

瀬戸内海を漂流する浮遊ごみの年挙動

Year-round Behavior of Marine Litter Drifted on the Coast in the Seto Inland Sea

宇野宏司¹・倉井春菜²・辻本剛三³・柿木哲哉⁴

Kohji UNO, Haruna KURAI, Gozo TSUJIMOTO and Tetsuya KAKINOKI

The marine litter drifted on the coast is expected to affect coastal environment and ecosystem. However, its year-round behavior still remains poorly understood. In this paper, we examined the spatial distribution of the drifted litter from 23 rivers to the Seto Inland Sea and influence of the seasonal wind or river discharge on the drifting process of the litter in the Seto Inland Sea by semi 3-D FEM numerical simulation model. Moreover, we also carried out field observations in the Narugashima Island which is located at the southeastern part of Seto Inland Sea. It is clarified the source of most litter (golf ball or cigarette lighter) is the river basin in the Seto Inland Sea, however, some of them were reached from nearby Asian countries.

1. はじめに

日本各地の沿岸に漂着する浮遊ごみの多くは事業系ごみとして取り扱われ、漂着先の自治体が回収・処分しているのが現状である。しかし、このような枠組みは決して公平なものであるとは言えず、発生源となりうる自治体をも含めた回収・処理事業費の分担等、包括的な対策が求められている。

平成21年7月には「海岸漂着物処理推進法」が公布・施行され、海岸管理者をはじめとする関係者の責任が明確となり、これにより海岸管理者等は必要な措置を講じることとなった。そのため、発生源や浮遊ごみの漂流過程を正確に把握する必要があるが、従来の模型実験（例えば、早川ら、1977）や数値シミュレーション（橋本ら、2008）では、いずれも数週間から数ヶ月程度の短期間での検討に終わっていることや、漂着過程に大きな影響を与えると考えられる季節風については考慮されていない。そこで、本研究では、瀬戸内海全域を対象に、季節風を考慮した浮遊ごみの漂着過程に関する通年計算を実施し、漂着海域の分布特性や発生場所の推定等を行った。また、数値計算結果との比較と瀬戸内海東部での漂着ごみの実態把握を目的として、淡路島・成ヶ島において現地調査を実施した。

2. 浮遊ごみ漂流計算モデル

(1) 計算モデルの概要

瀬戸内海を浮遊するごみの漂着過程を調べるため、浮

遊ごみの移動追跡計算モデルを構築した。本モデルは、宇野ら（2002）が構築した準3次元FEM潮流計算モデルに、早川ら（1995）の提案するオイラー・ラグランジュ的中立粒子追跡モデルを組み込んだものである。

潮流計算には静水圧近似を仮定した3層（上層：表層から5m、中層：5m～10m、下層：10m以深）レベルモデルを用い、連続式、ブシネスク近似を用いた運動方程式、塩分拡散方程式のそれぞれを各層内で鉛直方向に積分した式をガラーキン法で離散化した。また、海水密度については、Knudsenの式を適用した。本計算モデルは、瀬戸内海中央部の多島海域において潮位振幅の減衰がややみられることに再現性の課題を残すが、瀬戸内海全域の潮流を概ね再現できるものとなっている。

瀬戸内海を漂流する浮遊ごみは、流入河川を発生源とするものが多いとされる（佐々倉、2009）。そこで、各河川の河口から毎月1回100個ずつ浮遊ごみが出るとし、その漂流過程を追跡した。なお、浮遊ごみは表層で中立状態を保ちながら浮遊するものとして扱った。

計算1ステップあたりのx方向の移動距離は、乱流拡散を考慮して次式で評価される。

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

..... (1)

ここに、 γ は平均値0、標準偏差1の正規乱数、 Δt は計算時間ステップである。乱流拡散係数 K は、瀬戸内海では海峡部で10～100m²/s程度、灘部で1～10m²/s程度あると言われていることから、本研究では全海域一定で50m²/sとした。計算に必要な粒子位置での流速は、その粒子を含む三角形要素の各節点の流速値を用い、各節点

1 正会員 博(工) 神戸市立工業高専准教授
2 コベルコ科研(株)
3 フェロー 工博 神戸市立工業高専教授
4 正会員 博(工) 神戸市立工業高専准教授

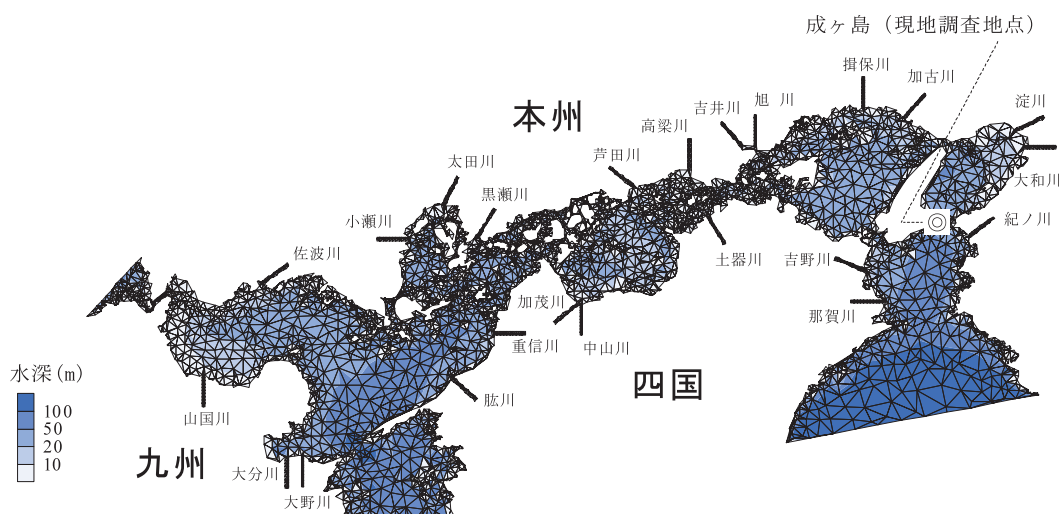


図-1 解析領域と考慮した流入河川

表-1 流入河川情報

水域	河川	河川流量観測点	年平均流量 (m ³ /s)
紀伊水道	紀ノ川	船戸	47
	吉野川	中央橋	111
	那賀川	古庄	59
大阪湾	淀川	枚方	226
	大和川	柏原	24
播磨灘	加古川	国包	40
	揖保川	上川原	23
	吉井川	御休	57
	旭川	牧山	53
備讃瀬戸	土器川	常包橋	2
	高梁川	日羽	60
備後灘	芦田川	山手	9
燧灘	加茂川	—	2
	中山川	—	2
安芸灘	黒瀬川	—	65
広島湾	太田川	矢口第一	69
	小瀬川	両国橋	11
伊予灘	重信川	山之内	2
	肱川	大洲	32
	大分川	府内大橋	25
	大野川	白滝橋	54
周防灘	山国川	下唐原	19
	佐波川	新橋	15

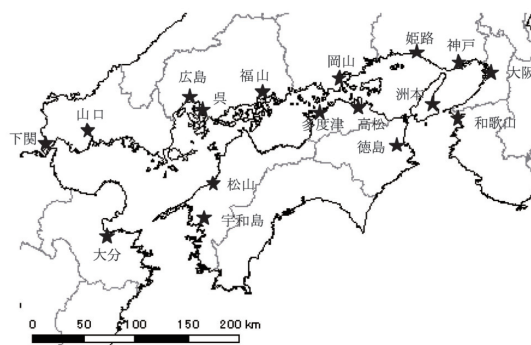


図-2 風向風速観測点（気象庁アメダス観測点）

たものについては、その後の追跡計算からは除外した。

解析領域（節点数5945，要素数9151）は図-1に示す瀬戸内海全域である。陸境界ではfree-slip条件とした。水深は日本水路協会発行の海図から読み取った。開境界（紀伊水道，響灘，豊後水道）では主要4分潮による潮汐を与え，流入河川として，表-1に示す23河川を考慮した。各河川からの流入流量は，一級河川については平均日流量（流量年表1994～2003年の平均値）を与え，河川流入量の季節変化を考慮した。中山川と加茂川の流量については，隣接する土器川及び重信川の流量を流域面積比で配分した。黒瀬川についても同様に，芦田川と太田川の流量と流域面積比から算出した。また，河川及び海境界の水温・塩分については，直近の公共用水域水質測定データの測定値を使用することとした。

浮遊ごみの多くは表層中を漂流するものと考えられ、その挙動の把握にあたっては、風による吹送流の効果を考慮する必要がある。そこで、各節点に与える風については、図-2に示す瀬戸内海沿岸にある気象庁アメダス観

から粒子位置までの距離の逆数で重み付けして算出された平均流速を用いることとした。

なお、瀬戸内海の海岸は護岸等の人工構造物が整備されている場合が多いため、計算で陸域に到達した浮遊ごみについては、到達直前の水域に滞留するものとし、陸への打ち上げは考慮していない。また、境界外へ流出し

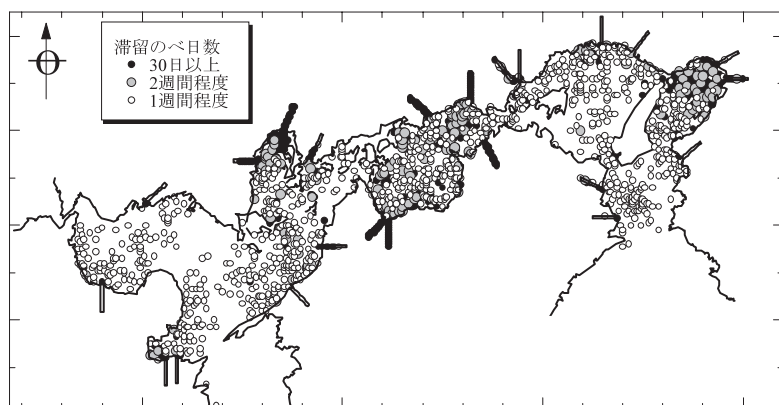


図-5 滞留のべ日数の空間分布

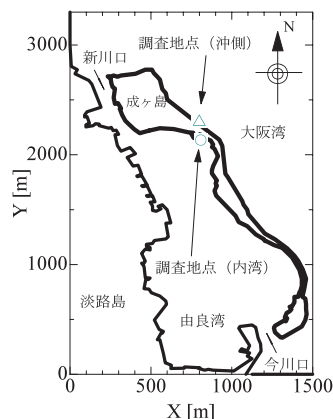


図-6 現地調査地点 (淡路島・成ヶ島)

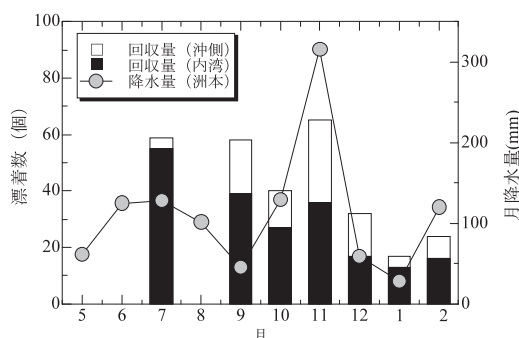


図-7 回収されたライター数の推移

換するには約1.5年かかるといわれているが、浮遊ごみについては自然海岸への打ち上げ等が考えられるため、実際の滞留時間はこれ以上になるものと推察される。

ところで、瀬戸内海には潮流の極めて速い海峡部と潮流が極めて弱く海水交換が悪い停滞性水域が混在している。そこで、浮遊ごみの分布にも空間的な特徴がみられるのではないかと考え、通年計算の結果からこれを把握することとした。

図-5に浮遊ごみの滞留のべ日数の空間分布を示す。本図は漂流する浮遊ごみの1日ごとの位置情報から、そのごみが含まれる計算メッシュ(3角形要素)を割り出しメッシュ毎に浮遊ごみの滞在日数をカウントすることによって計算したものである。この図より浮遊ごみが集積しやすい空間とそうでない空間があることがわかる。特に、大阪湾湾奥部、広島湾、備後灘、別府湾付近といった閉鎖性の強い海域や流入河川の河道内に滞留する傾向が強いことがわかる。一方、紀伊水道や豊後水道等の外洋に隣接する水域では、長期にわたり滞留する浮遊ごみが少ない傾向も示された。

以上、季節風を考慮した場合の計算結果について示した。季節風を考慮しなかった場合には、その計算結果も異なっており、これについての妥当性の検証は本研究の

今後の課題であるが、浮遊ごみの挙動には風の影響が無視できないものと判断できる。

3. 現地調査

前章の数値計算結果の妥当性の検証と、瀬戸内海東部海域での漂着ごみの実態を把握するため、2009年7月から2010年2月まで毎月1回(ただし、2009年8月は天候不順につき調査未実施)、淡路島・成ヶ島(図-1参照)において現地調査を実施した。本島は図-6に示すとおり、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り、その地形形状から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が集積しやすく、生態系への影響や景観の悪化が懸念されている。

本島に漂着するごみについては、これまでも詳しく調べられており(宇野ら, 2009, 細田, 2008)、ビニール袋やペットボトル、発砲スチロール片や漁具等が多く漂着することがわかっているが、本研究では発生源の特定できるライターとゴルフボールのみを調査の対象とした。

図-7に回収されたライター数の推移を示す。回収量は、瀬戸内海流域で降水量の多い夏季から秋季にかけて増加し、降水量の少ない冬季に減少する傾向がみられる。また、沖側よりも内湾での回収量が多くなっているが、これは島の地形上、内湾に一度流入した浮遊ごみが流出しにくい構造となっているためであると考えられる。

各地で実施されている漂着ごみ調査では、国内のみならず海外からの浮遊ごみの漂着が多数報告されている(たとえば、小島・眞, 2007)。そこで回収されたライターの本体に記載されている製造国番号をもとにライターの製造元を調べたところ、9割以上が日本国内のものであることがわかった。しかし、なかには中国、韓国、台湾等の近隣アジア諸国で製造されたものも含まれていた。ただし、これらの浮遊ごみがそれらの国から漂流してきたものであるかどうか判断することは難しい。

