASE-01（大潮・風あり）の下げ潮最強時では、成ヶ島東岸沖を南下する流れはさらに強くなっている。また由良湾内においても、成ヶ島西岸に沿って南下する流れが見られる。

CASE-04（小潮・風なし）は、今回の計算ケースのなかでは、最も外力の変化の小さい場である。そのため、CASE-01（大潮・風あり）と比較して全体的に流速も小さく、ゴミの移動量も小さくなっていた。沖側では、島にそって南北方向に拡がりを持ちながらゴミが集積している。また、由良湾内では凹部上の地形に集積しやすい傾向をもつことがわかった。

図-11 に各計算ケースにおける浮遊ゴミの最初に陸地に打ち上げられる時間と打ち上げ個数の関係を示す。いずれの計算ケースにおいてもゴミ投入後最初の下げ潮時に最も多くゴミが漂着し、時間の経過とともに、漂着量が減少していく様子が見てとれる。特に風が吹いた場合はゴミ投入から3潮汐目以降になるとゴミの漂着はまったく見られない。この原因は、沖側の浮遊ゴミの多くが領域外へと運ばれてしまうためであると考えられる。

図-12 に、各計算ケースでの沖側と内湾側での浮遊ゴミの漂着総回数を示す。ここでは、現地調査のコドラート設置点に最も近い節点付近に漂着するゴミをカウントした。風のある場合（CASE-01 と CASE-03）は風のない場合（CASE-02 と CASE-04）に比べて、内湾での浮遊ゴミの漂着総回数が多くなっていることがわかる。これは、漂着したゴミが再浮遊しても北西からの吹送流によって、すぐに岸へと打ち上げられるためである。沖側については、島から離れる方向へ運ばれることになり、結果的に漂着

総回数は少なくなる。今回の計算ケースでは、CASE-03 の場合の漂着量が最も多く、内湾と沖側の漂着量の差も最も大きくなっていた。これらの計算結果は前節の現地調査の結果と似たような傾向を示しており、数値シミュレーションの結果からも、定常的な季節風が浮遊ゴミの漂着場所の空間分布を決づける大きな要因となっていることが示された。

4. まとめ

本研究では淡路島・成ヶ島に漂着する浮遊ゴミについて、その実態把握に係る現地調査と漂着機構説明のための数値シミュレーションを実施した。現地調査の結果、成ヶ島では沖側よりも内湾にゴミが漂着しやすく、冬季にはその傾向が著しくなることがわかった。現地の気象条件と比較すると、漂着する浮遊ゴミの量は降雨量と2か月程度のタイムラグで応答することがわかった。また、漂着場所の空間分布には定常的な季節風により決定づけられやすいことも明らかとなった。これを考慮して浮遊ゴミの漂流過程をシミュレーションしたところ、風のある場合には内湾での漂着回数が多くなり、現地観測で得られた結果と似たような傾向を示した。

参考文献

- 1) 細田龍介：由良湾におけるアマモ復活の経緯とその検証—自然と人間の共生の例—、海洋と生物、第30巻、第5号、pp.685-694、2009。
- 2) 藤枝繁：鹿児島湾における海岸浮遊ゴミと海底堆積ゴミ、海洋と生物、第31巻、第1号、pp.45-51、2009。
- 3) 藤枝繁：海岸・河岸ゴミの実態、瀬戸内海、No.56、pp.8-11、2009。
- 4) 橋本英資、谷本照己、星加章、高杉由夫：瀬戸内海における漂流予測モデルによる海洋ゴミ分布域の推定、海岸工学論文集、第55巻、pp.401-405、2008。
- 5) 第5管区海上保安本部：平成15年度洲本至仮屋潮流観測報告、19p、2004。
- 6) 早川典生、細山田得三、西川誠、宝田盛康・犬飼直之：ラグランジュ的粒子追跡による広島湾湾億部の海水交換に関する研究、海洋開発論文集、vol.11、pp.103-108、1995。