

瀬戸内海における海洋ごみの収支

Budget of Marine litter in the Seto Inland Sea

藤枝 繁*・星加 章**・橋本 英資**・佐々倉 諭***
清水 孝則***・奥村 誠崇****

Shigeru FUJIEDA, Akira HOSHIKA, Eisuke HASHIMOTO,
Satoshi SASAKURA, Takanori SHIMIZU and Masataka OKUMURA

要旨: 海洋ごみ問題の解決に向けた対策立案のため、閉鎖性水域である瀬戸内海を対象に、海岸漂着散乱ごみの広域総量調査、定期モニタリング、海洋ごみ回収活動等に関するアンケート調査を実施し、さらに既存の海底ごみ、河川ごみ回収量に関する二次資料を合わせて、1BOX、完全混合、濃度均一の条件で海洋ごみの収支を明らかにした。その結果、現存量を海面浮遊ごみと海岸漂着散乱ごみの各総量を合わせた3,400tとすると、海域への総流入量は、陸からの流入量3,000t/年、海域での発生量1,200t/年、外海からの流入量300t/年を合わせた4,500t/年となった。一方、海域外への流出は、回収量1,400t/年、外海への流出量2,400t/年、海底への沈積量700t/年となった。ここでは瀬戸内海における海洋ごみの収支の試算方法を説明し、そこから得られる現存量等の削減の方策について述べる。

キーワード: 海洋ごみ, 瀬戸内海, 閉鎖性水域, 現存量, 収支

1. まえがき

日本の海岸には、海流や季節風の影響により、大陸を起源とする漂流物が大量に漂着する。¹⁻³⁾一方で、国内からも大量のごみが外海に流出している。⁴⁾閉鎖性水域である瀬戸内海も海洋ごみの発生源としては例外ではなく、広島湾で主に使用されているカキ養殖用プラスチック製パイプが、広島湾⁵⁾や山口県周防灘海岸⁶⁾といった瀬戸内海だけでなく、東シナ海⁷⁾や日本海沿岸・太平洋沿岸⁸⁾にも漂着していることが報告されている。一方で瀬戸内海は、流域人口3,100万人を有し、21の一級河川が都市部を貫流していることから、周辺陸域からも河川を通じて一般生活ごみが海域へ流下していると考えなければならない。^{9,10)}

プラスチックを主とする現代の海洋ごみは、一時的に海岸からの再流出や海底への沈降により、我々の目の前から消えることはあっても、回収されない限り、海洋中に存在し続ける。そのため発生が継続すれば、海域内に堆積し、また外洋に流出し続けることにもなる。よってこれからの海洋ごみ対策では、海洋全体におけるごみの現存量と収支を明らかにし、現存量の削減効果を見据えた対策の立案とその実施が求められる。

そこで本研究では、閉鎖性水域である瀬戸内海を対象に海岸漂着散乱ごみの広域総量調査を中心とした実態調査と海洋ごみ回収活動等に関するアンケート調査を実施し、既存の海底ごみ、河川ごみ回収量に関する二次資料と合わせて、1BOX、完

* 正会員 鹿児島大学水産学部, ** (独)産業技術総合研究所, *** 賛助会員 いであ(株),
**** (社)瀬戸内海環境保全協会

全混合、濃度均一の条件で海洋ごみの収支を明らかにした。ここでは瀬戸内海における海洋ごみの収支から、今後の現存量の削減の方策について述べる。

2. 研究の方法

2.1 海洋ごみの収支モデルの概略

本研究での瀬戸内海の範囲は、図1に示す瀬戸内海環境保全臨時措置法（昭和四十八年十月二日法律第百十号）第二条に規定されている海面並びにこれに隣接する海面であって政令で定めるものとした。また対象とするごみは、人工系のもののみとした。

海洋ごみ収支モデルの検討イメージを図2に示す。海洋ごみの収支は、陸からの流入 W_1 、海域での発生 W_2 および外海からの流入 W_3 の流入の部と、海面清掃船による海面からの回収 P_1 、団体等による海岸・海底からの回収 P_2, P_3 、海底に着底後、時間の経過によって泥中に完全に埋没することに

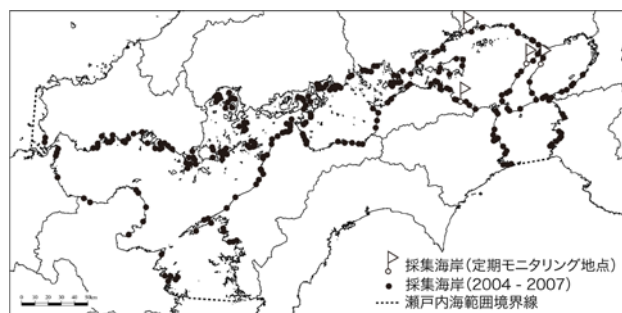


図1 瀬戸内海の範囲および海岸漂着散乱ごみ調査地点

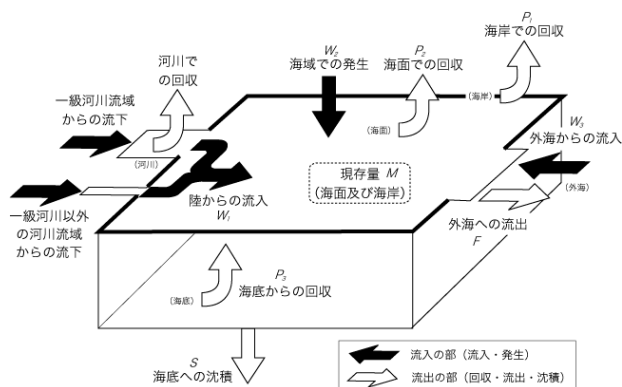


図2 瀬戸内海における海洋ごみ収支モデルのイメージ

より回収が困難になる状態を示す海底への沈積 S および海峡部から外洋への流出 F の流出の部に分けられ、さらに常に海洋中に存在し流動状態にある海面浮遊ごみと海岸漂着散乱ごみの全量（現存量） M を加えたものとして示される。

2.2 瀬戸内海における海洋ごみ全量

海洋ごみ全量（現存量） M のうち、海岸漂着ごみの現存量の把握には、分布と量、海岸形状による特性、季節変化を考慮した試算方法を確立しなければならない。以下その方法を説明する。

海岸漂着ごみ広域総量調査 海岸漂着散乱ごみの分布と量を面で捉えるため、2006年5月24日から11月21日までの間に、瀬戸内海の海岸線延長の1%を目標に、図1に示す瀬戸内海全域261海岸において、「水辺の散乱ゴミ指標評価手法（海岸版）」¹¹⁾を用いた目視踏査（広域総量調査）を実施した。この手法は、調査対象海岸においてその海岸を代表する一地点を決め、目視で10mの区間に漂着散乱するごみ量を表1に示す500mLペットボトル、2Lペットボトルおよび直径60cmの発泡スチロール製フロートの大きさを基準に計数して450×650mmのごみ袋（実測内容量20L、以下ごみ袋という）数を求め、表2に示す指標評価ランク（以下、評価ランクと言う）で示す方法である。

一方で瀬戸内海海岸には、目視では数量が把握できないカキ養殖用パイプ類⁵⁾や発泡スチロール破片¹²⁾等の小型・微小ごみが大量に堆積している。そこでカキ養殖用パイプ類は、容積が最も大きい長さ約20cmの垂下連用プラスチック製パイプ（以下パイプという）を対象に、上記地点内に1辺5mのコドラートを設置し、その内に漂着散乱するパイプを全て採集して100m²あたりの個数密度を求めた。また発泡スチロール破片は、同じく上記地点内に1辺40cm、深さ5cmのコドラートを設置し、その中に漂着埋没する微小ごみを砂（8L）ごと採

集し、小城の漂着埋没物調査手法¹³⁾に従って 8.0-16.0mm のものを選別し、1m²あたりの個数密度を求めた。なお両者は汀線に帯状に分布していることから、採集時に分布の奥行きも記録した。これら小型・微小ごみのごみ袋数への換算は、各密度と分布の奥行きから、海岸線延長 10m あたりの散乱個数を求め、表 1 に示す個数を基準にごみ袋数に換算し、それらを先に求めた袋数に加えた。

表1 指標ごみ数量からごみ袋一袋(実測内容量 20L)への換算表

指標ごみ品目	サイズ	個数
微小発泡スチロール破片	8mm-16mm	16万個
カキ養殖用パイプ	長さ20cm以上	400本
ペットボトル	500mL	24本
ペットボトル	2L	7本
発泡スチロール製フロート	直径60cm	1本

表2 水辺の漂着散乱ごみの指標評価ランク表(海岸版)

評価ランク	散乱ごみ状況の表現	ごみ袋(内容量20L)袋数
0	ごみはない	0
T	ごみがほんの少しある	1/8
1	ごみがある	1/4
2	ごみがちらほら見える	1/2
3	ごみがまばらに見える	1
4	ごみが多い	2
5	ごみが大変多い	4
6	ごみが非常に多い	8
7	ごみでほぼ覆われている	16
8	ごみで覆われている	32
9	ごみが山になっている	64
10	ごみが山になっている	128

海岸向き、調査月、海岸形状による補正 海岸漂着散乱ごみの広域総量調査は、2006年5-6月(西部海域)、9月(東部海域)、11月(中央部海域)の期間に分割実施したため、年平均値への換算には調査月による補正が必要である。そこで2006年7月から2008年6月までの2年間、毎月一回、図1に示す播磨灘および大阪湾の計4定点(4方位)において、指標漂着物法⁷⁾を用いた「定期モニタリング」を実施し、指標漂着物の月別漂着量から、調査月による年平均値への方位別換算係数(表3)

を求めた。なお指標漂着物には、一般生活ごみを代表してペットボトルキャップを採用した。広域総量調査で求められた各海岸の評価ランクは、この調査月・海岸向きによる換算係数による補正後、各海岸線延長に引き延ばして積算し、さらにそれを府県別海岸線総延長に引き延ばすことにより、すべて砂浜と仮定した場合の府県別漂着散乱ごみ総量を求めた。

表3 海岸方位別漂着ごみ量の年平均値への換算係数

海岸方位	調査月				調査海岸
	5月	6月	9月	11月	
東向き	2.14	0.85	0.36	1.17	兵庫県 淡路市 浦港海岸
西向き	1.67	1.67	0.86	0.39	兵庫県 淡路市 北淡室津ビーチ
南向き	2.20	4.52	0.26	2.45	兵庫県 赤穂市 恋ヶ浜海岸
北向き	1.84	2.12	0.82	1.05	香川県 東かがわ市 小浦海岸

次に海岸形状による漂着散乱ごみ量を補正するため、播磨灘及び大阪湾海岸において「水辺の漂着散乱ゴミ指標評価手法(海岸版)¹¹⁾を用いて「海岸形状別ごみ量比調査」を実施し、砂浜を1とした場合の海岸形状別補正比率(表4)を求めた。また(財)漁場油濁被害救済基金が作成した漁業影響情報図から府県別海岸形状別海岸線延長割合を求め、海岸形状ごとに補正比率を掛けて積算し、この値にすべて砂浜と仮定した場合の府県別漂着散乱ごみ総量に掛けることにより、海岸形状、調査月を考慮した海岸漂着散乱ごみの現存量(補正後)を求めた。なお現存量(容積)の重量への換算のため、香川県東かがわ市山田海岸(海岸線延長100m)において、海岸漂着散乱ごみの全量回収調査(「かさ比重調査」)を4回(春、秋各2回)実施し、ごみ袋1袋あたりの平均重量を2.5kgと得た。これより瀬戸内海における海域・海岸回収ごみのかさ比重は0.125とした。

表4 砂浜を1とした場合の海岸形状別補正比率

海岸形状	自然海岸			人工海岸	
	砂浜	砂礫浜	磯	捨石・直立護岸	消波ブロック
補正比率	1	1.69	0.88	0.14	3.85

海面浮遊ごみ現存量 海面浮遊ごみ現存量は、国土交通省（7担務海域）と港湾管理者¹⁴⁾によって年間に回収された海面浮遊ごみの回収実績量から試算した。

2.3 瀬戸内海における海洋ごみ収支モデル

一年間における陸、海域、外海から瀬戸内海への海洋ごみ総流入量を W (t/年)、瀬戸内海起因海洋ごみの外海への流出量を F (t/年)、海洋ごみの海底への沈積量を S (t/年)、瀬戸内海での海洋ごみ回収量を P (t/年) とし、海洋ごみ現存量の変化速度は、次式で表される。

$$\Delta M / \Delta t = W - F - S - P \quad (1)$$

ここで、現存量が時間に対して変化しない収支量が年間でバランスしている定常状態 ($\Delta M / \Delta t = 0$) と仮定すると、(1) 式は、

$$W - F - S - P = 0 \quad (2)$$

となる。なお海岸でのごみ発生量は、発生後潮汐や波浪により海面にすぐに流出すると考え、ここでは海域でのごみ発生量 W_2 (t/年) に含めた。

陸からのごみ流入量 陸からのごみ流入量は、河川流量と海面浮遊ごみ回収量の相関が明瞭であった¹⁵⁾ ことから、国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所から提供して頂いた芦田川河口堰（広島県福山市）における木竹片、海藻などの「自然系ごみ（可燃ごみ）」を除く「不燃ごみ」および「資源ごみ」の回収量 $85.3\text{m}^3/\text{年}$ （2003年）を原単位に、一級河川流域とそれ以外の流域からのごみ流下量を求め、かつ河川管理者による管理区間のごみ回収量を考慮して求めた。

河川からのごみ流下量の試算では、まず芦田川河口堰におけるごみ回収量 (kg/年) を、流域面積 1km^2 あたりの河川流量 (比流量; $\text{m}^3/\text{年}/\text{km}^2$) と流域人口 (2003年) で除して流域人口 1人あたり比流量 1 あたりのごみ流下量 1.05×10^{-9} ($\text{kg} \cdot \text{km}^2/\text{m}^3/\text{人}$) を求めた。これをごみ流下量の原単位とし、

各河川の比流量と流域人口を乗じて、それらを積算して一級河川および一級河川以外の流域からの流下量を求めた。なお、今回計算に使用した河川流量は、瀬戸内海全域で収集可能な最新年である2003年の最下流点の年間流量¹⁶⁾を用いた。ただし、芦田川（山手）の流量には、欠測が含まれるため、上流（郷分）の流量との関係式により補完して年間流量を求めた。また一級河川の流域面積および流域人口は、瀬戸内海の環境保全資料集¹⁷⁾の数値を用いた。なお流下量（容積）の重量への換算のため、淀川河口部 2 地点、大和川中流部 4 地点において河川ごみの全量回収調査を実施し、ごみ袋 1 袋あたりの平均重量を 2.0kg と得た。これより河川における回収ごみのかさ比重は 0.100 とした。

河川でのごみの回収は、河川を通して流下するごみは、一級河川でのみ回収され、さらにその回収は年平均流量以下の時にのみ行われると仮定した。対象とした芦田川（郷分）の年間流量合計は $2.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ であり、また流量が年平均流量 ($6.78\text{m}^3/\text{sec}$) 以上の日数は 71 日で、その流量合計は $1.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ であったことから、年間総流量に対する年平均流量以下の日の総流量の比率は 0.27 となった。よって河川管理者による回収量は、一級河川流域からのごみ流下量にこの比率を乗じて求めた。

海域でのごみ発生量 海域でのごみ発生量は、JEAN/クリーンアップ全国事務局から提供して頂いた本調査海域内で2001～2005年に実施された「国際海岸クリーンアップキャンペーン」における品目別分類結果より、府県別に「破片/かけら類」を除いた海起源と陸起源のごみの品目比率を求め、先に求めた府県別の陸からのごみ流下量に乗じて求めた。なお、「海起源」の種類は、「国際海岸クリーンアップキャンペーン」の分類に従い、ロープ、漁網、釣り関係、カキ養殖用パイプ等とし、これら品目には一部外海からの流入も認められた。

そこで後述する海外を配布地とするディスポーズブルライター（以下ライターという）の割合（外海品目比率）を府県別の海域でのごみ発生量に乘じ、外海起源の海域発生ごみ量を求め、これを引き去った。

外海からのごみ流入量 外海からのごみ流入量の試算では、まず瀬戸内海全域 261 海岸中 249 海岸で採取された 2,335 本のライター¹⁰⁾の中から、配布地が判明された 150 本のライターに占める日本国外起源ライターの府県別割合（山口県 20%、兵庫県 6.5%、愛媛県 4.2%、徳島県 33.3%、その他の府県は 0%）を求めた。これらを府県別の海岸漂着散乱ごみ現存量に乘じて積算し、海岸に漂着散乱する外海起源のごみ現存量を求めた。また海面にも外海から流入したごみが浮遊していることが予想される。そこで海面浮遊ごみ現存量と海岸漂着散乱ごみ現存量との比 0.31 を海岸に漂着散乱する外海起源ごみ現存量に乘じ、海面に浮遊している外海起源のごみ現存量を求めた。これらを合わせて外海起源のごみ現存量とした。また瀬戸内海起源のごみ現存量と外海起源のごみ現存量の交換時間が同じと仮定し、両者の比を陸からのごみ流入量と海域でのごみ発生量を合わせたものに乘じ、外海からのごみ流入量を求めた。

ごみ回収量 瀬戸内海での海洋ごみ回収量 P は、国、港湾管理者の海面清掃船による海面におけるごみ回収実績およびアンケート結果による漁協・各種団体による海面、海底および海岸におけるごみ回収実績とした。

まず海面清掃船（国、港湾管理者）によるごみ回収量は、「ごみ回収実績量(m³/年)」に「人工系ごみの比率」を乗じたものとした。「ごみ回収実績量」は、国土交通省中国地方整備局から提供して頂いた 4 地方整備局（7 港湾事務所）の 1980～2001 年までの平均年間回収量 5,813m³を、また「人工系ごみの比率」は、国土交通省中国地方整備局から提

供して頂いた海面清掃船“おんど 2000”の 2003～2006 年の回収実績で示されている人工系ごみの平均比率 0.34 を用いた。港湾管理者によるごみ回収量は、大阪湾環境データベース¹⁴⁾に掲載されている大阪湾での 1999～2001 年の平均回収量を基に、次の手順で推計した。まず対象 5 港湾（神戸港、尼崎西宮芦屋港、大阪港、堺泉北港、阪南港）での 3 年間の平均ごみ回収量 3,673 m³および上記人工系ごみの平均比率 0.34 より、人工系ごみ回収量 1,249 m³を求めた。次に 5 港湾の海岸線延長の全延長に対する比率（兵庫県 0.14、大阪府 0.51）および両府県の一級河川以外からのごみ流入量（兵庫県 3,779m³、大阪府 827m³）より、両府県の一級河川以外の流域から 5 港湾に流入するごみ量 951m³（兵庫県 3,779m³×0.14 = 529m³、大阪府 827m³×0.51=422m³）を求めた。これに 5 港湾における一級河川流域からのごみ流入量 10,403m³（淀川 8,801m³、大和川 1,602m³）を合わせ、5 港湾に流入するごみ全量 11,354 m³を求めた。この 5 港湾に流入するごみ全量に対する 5 港湾におけるごみ回収量 1,249m³から、港湾区域内におけるごみ回収比率 0.11 を求めた。この比率で一律に瀬戸内海全域の港湾区域海面からごみが回収されていると仮定し、この比率に瀬戸内海に流入する陸からのごみ流入量 29,717m³を乗じて全港湾区域におけるごみ回収量を 3,269m³と試算した。なお、重量への換算は、先に述べた海域・海岸ごみの比重 0.125 を使用した。

漁協による海面浮遊ごみ、海底堆積ごみおよび海岸漂着散乱ごみの回収量は、瀬戸内海沿岸 11 府県の漁業協同組合に対して行ったアンケート結果（回答団体 463 団体中 210 団体；2005 年実績）より、海面浮遊ごみ（海底堆積ごみを含む）回収量 315t、海岸漂着散乱ごみ回収量 505t となった。この値は、2005 年度単年の実績であるが、毎年継続的に同程度実施されていると想定し、この実績値

をそのまま使用した。なおここでは人工系ごみの比率が不明のため、前述した海域・海岸ごみにおける人工系ごみの平均比率 0.34 を用いた。

各種団体による漂着ごみの回収量（2003 年分）は、各報告書より、「リフレッシュ瀬戸内」¹⁸⁾1,072t、「春のクリーンアップキャンペーンおよび秋の国際海岸クリーンアップキャンペーン」⁹⁾10.6t、「さぬき瀬戸クリーンリレー」¹⁹⁾326t を用いた。なお「リフレッシュ瀬戸内」、「さぬき瀬戸クリーンリレー」の結果については、報告書の写真等から明らかに自然系ごみも含まれていたことから、報告の値に海域・海岸ごみにおける人工系ごみの平均比率 0.34 を乗じたものである。

海底ごみの回収量は、(財)水島地域環境再生財団が 2003 年に実施した海底ごみ調査²⁰⁾による 1.8t を用いた。

海底へのごみ沈積量 海底へのごみ沈積量 S は、まず瀬戸内海海ごみ対策検討会による 2008 年度海底堆積ごみ調査結果²¹⁾による 53 地点における平均堆積ごみ密度 ($244.1\text{kg}/\text{km}^2$) と、瀬戸内海の面積 ($23,203\text{km}^2$)²²⁾から、全海域における堆積量を 5,665t と試算した。次に同調査²¹⁾で採取された飲料缶の賞味期限年代別組成データより、年代の判

別できた缶 39 個のうち、32 個 (82%) が 2001 年以降 2008 年までの 8 年間に堆積したものであったことから、堆積量 5,665t が 2001 年以降の 8 年間で堆積したと仮定し、一年間あたりの沈積量を求めた。

外海へのごみ流出量 瀬戸内海を起源地とする海洋ごみの外海への流出量 F は、直接計測することが困難なことから、総流入量 W から回収量 P および海底への沈積量 S を引いた残量として求めた。

3. 結果

3.1 瀬戸内海における海洋ごみ全量

瀬戸内海の海岸総延長 7,229.5 km ¹⁷⁾のうち、261 海岸、海岸線延長 90.2 km (瀬戸内海の全海岸線延長の 1.3%) について指標化し、内容量 20L 袋で換算すると 13,265 袋 (265.3m^3) の漂着散乱ごみを確認した。試算された海岸散乱ごみ現存量 (補正後) は 2,619t となった。海岸散乱ごみ現存量の分布傾向を見るため、年平均漂着量に補正された評価ランク結果より、評価ランク 4 以上の海岸の分布を図 3 に示す。評価ランク 4 以上の海岸は、瀬戸内海全域に点在しており、特に東部海域では兵庫県淡路島周辺・紀伊水道四国海岸・香川県東部、ま

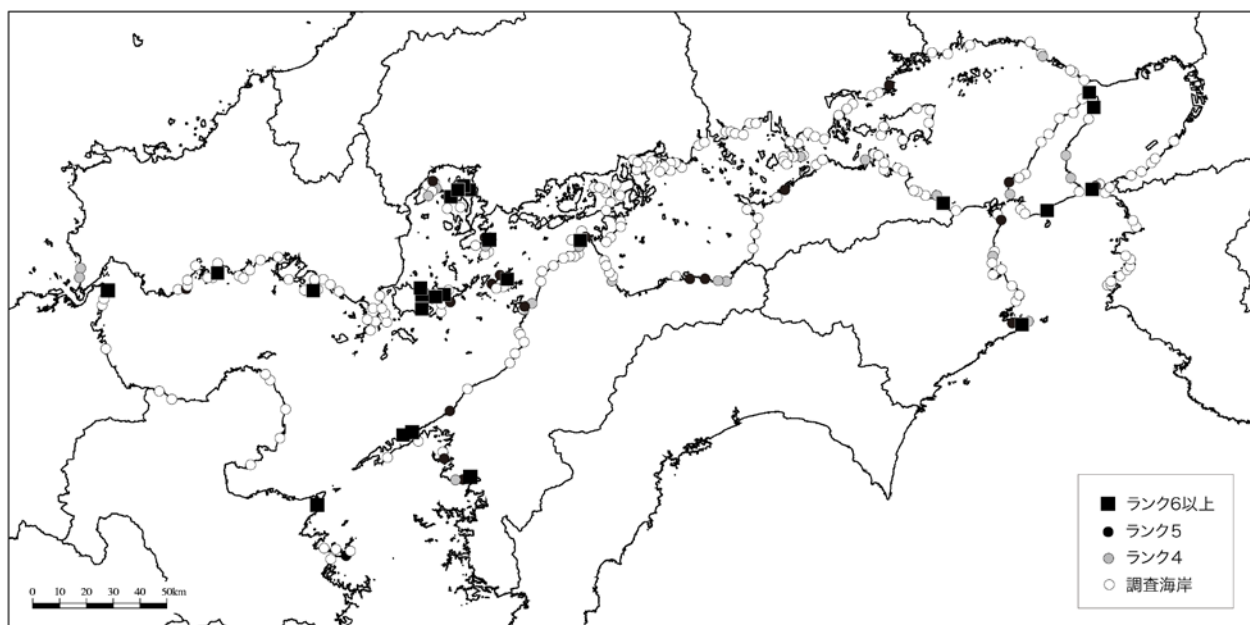


図3 指標評価ランク4(補正後)以上の海岸の分布

た西部海域では、広島湾・来島海峡西口・愛媛県西部に偏在していた。

海面浮遊ごみ現存量は、年間総回収実績量 656t に、その回収量と担務海域面積 (18,962km²) から得られた密度を用いて求めた未回収海域 (豊後水道と伊予灘の一部 ; 4,241km²) における海面浮遊ごみ量 147t を合わせて 803t と試算した。これらを合わせて 100t 単位で四捨五入し、瀬戸内海における海洋ごみ全量 (現存量) *M* は 3,400t とした。

3.2 瀬戸内海における海洋ごみ収支

次に瀬戸内海における海洋ごみの収支量の各結果について述べる。まず陸からのごみの流入量は、一級河川流域からの流下量 (表 5) と一級河川以外の流域からの流入量 (表 6) に河川散乱ごみのかさ比重 0.100 を乗じ、それぞれ 2,097t/年, 1,447t/年を得、合わせて 3,544t/年と試算した。また一級河川での回収量 (表 5) が 572t/年と試算されたことから、陸から海域へのごみの流入量は、2,972t/年と推定された。

表 5 一級河川流域からのごみ流下量と回収量

水系名	流域面積 (km ²)	流域人口 (万人)	河川流量 (10 ⁶ m ³ /年)	ごみ流下量 (m ³ /年)	ごみ回収量 (m ³ /年)
淀川	8,240	1,165	8,162	12,056	3,255
大和川	1,070	215	1,045	2,194	592
加古川	1,730	82	1,560	772	208
揖保川	810	20	876	226	61
紀の川	1,750	69	2,083	858	232
吉井川	2,110	29	2,168	311	84
旭川	1,810	34	2,027	398	107
高梁川	2,670	27	2,340	247	67
芦田川	860	27	260	85	85
太田川	1,710	98	2,718	1,627	439
小瀬川	340	3	436	40	11
佐波川	460	3	703	48	13
吉野川	3,750	64	3,898	695	188
那賀川	874	6	2,424	174	47
土器川	140	4	60	18	5
重信川	445	23	266	144	39
肱川	1,210	11	1,284	122	33
山国川	540	4	771	60	16
大分川	650	25	1,147	461	124
大野川	1,465	21	2,339	350	95
番匠川	464	6	614	83	22
合計	33,098	1,936	37,181	20,969	5,723

表 6 一級河川以外の流域からのごみ流入量

府県名	一級河川流域以外の面積 (km ²)	一級河川流域以外の人口 (万人)	流量 (10 ⁶ m ³ /年)	ごみ流入量 (m ³ /年)	比流量算定に用いた一級河川
大阪府	579	80	573	827	淀川、大和川
兵庫県	3,472	368	3,413	3,779	淀川、加古川、揖保川
和歌山県	814	21	969	261	紀の川
岡山県	1,181	109	1,078	1,039	吉井川、旭川、高梁川、芦田川
広島県	2,345	142	2,418	1,530	高梁川、芦田川、太田川、小瀬川
山口県	3,947	135	5,621	2,009	小瀬川、佐波川
徳島県	454	23	621	329	吉野川、那賀川
香川県	1,706	97	1,736	1,031	吉野川、土器川
愛媛県	2,730	103	2,752	1,085	吉野川、重信川、肱川
福岡県	1,001	112	1,428	1,670	山国川
大分県	1,990	56	3,108	914	山国川、大分川、大野川、番匠川
合計	20,219	1,246	23,716	14,471	

表 7 府県別の海域でのごみ発生量

府県名	ごみ流入量 (m ³ /年)	海起源品目比率 (海/陸)	国外起源ライター割合	海域でのごみ発生量 (m ³ /年)
大阪府	11,230	0.08	0	857
兵庫県	4,508	0.03	0.65	48
和歌山県	887	0.44	0	389
岡山県	1,737	0.40	0	694
広島県	2,747	1.58	0	4,333
山口県	2,044	0.91	0.2	1,490
徳島県	963	0.14	0.333	91
香川県	1,044	0.28	0	288
愛媛県	1,279	0.65	0.042	798
福岡県	1,670	0.10	0	174
大分県	1,611	0.21	0	344
合計	29,717			9,505

海域でのごみの発生量については、府県別陸からの流下量と「国際海岸クリーンアップ」結果による海起源/陸起源のごみ品目比率および外海品目比率を用いて求めた府県別の海域でのごみ発生量を表 7 に示す。なお和歌山県では「国際海岸クリーンアップ」のデータがないため、ごみ品目比率は瀬戸内海平均値を用いた。これらを積算し、海域・海岸ごみの比重 0.125 を乗じて海域でのごみ発生量を 1,188 t/年と推定した。

外海からのごみの流入量については、まず海岸における外海起源のごみ現存量 175t に海面における外海起源のごみ量 54t を合わせて、229t を外海起源のごみ現存量とした。これより瀬戸内海起源と外海起源のごみ現存量の比率 7.17×10^{-2} (229 t / 3,193 t) を陸からの流入量 2,972t/年と海域での発生量 1,188t/年に乗じて合わせ、外海からのごみ流入量を 298t/年と推定した。

海面清掃船（国）による浮遊ごみの回収量は、回収容積に人工系ごみの平均比率 0.34 と海域・海岸ごみの比重 0.125 を乗じて 247t/年、海面清掃船（港湾管理者）による浮遊ごみの回収量は、回収容積に比重 0.125 を乗じて 409t/年とした。また漁協による浮遊ごみ（海底ごみ含む）と漂着ごみの回収量は、回収重量に人工系ごみの平均比率 0.34 を乗じてそれぞれ 107t/年、172t/年とした。さらに各団体による海岸漂着散乱ごみの回収量は、一部回収重量に人工系ごみの平均比率 0.34 を乗じて積算し、488t/年とした。これより海洋ごみの総回収量 P は、1,423t/年となった。

海底へのごみ沈積量 S は、海底ごみの堆積量 5,665t が 8 年間かけて堆積したものとし、708t/年と推定した。

瀬戸内海へのごみの総流入量 W は、上記各値を 100t 単位で四捨五入し、陸からの流入量 W_1 (3,000t/年)、海域での発生量 W_2 (1,200t/年)、外海からの流入量 W_3 (300t/年)を合わせて 4,500t/年とした。また外海へのごみの流出量 F は、総流入量 W (4,500t/年)から回収量 P (1,400t/年)と海底への沈積量 S (700t/年)を引いて 2,400t/年とした。以上の瀬戸内海における海洋ごみの収支を図 4 に示す。これより瀬戸

内海では、毎年、総流入量の 2/3 が陸から流入し、総流入量の 1/3 は回収活動によって取り除かれているが、1/2 は外洋に流出していることが示された。

4. 考 察

4.1 流入量を一定とした場合、回収促進による海洋ごみ現存量の削減

今回得られた瀬戸内海における海洋ごみ収支モデルから、1BOX、完全混合、濃度均一の条件で現存量の削減の方策を検討した。

海水中の海洋ごみ濃度 C (t/km³) を

$$C=M/V \quad (3)$$

(V ; 瀬戸内海の海水容積; 882km³) とした場合、流出量 F , 沈積量 S , 回収量 P は、それぞれ、

$$F=Q_2C \quad (4)$$

(Q_2 ; 瀬戸内海海水年間交換量; km³/年)

$$S=aAC \quad (5)$$

(a ; ごみ沈降速度; km/年, A ; 瀬戸内海面積; km²)

$$P=kvC \quad (6)$$

(k ; 回収頻度; 回/年, v ; 回収した海水容量; km³/回) で表される。(2) 式に (3) - (6) 式を代入し、現存量 M を流入量 W , kv で表すと、

$$M=VW / (Q_2+aA+kv) \quad (7)$$

となる。なおここでは V , Q_2 , aA は一定とする。また便宜上、 kv は一年間で濾過(回収)する海水量(km³/年)として、以下、回収努力量と呼ぶことにする。

(7) 式より、流入量 W を一定とした場合、現存量 M と回収努力量 kv の関係は、反比例の関係にあるため、回収努力量を増加させると次第に現存量 M の減少効果が鈍ることになる。

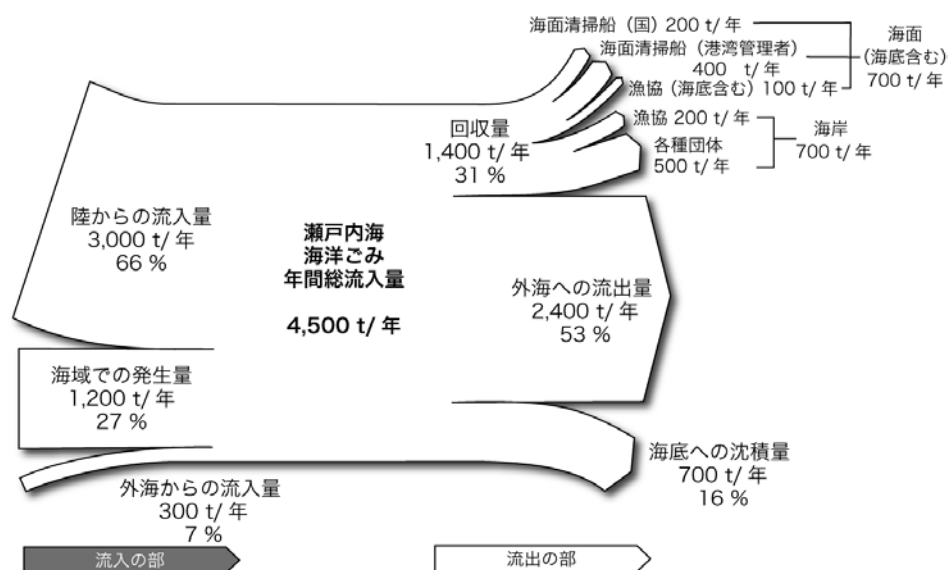


図4 瀬戸内海における海洋ごみ収支

これは回収の効果により海洋ごみ濃度 C が低下するためである。そこで流入量 W を一定とした場合の回収努力量 kv と現存量 M の関係を図5に示す。まず現状は、現存量 $M=3,400t$ 、回収努力量 $kv=363km^3/年$ (回収量 $P=1,400t$) (M_{100}) とする。例えば、回収努力量 kv を現状の 1.5 倍に増加させた場合、現存量 M は現在の 87% にしか減少しない (M_{87})。また現存量 M を半減 (M_{50}) させるためには、回収努力量を現状の 4.2 倍、回収量を 2.1 倍にしなければならない。

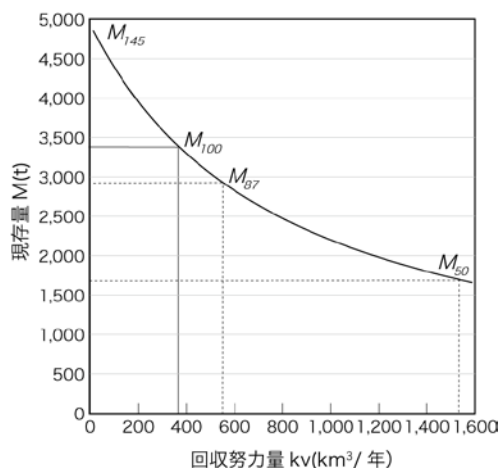


図5 流入量 W を一定とした場合の回収努力量 kv と現存量 M の関係

しかし一口に回収量を増加させると言っても、海面清掃船や漁船による海上での回収活動には、海上交通、海底地形および器材などの制約があり難しい。今回の自治体への回収量アンケートの結果、海岸での 660t の回収活動には年間 11 万人が参加しており、その参加割合は、流域人口 (3,176 万人) の 0.35% であった。よって海岸での回収努力量については、増加させる余地は残っていると言えよう。ただし海岸での回収努力のみによって総回収量を現在の 2 倍にするには、海岸での回収量を 3.1 倍にしなければならず、その場合の回収努力量は 6.6 倍にも跳ね上がる。

また一方で、現状以下に回収努力量 kv を低下させると、図5より現存量 M は急激に増大し、回収

を完全にあきらめた場合 (回収努力量 $kv=0$)、現存量 M は現在の 145% (M_{145}) にまで増加する。

よって現状は、回収努力量を多少増加してその場 (その時) を美しくしても、海域全体を年間通じて考えれば、劇的な効果 (現存量の減少) は望めず、また回収をあきらめてしまうと急激に悪化が進行する状態にあると言える。

4.2 回収活動が系外へ与える影響

次に回収努力量を変化させて海洋ごみ濃度 C を変えた場合、それが系外 (外海、海底) にどのような影響を与えるかについて考える。図6は、流入量 W を 4,500t/年で一定とした場合、回収量 P を変化させることによって外海への流出量 F と海底への沈積量 S がどのように変化するかを示したものである。まず現状は、現存量 $M=3,400t$ の M_{100} (回収努力量 $kv=363km^3/年$) の位置にある。例えば、回収努力量を現在の 1.5 倍にした場合 (M_{87})、回収量は 130% に増加し、流出量、堆積量は共に 87% に減少する。よって回収努力量の増加は、外海への流出や海底への沈積といった系外への影響を低減させる効果をもつ。しかし、流入量が一定の場合、回収努力量をいくら大きくしても海底への沈積量と外海への流出量はゼロにはならない。例えば、

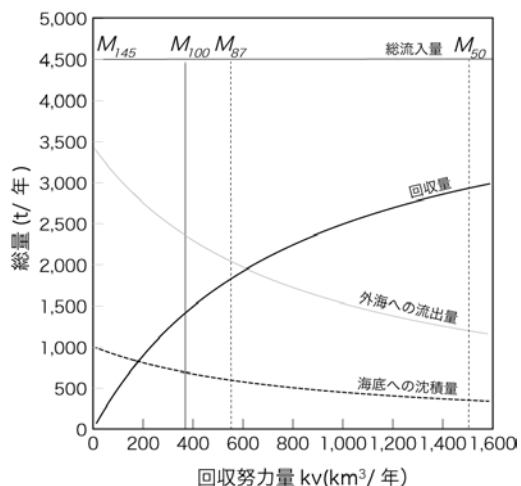


図6 流入量 W 一定とした場合の回収量 P と外海への流出量 F と海底への沈積量 S の関係

現存量を半減 (M_{50}) させるために回収努力量 kv を 4.2倍にしても、流出量と沈積量はともに50%の減少に留まり、回収の促進だけでは系外への影響は残る。逆に回収を完全にあきらめた場合 (回収努力量 $kv=0$)、現存量だけでなく、外海への流出量、海底への沈積量ともに現状の145% (M_{145}) となり、系外への影響も大きくなる。

よって回収の意味は、その場を美しくするだけでなく、系外への影響を低減させる効果もあることを認識し、最低限でも現状の回収活動の維持に努め、さらに流入の抑制も同時に考える必要がある。

4.3 流入量削減による海洋ごみ現存量の削減

これまでの議論は、流入量 W を一定とし、もっぱら回収努力によって現状を改善する方法を述べてきた。ただしこの方法では、 $M-kv$ の関係が双曲線であるため、回収努力を増すほどその効果が鈍くなる。一方、(7) 式より、流入量 W を現在の 80% にまで抑制すれば、回収努力量 kv を現状のまま現存量 M を 80% にまで直線的に削減することができる。これは回収努力量 kv を一定とした場合、現存量 M と流入量 W の関係が比例するためである。ただし図 4 に示す陸からの流入量 3,000t/年は、瀬戸内海の流域人口 (3,176 万人) 一人あたりに換算すると年間 94g/人/年、また一日あたりにすると 0.3g/人/日となり、国民一人一日あたりの一般廃棄物の排出量は 1.1kg/人/日 (2003 年度)²³⁾ と比較すると極わずかな値である。陸からの流入ごみが、広い陸域に分散する多くの原因者からの微量の流出および同じく分散する一部の原因者による不法投棄の集積結果だと考えると、原因者に対する個別の発生抑制対策では、流入量を効率的に削減することはかなり難しいと言わざるを得ない。

4.4 海洋ごみ削減に向けた具体的方策

以上より、瀬戸内海における海洋ごみ現存量 M の削減には、回収努力量 kv の増加または流入量 W の削減といった単独での方策では難しいことがわかった。では今後どのような方策を実施することが必要だろうか。例えば、上記と同じ現存量 M の削減目標を 80% とした場合、回収努力量 kv を 150% に増加し、流入量 W を 92% に削減することによっても達成することができる。すなわち現実的な現存量 M の削減方法は、回収努力量 kv の増加と流入量 W の抑制の併用と言える。ただしこの場合でも、単なる回収努力の増加や啓発活動による発生抑制の推進といった従来の取り組みの延長では、十分な成果を得ることは期待できない。

ではこの併用をどのように実施すればよいのか。今回広域総量調査を実施した 261 海岸における評価ランク (補正後) 別の海岸漂着散乱ごみ総量、海岸数および海岸線延長それぞれの積算割合を図 7 に示す。ごみの漂着散乱量が少なく、管理が行き届いている評価ランクが T 以下の海岸は、調査全海岸線延長の 43.0%、海岸数の 37.1% を占めたが、そこには瀬戸内海における海岸漂着ごみ総量の 1.3% しか存在しなかった。一方、調査全海岸線延長の 11.0%、調査全海岸数の 17.0% を占めた評価ランク 5 以上の海岸には、瀬戸内海における海岸

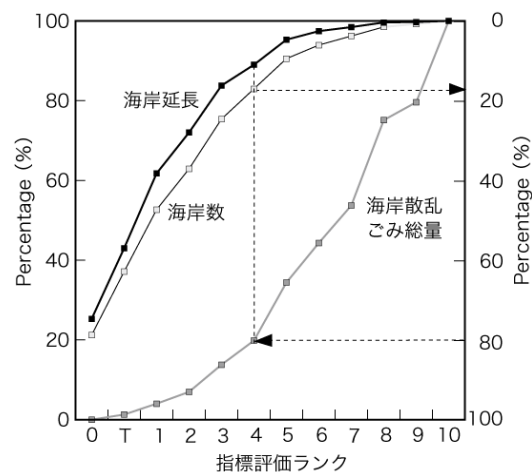


図7 評価ランク別海岸散乱ごみ総量、海岸数および海岸線延長

漂着散乱ごみの 80.2%が存在していた。すなわち効果的な海洋ごみ密度の低減（現存量の削減）には、高密度漂着地点における重点的な回収が効率的であると言える。ただし高密度漂着地点は、図3で示されたように一部の地域に偏在するため、その対応には海域全体で十分考慮する必要がある。

よって今後の海洋ごみ現存量の削減には、これまでの日常生活におけるごみ自体の発生抑制の取り組みや水辺等での清掃活動に加え、(1) 海域全体から海洋ごみの漂着分布の詳細を明らかにし、次に (2) 高密度漂着地から優先的に回収する「重点回収」を (3) 海域全体で (4) 継続的に実施することにより、効率的に海洋ごみ密度を低減させることが必要である。2009年7月15日に公布された「海岸漂着物等処理推進法」では、都道府県は地域計画に「海岸漂着物対策を重点的に推進する区域及びその内容」を定めることとなっている。今後都道府県で作成される地域計画では、従来の観光や漁業等の利用を主とした地域経済や環境、または清掃のしやすさやその可能範囲といった管理や財政といった地域の視点で捉えた重点区域の選定だけでなく、全地域の協力のもと、海洋全体のごみ密度を低減させ、地域の海岸環境を保全するといった視点を持ち合わせた上記重点回収を継続して実施できる体制を構築されることを期待する。

謝辞

本研究は、環境省地球環境保全等試験研究費「海洋ごみ対策の確立に向けた情報支援システムの構築に関する研究」にて実施した。なお芦田川河口堰でのごみ回収量のデータは、国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所から、海面浮遊ごみ回収量データは、国土交通省中国地方整備局から、国際海岸クリーンアップキャンペーンに関するデータは、JEAN/クリーンアップ全国事務局からそれ

ぞれ提供して頂いた。また試料採集は、(社)瀬戸内海環境保全協会の現地調査に参加した淡路島里海保全隊をはじめとするボランティアの方々、さぬき海山川自然学校および鹿児島大学水産学部環境情報科学講座の浦添智子、寺田将春両君の労を多とする。ここに厚くお礼申し上げる。

引用・参考文献

- 1) 藤枝 繁：1998年8月鹿児島県薩摩半島沿岸に漂着した大量ゴミの実態，水産海洋研究，Vol.63(2)，pp.68-76. 1999.
- 2) 山口晴幸：漂着ゴミによる海岸汚染の実態（その4）-大量の韓国系ゴミが長崎県対馬・壱岐を襲う，漁港，Vol.42(4)，pp.61-74. 2000.
- 3) 安松貞夫・東山高等学校地学部：琴引浜で漂着物調査を15年間続けて／琴引浜の研究-その8-，東山学園研究紀要，Vol. 52・53，pp.61-85. 2008.
- 4) 藤枝 繁：ディスプレイライターを指標とした海岸漂着散乱ゴミの流出地推定，漂着物学会誌，Vol.1，pp.13-20. 2003.
- 5) 藤枝 繁・佐々木和也：広島湾江田島・倉橋島海岸における微小プラスチック漂着物，漂着物学会誌，Vol.3，pp.1-6. 2005.
- 6) 浮田正夫・中西 弘・松崎 豊：海岸ごみの堆積量調査，環境工学研究フォーラム講演集，土木学会衛生工学委員会編，Vol.29，pp.99-101. 1992.
- 7) 藤枝 繁：鹿児島県吹上浜における指標漂着物を用いた海岸漂着ごみの定期モニタリング，漂着物学会誌，Vol.3,1-6.2005.
- 8) JEAN/クリーンアップ全国事務局：クリーンアップキャンペーン2003レポート，JEAN・クリーンアップ全国事務局，東京，pp.40-55. 2004.
- 9) T. Shimizu, J. Nakai, K. Nakajima, N. Kozai, G. Takahashi, M. Matsumoto and J. Kikui : Seasonal

- variations in coastal debris on Awaji Island, Japan, Marine Pollution Bulletin, Vol.57, pp.182-186. 2008.
- 10) 藤枝 繁：指標漂着物を用いた瀬戸内海における海洋ごみの流れと起源の推定，沿岸域学会誌，Vol. 22(2)，pp.27-36. 2009.
- 11) 農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局：全国海岸の漂着ゴミの実態調査，平成 18 年度社会資本整備事業調整費／海岸における一体的漂着ゴミ対策検討調査報告書，pp.1-25. 2007.
- 12) 藤枝 繁・佐々木和也：広島湾江田島・倉橋島海岸における発泡プラスチック破片の漂着状況，日本水産学会誌，Vol.71, pp.755-761. 2005.
- 13) 小城春雄・福本由利：海洋表層浮遊，および砂浜海岸漂着廃棄プラスチック微小粒子のソーティング方法，北大水産彙報，Vol.51, pp.71-93. 2000.
- 14) 国土交通省：大阪湾環境データベース，(<http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyo-db/>)
- 15) 佐々倉 諭：瀬戸内海における海洋ごみの分布要因，瀬戸内海，Vol.58, pp..45-47. 2009.
- 16) (社)日本河川協会：雨量・流量年表データベース，2007.
- 17) (社)瀬戸内海環境保全協会編：瀬戸内海の環境保全資料集，2004，2005.
- 18) 瀬戸内・海的路ネットワーク推進協議会『海的路』：リフレッシュ瀬戸内，(<http://www.uminet.jp/network/refresh/11.html>)
- 19) 香川県環境森林部編：平成 16 年度版香川県環境白書，pp.13. 2005.
- 20) (財)水島地域環境再生財団：平成 15 年度海底ゴミの実態把握調査を通じた市民意識の啓発活動報告書，pp.66-67. 2004.
- 21) 環境省中国四国地方環境事務所：瀬戸内海海ごみ対策検討会調査検討報告書，pp.13-130. 2009.
- 22) セトうちネット：瀬戸内海の環境情報，(<http://www.seto.or.jp/seto/kankyojoho/index.htm>)
- 23) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 15 年度実績）について（平成 17 年 11 月 4 日，報道発表資料より），(<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=6512>)

筆者紹介

藤枝 繁（正会員） 鹿児島大学水産学部（鹿児島市下荒田 4-50-20），昭和 42 年生まれ，平成 3 年 3 月鹿児島大学水産学部水産専攻科修了，平成 4 年 4 月鹿児島大学水産学部助手，現在同大学准教授，博士（水産学）。

E-mail:fujieda@fish.kagoshima-u.ac.jp

星加 章（非会員）（独）産業技術総合研究所（呉市広末広 2-2-2），昭和 22 年生まれ，昭和 47 年 3 月同志社大学大学院工学研究科前期課程修了，同年 4 月通産省工業技術院中国工業技術試験所[現（独）産業技術総合研究所]入所，現在同研究所シニアスタッフ，理学博士。

橋本 英資（非会員）（独）産業技術総合研究所（呉市広末広 2-2-2），昭和 28 年生まれ，昭和 50 年 3 月広島工業大学卒業，同年 4 月通産省工業技術院中国工業技術試験所[現（独）産業技術総合研究所]入所，現在同所研究員。

佐々倉 諭（賛助会員） いであ（株）大阪支社環境技術グループ（大阪市住之江区南港北 1-24-22），昭和 50 年生まれ，平成 13 年 3 月京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻修了，同年 4 月国土環境(株)[現社名いであ(株)]入社，現在同社研究員。

清水 孝則（賛助会員） いであ（株）大阪支社環境技術グループ（大阪市住之江区南港北 1-24-22），昭和 47 年生まれ，平成 9 年 3 月愛媛大学大学院理工学研究科土木海洋工学専攻修了，同年 4 月新日本気象海洋(株)[現社名いであ(株)]に入社。

奥村 誠崇（非会員） (社)瀬戸内海環境保全協会（神戸市中央区脇浜海岸通 1-5-2 人と防災未来センター東館 5 階），昭和 44 年生まれ，平成 7 年 3 月千葉大学大学院工学研究科工業化学専攻修了，同年 4 月新日本気象海洋(株)[現社名いであ(株)]入社，平成 19 年より現職に出向。

Budget of marine litter in the Seto Inland Sea

Shigeru FUJIEDA, Akira HOSHIKA, Eisuke HASHIMOTO,
Satoshi SASAKURA, Takanori SHIMIZU and Masataka OKUMURA

ABSTRACT : Effective plans for resolving the marine litter issue need to be implemented, and clarifying the marine litter budget in closed water areas is one way to solve the issue. The marine litter budget in the Seto Inland Sea was therefore estimated using the beach litter, questionnaire surveys regarding collected amounts of marine litter, and existing data. The marine litter budget in the Seto Inland Sea was explained using a single box, assuming complete mixing and uniform density. If the standing stock of drifting and beach litter combined is 3,400 tons, then the inflow of litter into this sea from rivers is 3,000 tons/year, generation of litter at sea is 1,200 tons/year, and inflow from the open ocean is 300 tons/year. The amount of marine litter that is collected on the beach and surface in this sea is 1,400 tons/year, outflow to the open ocean is 2,400 tons/year, and sedimentation to the sea bottom is 700 tons/year. Based on these findings, reduction in the standing stock of marine litter and effective collection process were discussed.

KEYWORDS : *budget, closed water area, marine litter, Seto Inland Sea, standing stock*