

海岸漂着ごみエリア実態調査・分析事業委託業務

報告書

令和5年3月

愛媛県県民環境部環境局循環型社会推進課
日本エヌ・ユー・エス株式会社

目次

I. 業務の概要	1
1. 業務の目的	1
2. 業務の実施期間	1
3. 業務の内容	1
4. 業務工程	1
5. 報告書の構成	2
II. 業務の実施方法及び実施結果	3
II-1 航空機による写真撮影	3
1. 目的	3
2. 実施方法	3
3. 実施結果	3
II-2 目視調査	7
1. 目的	7
2. 実施方法	7
3. 実施結果	9
II-3 回収調査	10
1. 目的	10
2. 実施方法	10
3. 実施結果	12
II-4 漂着ごみ量の推計	18
1. 目的	18
2. 実施方法	18
3. 実施結果	20
II-5 AIによる画像処理方法の検討	32
1. 背景及び目的	32
2. 実施方法	32
3. 実施結果	37
II-6 有識者ヒアリング	41
1. 目的	41
2. 実施方法	41
3. 実施結果	42
II-7 普及啓発動画作成	47
1. 目的	47
2. 実施方法	47
3. 実施結果	47
III. 考察及び今後の課題	48
III-1 漂着ごみ量の推計	48
1. 考察	48
2. 今後の課題	73
III-2 AIによる画像処理方法の検討	76
1. 考察	76
2. 今後の課題	81

Ⅰ. 業務の概要

1. 業務の目的

海洋プラスチックごみ問題の発生抑制対策を契機として、令和3年度に県が実施した立入困難地域における漂着ごみ現状把握調査によると、南予地域の立入困難な海岸 563 か所に漂着ごみが堆積していることが判明し、総量は軽トラック約 32,000 台分と推定された。

このため、県内全ての海岸線約 1,700 kmにおける海岸漂着ごみ量を把握するため、航空写真等を活用し、全県エリアにおける漂着ごみスポットの把握及び漂着ごみ量の実態調査・分析結果を取りまとめる。

2. 業務の実施期間

令和4年8月18日～令和5年3月17日

3. 業務の内容

本業務の内容は、表 I-1 に示すとおりである。

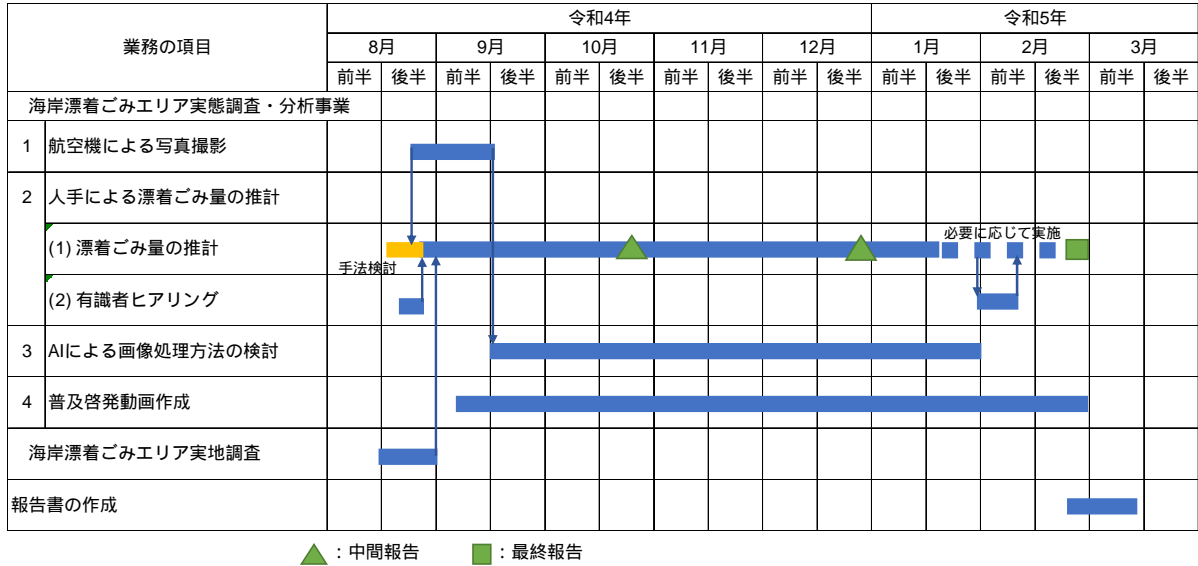
表 I-1 業務の内容

業務の項目	
① 海岸漂着ごみエリア実態調査・分析事業	
1	航空機による写真撮影
2	(1)漂着ごみ量の推計
	(2)有識者ヒアリング
3	AIによる画像処理方法の検討
4	普及啓発動画作成
② 海岸漂着ごみエリア実地調査	

4. 業務工程

本業務の工程は、表 I-2 に示すとおりである。

表 1-2 業務工程表



5. 報告書の構成

本報告書は、次章以降、以下のように構成する。

- II. 業務の実施方法及び実施結果
 - II-1. 航空機による写真撮影
 - II-2. 目視調査
 - II-3. 回収調査
 - II-4. 漂着ごみ量の推計
 - II-5. AIによる画像処理方法の検討
 - II-6. 有識者ヒアリング
 - II-7. 普及啓発動画作成
- III. 考察及び今後の課題
 - III-1. 漂着ごみ量の推計
 - III-2. AIによる画像処理方法の検討

II. 業務の実施方法及び実施結果

II-1 航空機による写真撮影

1. 目的

愛媛県内全ての海岸線約 1,700 km における漂着ごみの分布の把握を目的として、航空機による写真撮影を行う。

2. 実施方法

航空写真の撮影は、表 II-1 に示す条件で実施する。

表 II-1 撮影条件

項目	内容
対象海岸	愛媛県内の島嶼を含む全海岸約 1,700km
撮影期間	令和 4 年 8 月～9 月
撮影方法	セスナ機からのカメラマンによる一眼カメラを用いた写真撮影
解像度	地上解像度：1 画素=10cm 角を目標

3. 実施結果

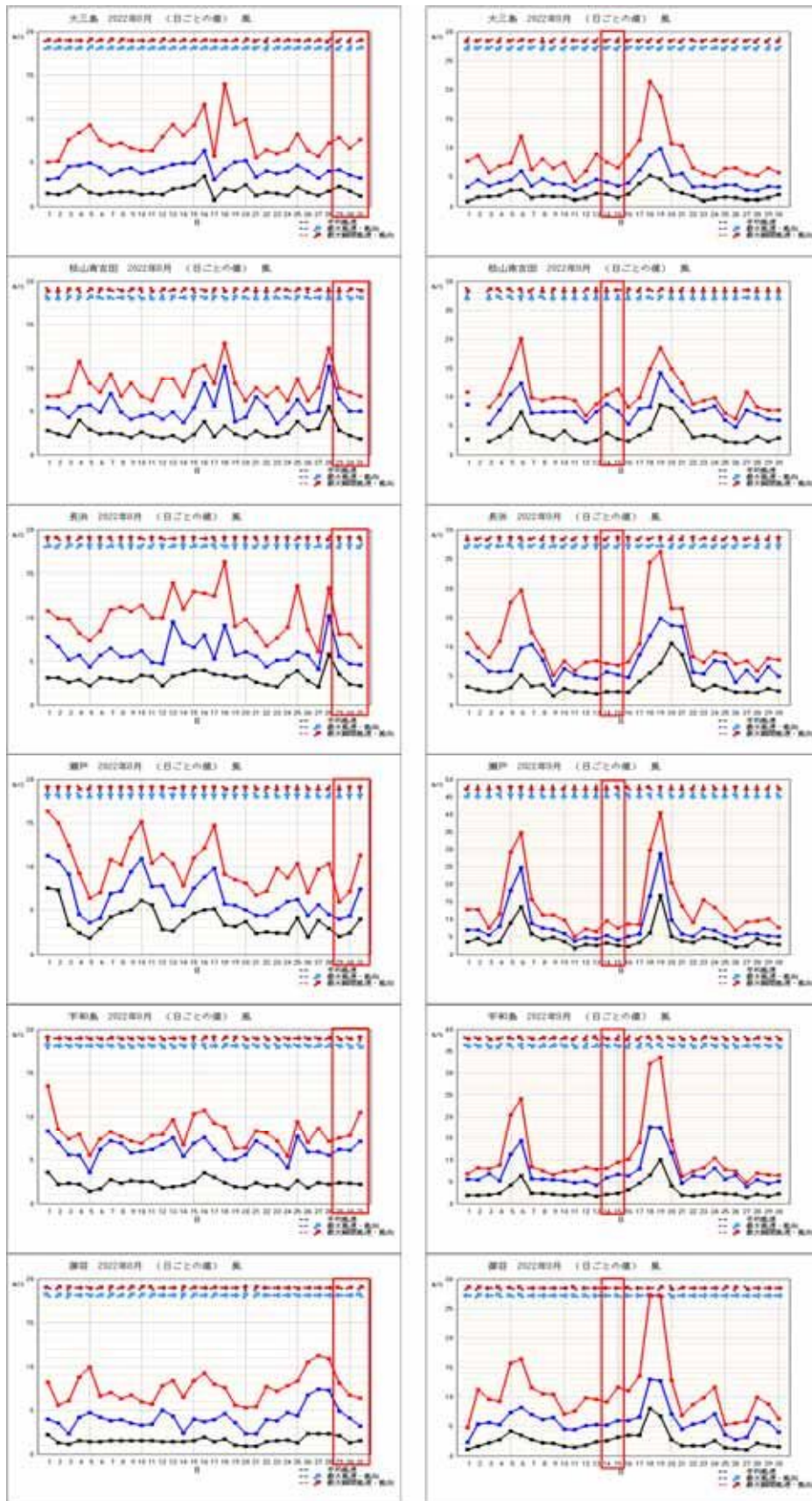
航空写真を撮影した令和 4 年 8 月及び 9 月の愛媛県の風の状況について、気象庁の県内の観測地点（図 II-1）のうち、沿岸に近い地点（大三島、松山南吉田、長浜、瀬戸、宇和島、御荘）の時系列図を図 II-2 に示す。図中に、航空写真の撮影日（8 月 29～31 日、9 月 14～15 日）を赤枠で示している。各時系列図は気象庁 HP「過去の気象データ検索」から引用した。各図で縦軸のスケールは異なっている。

航空写真撮影は、8 月下旬の風速が低下した 8 月 29 日に開始したが、その後図 II-3（左図：9 月 1 日）に示すように日本南岸の台風 11 号等の影響による風速の上昇により 8 月 31 日まで一時中断した。9 月 6 日には図 II-3（右図）に示すように、台風 11 号から変わった日本海の温帯低気圧の影響により、西日本で暴風が吹いた。その後、風速が低下した後に再び上昇する前の 9 月 14 日～15 日に実施した。



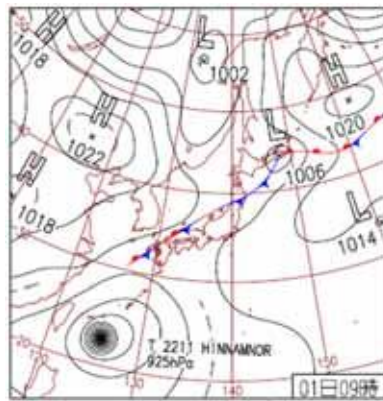
< 出典 > 気象庁 HP「過去の気象観測データ検索」>「都道府県・地方の選択」>「地点の選択」

図 II-1 愛媛県内の気象庁の観測地点

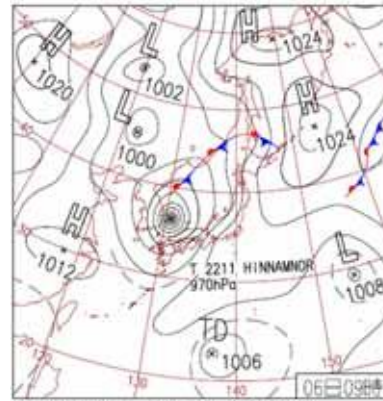


< 出典 > 気象庁 HP「過去の気象データ検索」>「月ごとの値」>「グラフ」>「風」

図 11-2 令和 4 年 8 月(左)及び 9 月(右)の風速・風向の時系列図



1日(木)台風、沖縄近海を南下
 南西諸島は沖縄の南の台風第11号により雨。西～北日本は、低気圧や前線、湿った空気の影響で雨や雷雨となり各地で非常に激しい雨。広島県甲田73.5mm/1hは観測史上1位。



6日(火)台風、対馬海峡を通過
 台風第11号は、日本海で温帯低気圧に。西～東日本や北日本日本海側は雨。西日本で暴風。フェーン現象で日本海側は気温上昇。富山県上市と石川県金沢の最高気温は観測史上1位。

< 出典 > 気象庁 HP 「日々の天気」 > 「令和4年9月」より抜粋

図 II-3 令和4年9月1日(左図)及び9月6日(右図)の天気図

実施結果は、表 II-2 に示すとおり8月～9月にかけて、途中台風の影響による約2週間の中断を挟んで、4,663 枚の航空写真を撮影した。撮影に使用した航空機(セスナ機)の写真を図 II-4 に、撮影した写真の例を図 II-5 に示す。

表 II-2 撮影結果

撮影日	撮影地域
8月29日	四国中央市～伊方町(島嶼を除く)
8月30日	伊方町～愛南町(島嶼を除く)
8月31日	主に東予地域の島嶼
9月14日	主に中予地域の島嶼
9月15日	主に南予地域の島嶼



(使用したセスナ機)

(写真撮影中のセスナ機)

図 II-4 使用した航空機





区域	四国側の海岸	島嶼の海岸
東予	 <p data-bbox="392 707 679 743">(四国中央市の海岸)</p>	 <p data-bbox="948 707 1281 743">(新居浜市 大島の海岸)</p>
中予	 <p data-bbox="424 1144 647 1180">(伊予市の海岸)</p>	 <p data-bbox="932 1144 1297 1180">(松山市 津和地島の海岸)</p>
南予	 <p data-bbox="408 1579 663 1615">(宇和島市の海岸)</p>	 <p data-bbox="963 1579 1265 1615">(愛南町 横島の海岸)</p>

図 11-5 撮影した航空写真の例

II-2 目視調査

1. 目的

II-4 で実施する航空写真からの漂着ごみ量の推計における精度向上を目的として、愛媛県内の代表的な海岸において目視により漂着物量を把握した。

2. 実施方法

2.1 調査地点

目視調査地点として、表 II-3 に示す7 地点及び表 II-4 に示す2 地点の合計9 地点を調査地点として選定した。目視調査の結果は航空写真からごみの量を推計する際の参考となることを考慮し、漂着物の量が多く、種類に富んでいる海岸を調査地点に選定した。また、東予・中予・南予の地域ごとに漂着ごみの特性が異なる可能性があるため、各地域から2 地点以上を調査地とした。選定に当たっては愛媛県で過年度に実施された回収・目視調査の結果を評価基準とした。

表 II-3 は、令和2 年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査及び令和3 年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査の調査実施地点であり、「漂着物が多い海岸」の代表地点として選定した。表 II-4 は令和3 年度立入困難地域における漂着ごみ現状把握調査の調査地点から「漂着物量が極めて多い海岸」の代表地点として選定しており、アクセス可能性も考慮して決定した。

表 II-3 調査地点(1)

令和2・3 年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査より選定した調査地点							
番号	地域	市町名	海岸名	令和2 年度		令和3 年度	
				容量 (m ³ /10m)	推定ランク	容量 (m ³ /10m)	推定ランク
1	東予	今治市	大三島大見地区海岸	0.18	6~7	0.3	6~7
2		西条市	西条市河原津海岸	0.13	5~6	—	—
3	中予	伊予市	新川海岸	0.08	5	—	—
4		伊予市	高野川海岸	0.26	6~7	0.11	5~6
5	南予	伊方町	伊方越鯛ノ浦	0.62	7~8	0.48	7~8
6		宇和島市	三浦半島 下波大池地区海岸	0.66	8~9	—	—
7		愛南町	船越海岸	1.26	8~9	0.38	7~8

注) 推定ランクは「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」に基づく。

表 II-4 調査地点（2）

令和3年度立入困難地域における漂着ごみ現状把握調査より選定した調査地点				
番号	地域	市町名	海岸名	海岸あたりの推定漂着量 (m ³)
A	南予	八幡浜市	上陸調査地点⑱	78
B	南予	伊方町	上陸調査地点⑩	1,143

2.2 調査方法

「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」（平成30年 非営利活動法人パートナーシップオフィス）の調査方法を用いて、漂着物の量を陸上から目視により推計した。各調査海岸のうち漂着ごみの状況が代表的な海岸線延長10mを対象に、前述したマニュアルに従い写真撮影をした後、表 II-5 に示すランクで漂着物の量を評価した。

表 II-5 漂着ごみ「ランク」

ランク	ごみ量数	かさ容量 (リットル)	回収したごみのかさ容量の表現として
0	0	0	(自然物を除いて)全くゴミがない
T	約 1/8	2.5	500mlのペットボトルならば 3-4本分程度
1	約 1/4	5	2Lのペットボトルならば 2本分程度
2	約 1/2	10	2Lのペットボトルならば 4本分程度 200-350mlの飲料缶ならば 15本分程度
3	約 1	20	2Lのペットボトルならば 8本分程度 200-350mlの飲料缶ならば 30本分程度 ポリタンクならば 1本分程度
4	約 2	40	2Lのペットボトルならば 16本分程度 20L燃料タンクならば 2本分程度
5	約 4	80	2Lのペットボトルならば 32本分程度 20L燃料タンクならば 4本分程度
6	約 8	160	ドラム缶ならば 1本分未満
7	約 16	320	ドラム缶ならば 1.5本分程度
8	約 32	640	ドラム缶ならば 3本分程度
9	約 64	1,280	1立方メートル程度
10	約 128	2,560	ミドルサイズのピックアップトラックで 1台分程度

< 出典 > 「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」

3. 実施結果

事前に選定した調査地 9 地点のうち、伊方町伊方越鯛ノ浦海岸は海岸へのアクセス路に図 II-6 に示す柵が設置され通行できない状態となっていたため、調査を実施しなかった。一方で、事前に選定した調査地に加え、漂着物の量が極めて多い海岸として新たに伊方町の海岸 3 地点を調査地点に追加した。

表 II-6 に調査結果を示す。a～c が、新たに追加した 3 地点である。地点 1、2、4、6 では過年度と同程度の漂着量が見られた。地点 3 では過年度より 2 ランク漂着量が多く、これは容量に換算すると約 4 倍程度多い漂着量となっていた。また、調査地 7 では、過年度より漂着量が 2～3 ランク少なく、これは容量に換算すると 4 分の 1 程度の漂着量であった。調査地 B、a、c では漂着量が最も多いランク 10 だった。



図 II-6 鯛ノ浦海岸へのアクセス路

表 II-6 目視調査結果

番号	地域	市町名	海岸名	推定ランク	参考：過年度調査結果	
					令和 2 年度	令和 3 年度
1	東予	今治市	大三島大見地区海岸	7	6～7	6～7
2	東予	西条市	西条市河原津海岸	5	5～6	—
3	中予	伊予市	新川海岸	7	5	—
4	中予	伊予市	高野川海岸	6	6～7	5～6
5	南予	伊方町	伊方越鯛ノ浦海岸	—	7～8	7～8
6	南予	宇和島市	三浦半島下波大池地区海岸	8	8～9	—
7	南予	愛南町	船越海岸	6	8～9	7～8
A	南予	八幡浜市	上陸調査⑨	7	—	—
B	南予	伊方町	上陸調査⑩	10	—	—
a	南予	伊方町	串	10	—	—
b	南予	伊方町	串（佐田岬漁港東側）	6	—	—
c	南予	伊方町	正野	10	—	—

注) 推定ランクは「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」に基づく。

II-3 回収調査

1. 目的

II-4 で実施する航空写真からの漂着ごみ量の推計における精度向上を目的として、愛媛県内の代表的な海岸において回収により漂着物量を把握した。

また、容量から個数・重量への換算係数を算出するため、回収調査において漂着ごみの容量・個数・重量を計測した。

2. 実施方法

2.1 調査地点

表 II-7 及び図 II-7 に示すとおり、愛媛県内の海岸 7 地点を調査地点候補として選定した。選定に当たっては、以下の点に留意した。

- II-1 における航空機による写真撮影と同日に調査が可能であること。
- 海岸基質及び方位が異なり、漂着物の特徴に偏りが無いこと。
- 海岸線長を 100m 以上有し、前面部に離岸堤等の工作物が無いこと。
- 貴重な生物種保護等の観点で、立ち入りが規制されていないこと。

表 II-7 回収調査地点候補

地域	番号	場所	座標（緯度，経度）	海岸の向き
東予	A	新居浜市黒島 黒島海浜公園内海岸	33.991104° ， 133.343694°	北
	B	西条市高田	33.951899° ， 133.086701°	北東
	C	西条市河原津	33.976493° ， 133.061849°	東
中予	D	松山市粟井河原	33.938013° ， 132.762953°	西
	E	伊予市下吾川 新川海岸	33.773810° ， 132.699374°	北東
南予	F	西宇和郡伊方町 佐田岬漁港隣	33.366759° ， 132.050717°	北西
	G	宇和島市下波 下波大池地区海岸	33.204071° ， 132.430117°	北西



図 II-7 回収調査地点候補

2.2 調査方法

(1) 目視による漂着物量の推計

図 II-8 のような、汀線方向の幅を 50m、奥行きを汀線から後背地までの間とする区画を各調査地点に 1 つ設置した。なお、後背地とは目視でごみの確認が難しい密な植生や、堤防より後ろとし、目視でも簡単にごみの視認が可能なまばらな植生は区画に含めた。各区画は、汀線方向の幅をさらに 10m ごとに区分し、小区画とした。

各小区画において、「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」に従い、区画内に漂着しているごみの状況を記録し、漂着ごみの容量を表 II-5 に示したランクで評価した。

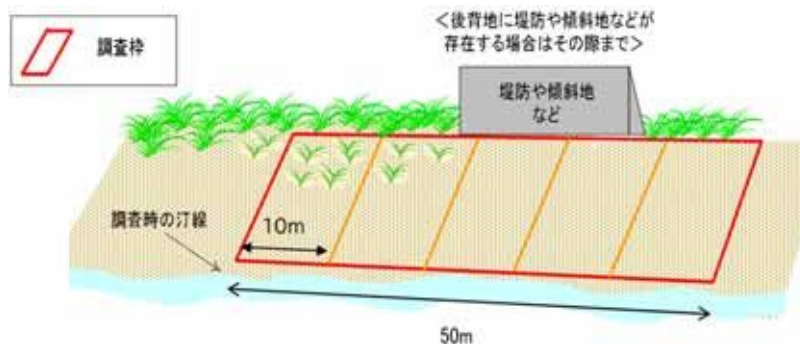


図 II-8 調査区画の概略図

(2) 漂着物の回収・分類調査

調査区画は(1)目視による漂着物量の推計と同一とした。航空写真からの推計結果と比較するため、航空写真から区画を識別できるよう調査区画は目立つ色の幅の広いテープで囲い、各小区画の隅及び植生と砂浜の境界に折り畳んだスタンドバッグを目印として配置した(図 II-9)。

回収は、航空機による写真撮影の実施後に行った。小区画ごとに、「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン」(令和 2 年 6 月 第 2 版 環境省)(以下、「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン」という。)に従い大きさ 2.5 cm 以上の漂着物を回収した。ただし、

2.5 cm未満であっても、「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン」に記載のある品目は回収対象とした。また、人力では回収できない大型のごみは、回収せずに分類項目・緯度経度・容量を記録した。

分類は、「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン」の大分類項目に従った。また、航空機からの視認可能性を考慮し、II-6 有識者ヒアリングの結果も踏まえ、大きさが30 cm以上又は未満で各品目を選別した。

計測は、分類品目及び大きさごとに、容量・個数・重量を計測し記録した。ただし、大きさ30 cm未満の自然物はほとんどが灌木であり、「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン」では灌木の計数は不要としているため、個数の計測から除外した。

回収した漂着物は、廃棄物処理法に則り適正に処理した。



図 11-9 調査区画の様子（上図：現地で撮影した様子、下図：航空写真からの様子）

3. 実施結果

3.1 現地踏査結果

事前現地踏査の結果、十分な漂着量が確認された地点として、東予では新居浜市の黒島海浜公園内の海岸、中予では伊予市の新川海岸、南予では西宇和郡伊方町の佐田岬漁港隣の海岸の3地点を回収調査地点として選定した。以降の結果では、新居浜市の黒島海浜公園内の海岸を

地点①、伊予市の新川海岸を地点②、西宇和郡伊方町の佐田岬漁港隣の海岸を地点③とする。
各調査地点の様子は図 II-10 に示した。



図 II-10 回収調査地点（上から地点①、地点②、地点③）

3.2回収結果

(1) 地点：新居浜市 黒島海浜公園内の海岸

回収された大分類別の容量・個数・重量の結果を表 II-8 及び図 II-11 に示す。航空機からの識別に係る容量では自然物が最も多く 143.5L が回収された。これは地点①で回収された漂着物全体のうち約 4 分の 3 を占めていた。個数では地点①全体で 393 個の漂着物が回収されたが、個数が最も多かったのはプラスチックで、168 個だった。重量では自然物が最も多く、全体の約 3 分の 2 を占めていた。

漂着物を 30 cm 以上又は未満の大きさ別に集計した結果を表 II-9 に示す。人工物では 30 cm 以上の大きいものが 68% であり、30 cm 以上の漂着物はほとんど航空写真から視認可能であると仮定すると、約 7 割の漂着物が航空写真から視認可能だと推察された。一方、自然物は大きいものの割合は約 3 割であり、航空写真での識別が難しい漂着物が多いと予想された。

なお、以降の計算結果については、単位以下を四捨五入しているため、内数の合計が一致しない場合がある。

表 II-8 地点 の大分類別回収結果

黒島海浜公園内海岸			
大分類	容量 (L)	個数 (個)	重量 (kg)
プラスチック	31.0	168	3.3
発泡スチロール	2.5	136	0.1
ゴム	1.3	1	0.8
ガラス、陶器	0.6	36	0.4
金属	0.4	5	0.05
紙、段ボール	0.0	0	0.0
天然繊維、革	0.0	0	0.0
木 (木材等)	9.9	10	4.0
電化製品、電子機器	0.0	0	0.0
自然物	143.5	35	21.4
その他	0.1	2	0.01
合計	189.3	393.0	30.1

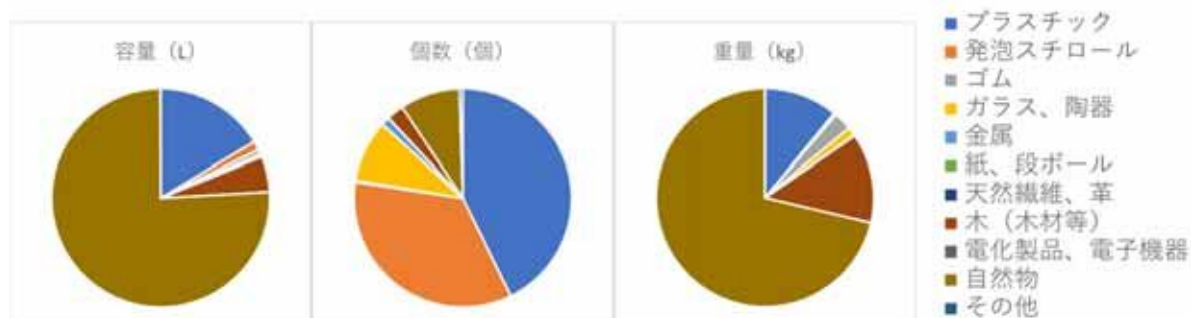


図 II-11 地点 の漂着物割合

表 11-9 地点 の大きさ別集計結果

黒島海浜公園内海岸							
項目	大きさ	容量		個数		重量	
		容量 (L)	割合	個数 (個)	割合	重量 (kg)	割合
人工物	大	31.1	68%	10	3%	4.6	53%
	小	14.6	32%	348	97%	4.0	47%
自然物	大	45.5	32%	35	-	11.3	52%
	小	98.0	68%	-	-	10.2	48%

注) 大：長径30cm以上、小：長径30cm未満

(2) 地点 ：伊予市 新川海岸

回収された大分類別の容量・個数・重量の結果を表 II-10 及び図 II-12 に示す。航空機からの識別に係る容量では自然物が最も多く 307.8L が回収された。これは地点②で回収された漂着物全体のうち約 95%を占めていた。個数では地点②全体で 650 個の漂着物が回収されたが、個数が最も多かったのはプラスチックで、395 個だった。重量では自然物が最も多く、全体の 8 割以上を占めていた。

漂着物を 30 cm以上又は未満の大きさ別に集計した結果を表 II-11 に示す。人工物では 30 cm 未満の小さいものが 94%を占めており、ほとんどの人工ごみが航空写真からの視認が難しいと推察された。自然物でも、航空写真からの視認可能性の低い小さいごみが 78%を占めていた。

表 11-10 地点 の大分類別回収結果

新川海岸			
大分類	容量 (L)	個数 (個)	重量 (kg)
プラスチック	9.4	395	0.8
発泡スチロール	2.1	188	0.05
ゴム	0.2	5	0.4
ガラス、陶器	0.9	8	1.0
金属	0.9	4	0.1
紙、段ボール	1.1	17	0.1
天然繊維、革	0.0	0	0.0
木 (木材等)	2.2	6	0.6
電化製品、電子機器	0.0	0	0.0
自然物	307.8	26	17.9
その他	0.02	1	0.01
合計	324.6	650	21.0

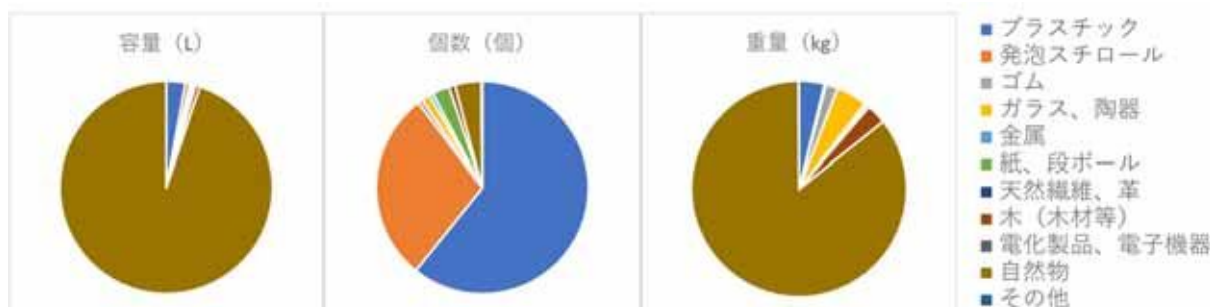


図 II-12 地点 ③ の大分類別漂着物割合

表 II-11 地点 ③ の大きさ別集計結果

項目	大きさ	容量		個数		重量	
		容量 (L)	割合	個数 (個)	割合	重量 (kg)	割合
人工物	大	1.0	6%	1	0%	0.3	11%
	小	15.7	94%	623	100%	2.7	89%
自然物	大	67.1	22%	26	-	6.5	36%
	小	240.7	78%	-	-	11.4	64%

注) 大：長径30cm以上、小：長径30cm未満

(3) 地点 ③：西宇和郡伊方町 佐田岬漁港隣

調査地③は海岸線延長が短かったため、汀線方向 30m の範囲を区画とした。また、自然物の漂着量が非常に多かったため、自然物の回収は汀線方向 10m の植生を含まない範囲でのみ実施した。

表 II-12 及び図 II-13 には、実際の回収量を汀線方向 50m 当りに換算した量を示す。航空機からの識別に係る容量では自然物が最も多く約 1,985L であった。次いでプラスチックが約 1,593L、発泡スチロールが約 1,465L であり、この 3 品目の合計は地点③の漂着物全体のうち 9 割以上を占めていた。個数では地点③全体で 3,638 個となったが、個数が最も多かったのはプラスチックで、2,083 個だった。重量では自然物が最も多く、全体の 7 割以上を占めていた。

漂着物を 30 cm 以上又は未満の大きさ別に集計した結果を表 II-13 に示す。人工物では 30 cm 以上の大きいものが 60%、自然物では大きいものが 68% であり、両者とも航空写真から視認可能なごみが 6 割以上であると推察された。

表 11-12 地点 の大分類別回収結果

佐田岬漁港隣			
大分類	容量 (L)	個数 (個)	重量 (kg)
プラスチック	1,593.3	2,083	88.5
発泡スチロール	1,464.7	670	29.2
ゴム	38.0	43	5.2
ガラス、陶器	23.8	40	6.6
金属	104.2	173	11.9
紙、段ボール	24.0	27	0.7
天然繊維、革	0.0	0	0.0
木 (木材等)	65.5	47	17.9
電化製品、電子機器	0.0	0	0.0
自然物	1,984.7	540	473.8
その他	9.7	15	1.7
合計	5,307.9	3,638	635.5

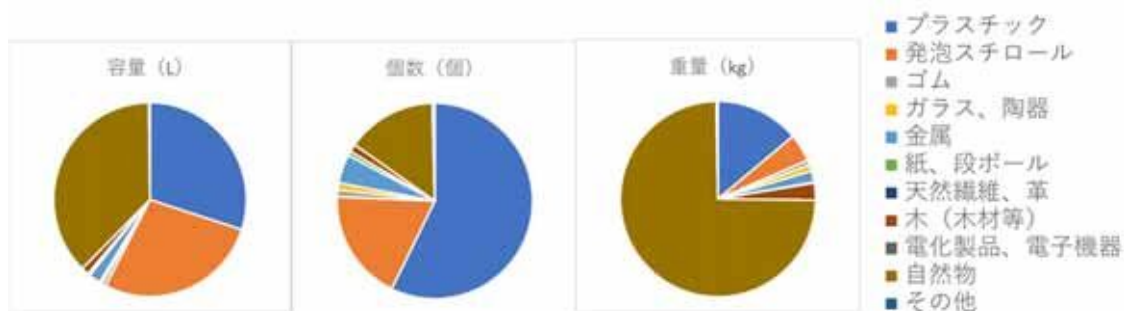


図 11-13 地点 の大分類別漂着物割合

表 11-13 地点 の大きさ別集計結果

項目	大きさ	容量		個数		重量	
		容量 (L)	割合	個数 (個)	割合	重量 (kg)	割合
人工物	大	1,985.8	60%	167	5%	72.7	45%
	小	1,337.3	40%	2,932	95%	89.1	55%
自然物	大	1,345.0	68%	540	-	317.3	67%
	小	639.7	32%	-	-	156.6	33%

注) 大 : 長径30cm以上、小 : 長径30cm未満

II-4 漂着ごみ量の推計

1. 目的

愛媛県内全ての海岸線約 1,700 km における漂着ごみ量の推計及び分布の把握を目的として、II - 1 で撮影した航空写真から漂着ごみの把握を行った。

2. 実施方法

2.1 かさ容量の推計

推計は環境省の自然環境保全基礎調査 海岸線改変状況調査 第 5 回（海辺調査・海岸線改変状況）の愛媛県の海岸線 GIS データを参考に、同データの海岸線の区切りごとに漂着量を評価した。対象物は、表 II-14 のとおり 5 つに区分し、自然物、人工物については表 II-5 に示す 5 段階での評価、発泡フロートは容量、球ブイ及びポリタンクは個数で計数した。推計ランク 0 とは、コンクリート等で護岸された海岸や、自然の崖により漂着物がほとんど見られない海岸としている。なお、環境省の海岸線データに示されていない小さな島嶼については、「国土数値情報（海岸線データ）」（国土交通省）の海岸線の区分を参考に、同様の評価を実施した。

愛媛県内の全海岸の漂着量評価後、県内の総漂着量の算出のため、各評価ランクに相当する海岸線長を合計した。海岸線長については、愛媛県海岸統計の海岸線データに基づき市町ごとに整理した。その後各ランクの総延長に対し、ランク別の最大かさ容量と最小かさ容量を掛け合わせることで、ランクごとの最大及び最小の漂着量を算出した。なお、ランク 4 の最大値については、実際に航空写真から判別された最大量である $2.2\text{m}^3/10\text{m}$ とした。最後に、各推計ランクの最小量同士、最大量同士の合計により、愛媛県全域での最小漂着量と最大漂着量を算出した（表 II-16）。

表 II-14 航空機からの推計の対象物


No	対象物	環境省の分類	漂着物の例
1	自然物	流木、灌木 木（木材等） 《写真では自然の木と区別困難なため》	
2	人工物 《下記を含む》	プラスチック 発泡スチロール ゴム ガラス、陶器 金属 紙、段ボール 天然繊維、革 電化製品、電子機器	
3	発泡フロート	発泡スチロール製フロート	
4	球ブイ	浮子（ブイ）（漁具）	
5	ポリタンク	その他のプラボトル類 ≥ 10	

表 II-15 航空機からの推計ランクの定義

航空機からの推計ランク	「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」ランク表				
	ランク	ごみ袋数	かさ容量 (リットル)	回収したごみのかさ容量の表現として	
0	0	0	(自然物を除いて)全くゴミがない		
1	T	約 1/8	2.5	500mlのペットボトルならば 3-4本分程度	
	1	約 1/4	5	2Lのペットボトルならば 2本分程度	
	2	約 1/2	10	2Lのペットボトルならば 4本分程度 200-350mlの飲料缶ならば 15本分程度	
2	3	約 1	20	2Lのペットボトルならば 8本分程度 200-350mlの飲料缶ならば 30本分程度 ポリタンクならば 1本分程度	
	4	約 2	40	2Lのペットボトルならば 16本分程度 20L燃料タンクならば 2本分程度	
	5	約 4	80	2Lのペットボトルならば 32本分程度 20L燃料タンクならば 4本分程度	
3	6	約 8	160	ドラム缶ならば 1本分未満	
	7	約 16	320	ドラム缶ならば 1.5本分程度	
	8	約 32	640	ドラム缶ならば 3本分程度	
4	9	約 64	1,280	1立方メートル程度	
	10	約 128	2,560	ミドルサイズのピックアップトラックで 1台分程度	

< 出典 > 右側の図は「水辺の散乱ゴミの指標評価手法マニュアル」の「ランク」表より一部を抜粋

表 II-16 県全域の漂着物量推計方法

推計ランク	20リットルごみ袋数 (袋数/10m)	かさ容量 (範囲) (m ³ /10m)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0袋	0	z	0	0
1	1袋未満	0~0.02	a	0	0.02 × (a × 100)
2	1袋以上~8袋未満	0.02~0.16	b	0.02 × (b × 100)	0.16 × (b × 100)
3	8袋以上~64袋未満 (ドラム缶3本未満)	0.16~1.28	c	0.16 × (c × 100)	1.28 × (c × 100)
4	64袋以上 (ドラム缶3本以上)	1.28~(*)	d	1.28 × (d × 100)	(*) × (d × 100)
合計			1,704	Xmin	Xmax

* : 今回の全航空写真のうちの最大量 2.2m³とした。

2.2 個数及び重量の推計

かさ容量から個数及び重量を推計するため、II-3の結果について調査地点ごとに人工物・自然物の個数を容量で除したものを個数密度、重量を容量で除したものを比重として算出した。各地点の個数密度及び比重は、各調査地点が属する地域の代表値であるとし、2.1で推計した各エリアの漂着ごみ容量に個数密度及び比重を掛けることで、各地域の漂着ごみの個数及び重量を推計した。

2.3 航空写真から視認できない小さな漂着物量の加算

航空写真の解像度は、1ピクセル当たり最小約10cmである。そのため、細かい漂着物は写真に写らず推計から漏れていると考えられる。有識者ヒアリングの結果より、画像から視認可能な漂着物の最小サイズが30cmであると仮定すると、2.1で推計された漂着物量は30cm以上の漂着物のみが含まれていることになる。

2.1の推計に含まれていない30cm未満の小さな漂着物量を推計に加算するため、II-3の結果について、調査地点ごとに30cm以上の大きな漂着物と30cm未満の小さな漂着物の割合を、人工物・自然物についてそれぞれ算出した。また、本調査で回収調査を実施したのは各地域につき1地点のみであり、令和2年度及び3年度の愛媛県海洋プラスチックごみ総合調査結果と比較した結果、大小の割合に差異も見られた。そのため、令和2年度及び3年度の愛媛県海洋プラスチックごみ総合調査結果のデータシート及び写真から30cmを基準とした大小割合を推計し、本調査結果との平均値を算出した。この平均値を計数として、2.1の推計結果から30cm未満の小さな漂着物量を加算した。

3. 実施結果

3.1 かさ容量の推計

3.1.1 愛媛県全域の集計

表 II-17 の上段及び中段の表には、人工物及び自然物について各推計ランクに相当する海岸線長及びそこから推計された漂着物のかさ容量を示す。また、図 II-14 には、推計量の範囲を図として示している。愛媛県全域の漂着量を推計した結果、人工物は863～7,541m³の範囲、自然物は1,092～9,071m³の範囲と推計された。人工物と自然物を比較すると、自然物の方が1.2～1.3倍程度多かった。

また、表 II-17 の下段には、人工物と自然物の漂着量を合計した値として、全体量を示している。その結果、愛媛県全域の海岸漂着物量は、1,955～16,612m³の範囲と推計された。

表 11-17 人工物・自然物・合計値の集計結果

人工物					
推計 ランク	20 リットルごみ袋 (目安) (袋数/10m)	かさ容量(範囲) (m ³)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0 袋	0	849	0	0
1	1 袋未満	0~0.02	610	0	1,219
2	1 袋以上~8 袋未満	0.02~0.16	224	448	3,587
3	8 袋以上~64 袋未満 (ドラム缶 6 本未満)	0.16~1.28	20	322	2,574
4	64 袋以上 (ドラム缶 6 本以上)	1.28~2.2	1	93	160
合計			1,704	863	7,541

自然物					
推計 ランク	20 リットルごみ袋 (目安) (袋数/10m)	かさ容量(範囲) (m ³)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0 袋	0	866	0	0
1	1 袋未満	0~0.02	622	0	1,243
2	1 袋以上~8 袋未満	0.02~0.16	178	356	2,847
3	8 袋以上~64 袋未満 (ドラム缶 6 本未満)	0.16~1.28	37	592	4,733
4	64 袋以上 (ドラム缶 6 本以上)	1.28~2.2	1	144	248
合計			1,704	1,092	9,071

合計量					
推計 ランク	20 リットルごみ袋 (目安) (袋数/10m)	かさ容量(範囲) (m ³)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0 袋	0	826	0	0
1	1 袋未満	0~0.02	525	0	2,462
2	1 袋以上~8 袋未満	0.02~0.16	276	804	6,434
3	8 袋以上~64 袋未満 (ドラム缶 6 本未満)	0.16~1.28	73	913	7,307
4	64 袋以上 (ドラム缶 6 本以上)	1.28~2.2	4	237	408
合計			1,704	1,955	16,612

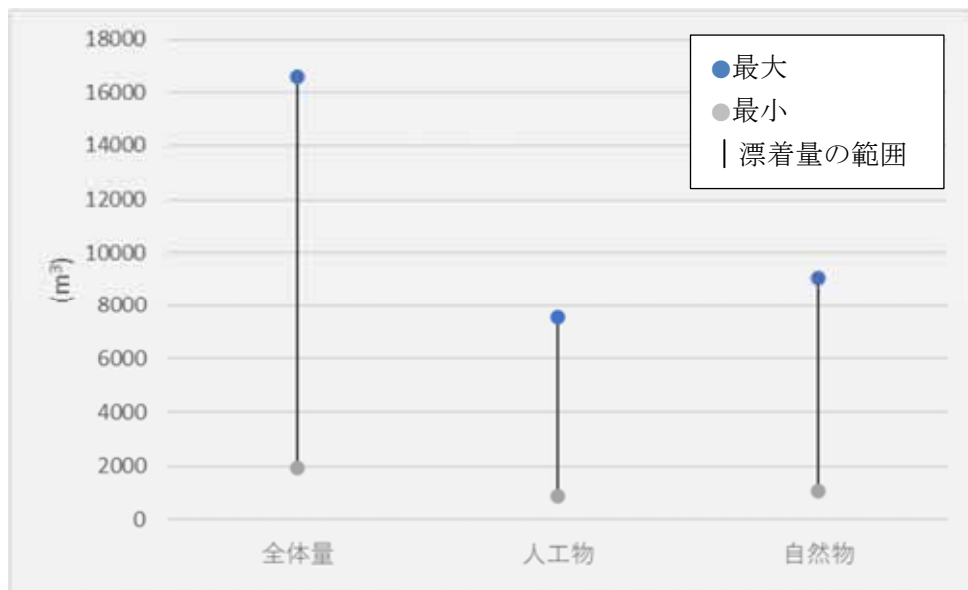


図 II-14 愛媛県内の海岸漂着物の推計量

3.1.2 地域別の集計

東予・中予・南予の地域別に人工物・自然物及び全体量を集計した結果を表 II-18 及び図 II-15 に示す。東予では最大約 2,100m³、中予では最大約 2,200m³、南予では最大約 12,300m³ となり、東予・中予の漂着量は同程度である一方、南予の漂着量は東・中予の合計値より約 3 倍程度多いという結果だった。一方で、図 II-16 に示すように各地域の漂着容量を 10km あたりの漂着量に換算したところ、中予は東予の 2 倍以上、南予は東予の 4 倍程度となり、東予が他地域と比較して漂着物量が少ないという結果だった。

発泡フロート、球ブイ、ポリタンクの個別計測品目に関する推計結果を表 II-19 に示す。漂着量は 3 品目とも南予が最も多かった。特に球ブイは総漂着個数 4,148 のうち 99% である 4,090 個が南予で見られた。また、発泡フロートについても、総漂着量である 1,950m³ のうち約 8 割である 1,576m³ が南予で見られた。

個別計測品目の漂着量を地域別に 10km あたりの漂着量に換算した結果を表 II-20 に示す。南予では発泡フロートについては東予の約 6 倍程度、球ブイについては 100 倍以上の漂着量があることが分かった。

表 11-18 地域別の推計結果

東予					
推計 ランク	20 リットルごみ袋 (目安) (袋数/10m)	かさ容量(範囲) (m ³)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0 袋	0	352	0	0
1	1 袋未満	0~0.02	191	0	800.8
2	1 袋以上~8 袋未満	0.02~0.16	66	145.2	1,161.3
3	8 袋以上~64 袋未満 (ドラム缶 6 本未満)	0.16~1.28	2	21.9	175.5
4	64 袋以上 (ドラム缶 6 本以上)	1.28~2.2	0	0	0
合計			612	167.1	2,137.6

中予					
推計 ランク	20 リットルごみ袋 (目安) (袋数/10m)	かさ容量(範囲) (m ³)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0 袋	0	84	0	0
1	1 袋未満	0~0.02	98	0	428.7
2	1 袋以上~8 袋未満	0.02~0.16	43	131.6	1,052.5
3	8 袋以上~64 袋未満 (ドラム缶 6 本未満)	0.16~1.28	9	89.0	711.9
4	64 袋以上 (ドラム缶 6 本以上)	1.28~2.2	0	0	0
合計			233	220.6	2,193.1

南予					
推計 ランク	20 リットルごみ袋 (目安) (袋数/10m)	かさ容量(範囲) (m ³)	海岸長 (km)	漂着物のかさ容量 (最小) (m ³)	漂着物のかさ容量 (最大) (m ³)
0	0 袋	0	390	0	0
1	1 袋未満	0~0.02	236	0	1,232.9
2	1 袋以上~8 袋未満	0.02~0.16	166	527.5	4,220.3
3	8 袋以上~64 袋未満 (ドラム缶 6 本未満)	0.16~1.28	62	802.5	6,419.6
4	64 袋以上 (ドラム缶 6 本以上)	1.28~2.2	4	237.4	408.1
合計			859	1,567.4	12,280.9

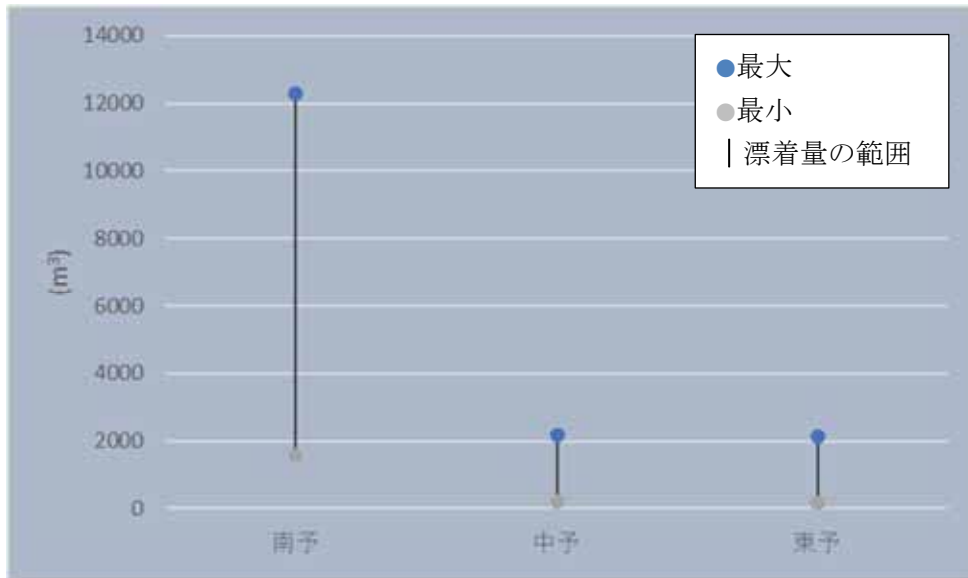


図 11-15 地域別の推計結果（全体量）

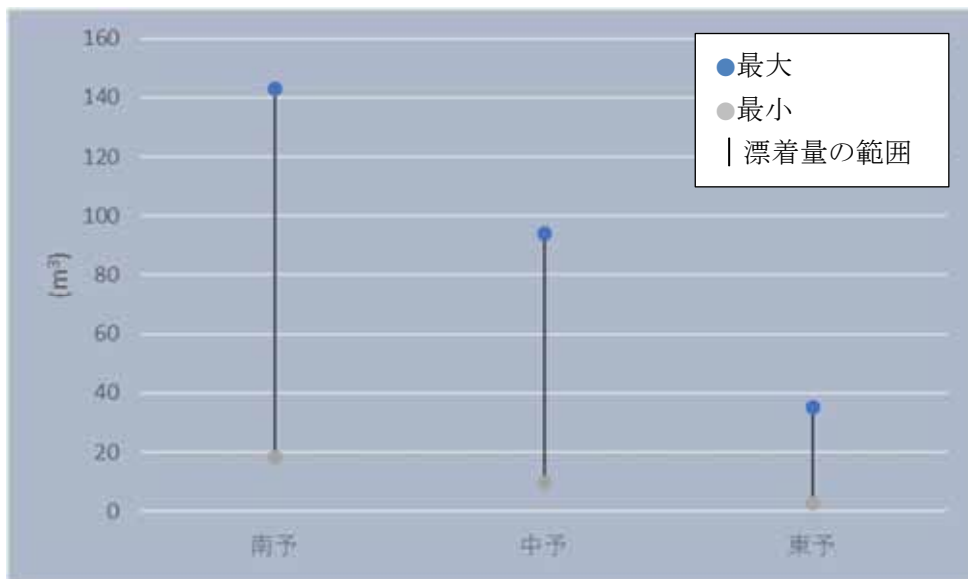


図 11-16 地域別の推計結果（10km あたり）

表 11-19 個別計測品目の地域別漂着量

地域	発泡フロート (m ³)	球ブイ		ポリタンク	
		個数 (個)	容量 (m ³)	個数 (個)	容量 (m ³)
東予	184	27	0.4	13	0.3
中予	190	31	0.4	16	0.4
南予	1,576	4,090	57.3	79	2.0
合計	1,950	4,148	58.1	108	2.7

表 11-20 個別計測品目の 10km あたりの地域別漂着量

地域	発泡フロート (m ³)	球ブイ		ポリタンク	
		個数 (個)	容量 (m ³)	個数 (個)	容量 (m ³)
東予	3	0.44	0.01	0.21	0.01
中予	8.16	1.33	0.02	0.69	0.02
南予	18.36	47.63	0.67	0.92	0.02

3.1.3市町別の集計

人工物及び自然物の漂着量について市町別に集計した結果を表 II-21 及び図 II-17 に示す。最も漂着物量が多かったのは宇和島市であり、最大約 5,738m³ と推計された。次いで、伊方町が 2,710m³、愛南町が 2,539m³ との結果であった。10km あたりの漂着量に換算した結果を図 II-18 に示す。10km あたりで最も多かったのは伊方町の最大 175m³ であり、宇和島市の 165m³ より多いという結果であった。ただし、この評価には海岸線の複雑さが含まれていない点に留意が必要である。また、現実の海岸線はフラクタル（一部分を拡大すると、元の図形と似た性質を持つ図形）であり、地図 (GIS) 上の海岸線の取り方によって海岸線長が変わってしまう点にも留意が必要である。図 II-19 では、愛媛県の海岸線を推計ランクごとに色分けし、漂着ごみのスポットを示している。南予にオレンジ色や赤色の高ランクの海岸が集中しており、東予ではランク 0 の海岸も見られた。これは東予の海岸には工場地帯が多く、多くの海岸がコンクリートにより整備された垂直護岸となっており、物的に漂着できない海岸線が多いことも要因である。

表 II-21 市町別の漂着量

地域	市町	海岸線長 (km)	全体漂着量 (m ³)		人工物漂着量 (m ³)		自然物漂着量 (m ³)	
			最小	最大	最小	最大	最小	最大
東予	四国中央市	41.7	22.6	211.2	9.5	93.2	13.1	118.0
	新居浜市	61.3	21.6	227.7	9.6	104.7	11.9	123.0
	西条市	49.1	4.6	44.2	0.7	10.8	3.9	33.4
	上島町	93.2	36.9	448.2	20.9	250.5	16.1	197.7
	今治市	366.7	81.4	1,206.3	49.1	675.5	32.3	530.8
中予	松山市	200.3	185.1	1,861.2	95.7	949.1	89.4	912.1
	松前町	5.3	5.4	45.0	1.7	15.3	3.7	29.6
	伊予市	27.8	30.1	287.0	10.8	110.0	19.3	176.9
南予	大洲市	25.9	13.5	138.9	8.8	84.6	4.7	54.3
	八幡浜市	72.3	26.3	316.6	18.4	196.8	7.9	119.8
	伊方町	155.3	357.2	2,710.3	183.5	1,199.3	173.7	1,511.0
	西予市	58.3	203.7	837.9	57.7	299.4	145.9	538.5
	宇和島市	348.1	690.1	5,738.0	267.7	2,359.3	422.4	3,378.8
	愛南町	198.7	276.6	2,539.2	129.2	1,192.5	147.3	1,346.7
合計		1,704	1,955	16,612	863	7,541	1,092	9,071

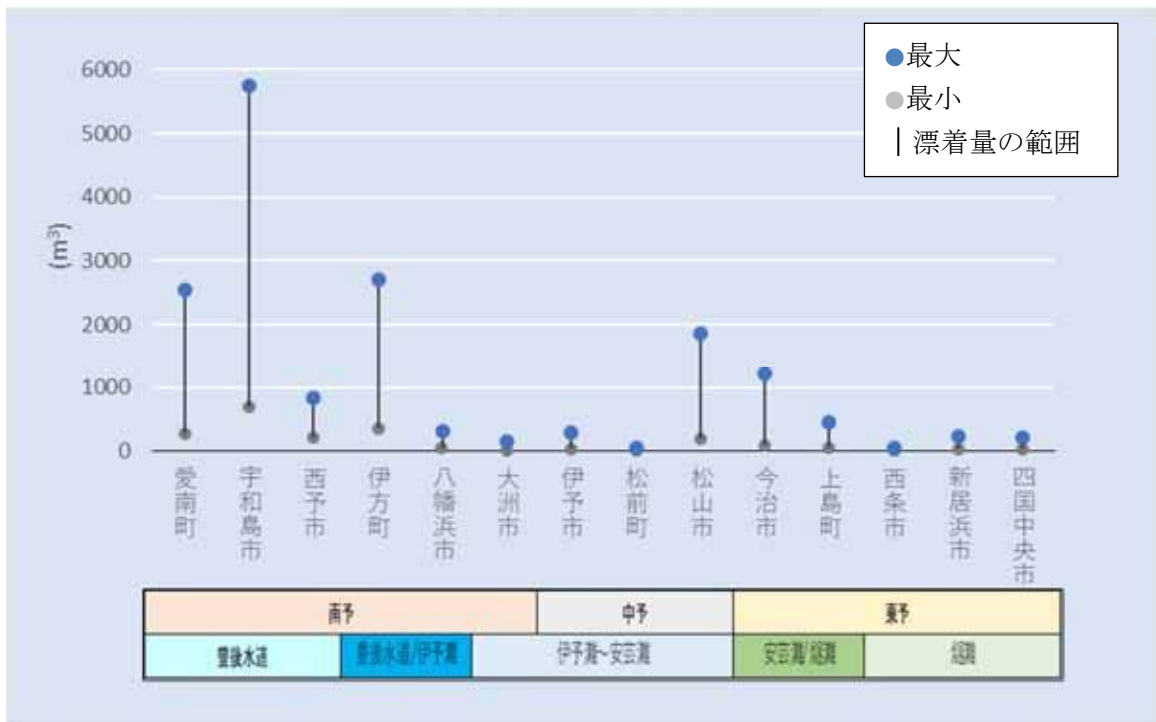


図 11-17 市町別の推計結果（全体量）

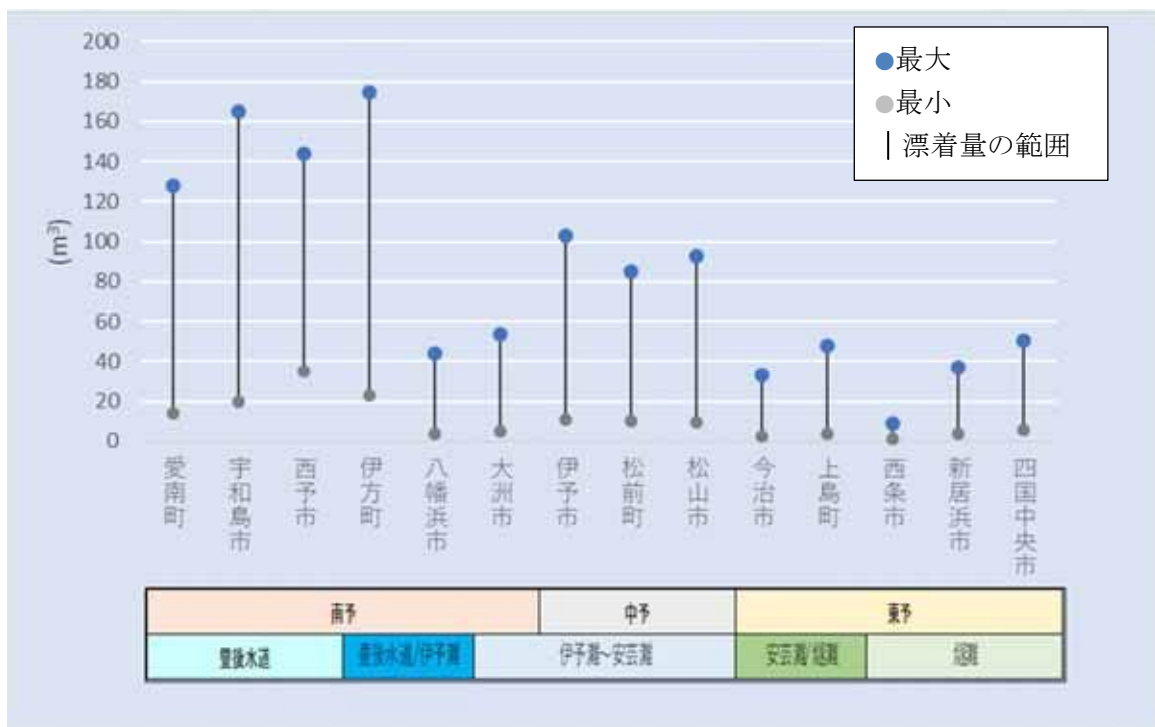
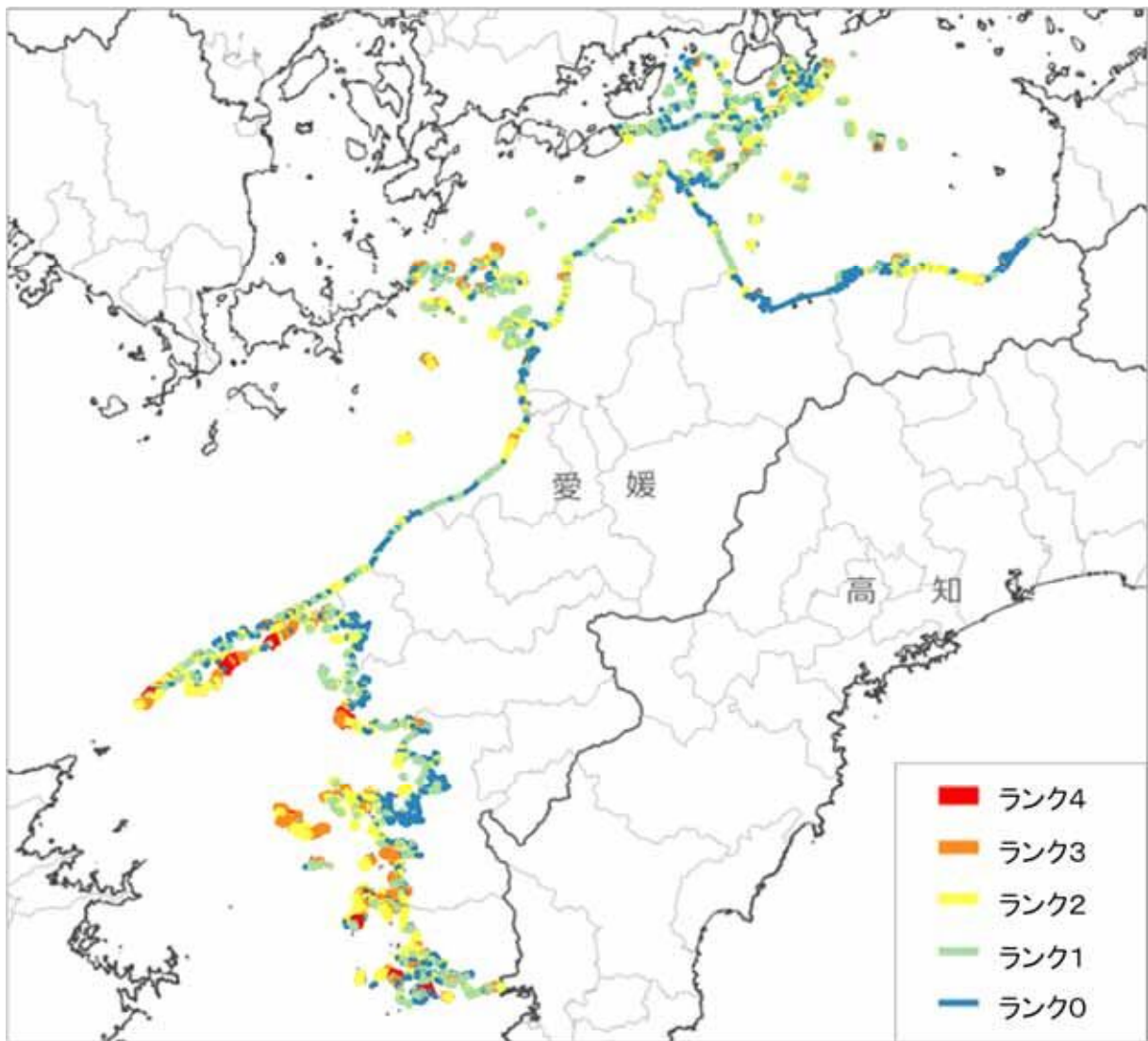


図 11-18 市町別の推計結果（10km あたり）



< 出典 > 国土地理院 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) に加筆

図 II-19 漂着量分布図（漂着ごみのスポット）

3.2 個数及び重量の推計

漂着ごみエリア実地調査の結果について、各調査地点の人工物・自然物について個数・重量を容量で除して算出した個数密度及び比重を表 II-22 に示す。個数密度については調査地により大きく異なったが、これは調査地間で回収された漂着ごみの大きさが異なるためと考えられる。調査地②では小さな漂着物の割合が多かったため容量当たりの個数が多くなった一方で、地点③では発泡フロート等の大型の漂着物が見られたため、容量当たりの個数は小さくなっていると考えられる。人工物の比重は地点③で他2地点より小さくなったが、これは地点③では比重の小さい発泡スチロール製品の漂着量が他の2地点より多かったためと考えられる。また、自然物の比重が地点②で小さくなったが、これは他の2地点と比べ比重の小さい灌木が多数漂着していたためと考えられる。個数密度や比重は地点や年によりばらつきがあることが想定されたため、有識者の指摘を踏まえ表 II-23 に令和2年度から4年度の個数密度及び比重を平均した値を算出した。東予や中予の個数密度が小さくなった一方で、南予の個数密度は大きく

なった。また、3地域とも自然物の比重は小さくなった。

表 II-23 の個数密度及び比重を各地域の代表値として 3.1.2 の容量の推計結果に掛けることで、各地域の漂着ごみ量を個数に換算した結果を表 II-24 に示す。個数では中予が最も多く $19,167 \times 10^3$ 個という結果だった。次いで南予が $9,854 \times 10^3$ 個であり、東予が $4,175 \times 10^3$ 個と最も少なくなった。

表 II-25 には、3.1.2 の容量の推計結果に比重を掛けることで漂着ごみ量を重量に換算した結果を示す。重量は南予で 936t と最も多く、次いで中予の 174t、東予の 168t という結果だった。

表 II-22 個数密度及び比重（令和4年度）

番号	場所	個数密度(個/L)		比重(kg/L)	
		人工物	自然物※	人工物	自然物
①	新居浜市黒島 黒島海浜公園内海岸	7.83	0.24	0.19	0.15
②	伊予市下吾川 新川海岸	37.44	0.08	0.18	0.06
③	西宇和郡伊方町	0.93	0.27	0.05	0.24

※自然物の個数は 30 cm以上のもののみ計数している。

表 II-23 個数密度及び比重（令和2～4年度の平均）

番号	地域	個数密度(個/L)		比重(kg/L)	
		人工物	自然物※	人工物	自然物
①	東予	3.58	0.12	0.10	0.05
②	中予	17.80	0.04	0.14	0.02
③	南予	1.71	0.10	0.07	0.08

表 II-24 個数換算結果

地域	全体量 (×10 ³ 個)		人工物 (×10 ³ 個)		自然物 (×10 ³ 個)	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
東予	330	4,175	321	4,059	9	116
中予	1,930	19,167	1,926	19,125	4	42
南予	1,233	9,854	1,141	9,143	92	711

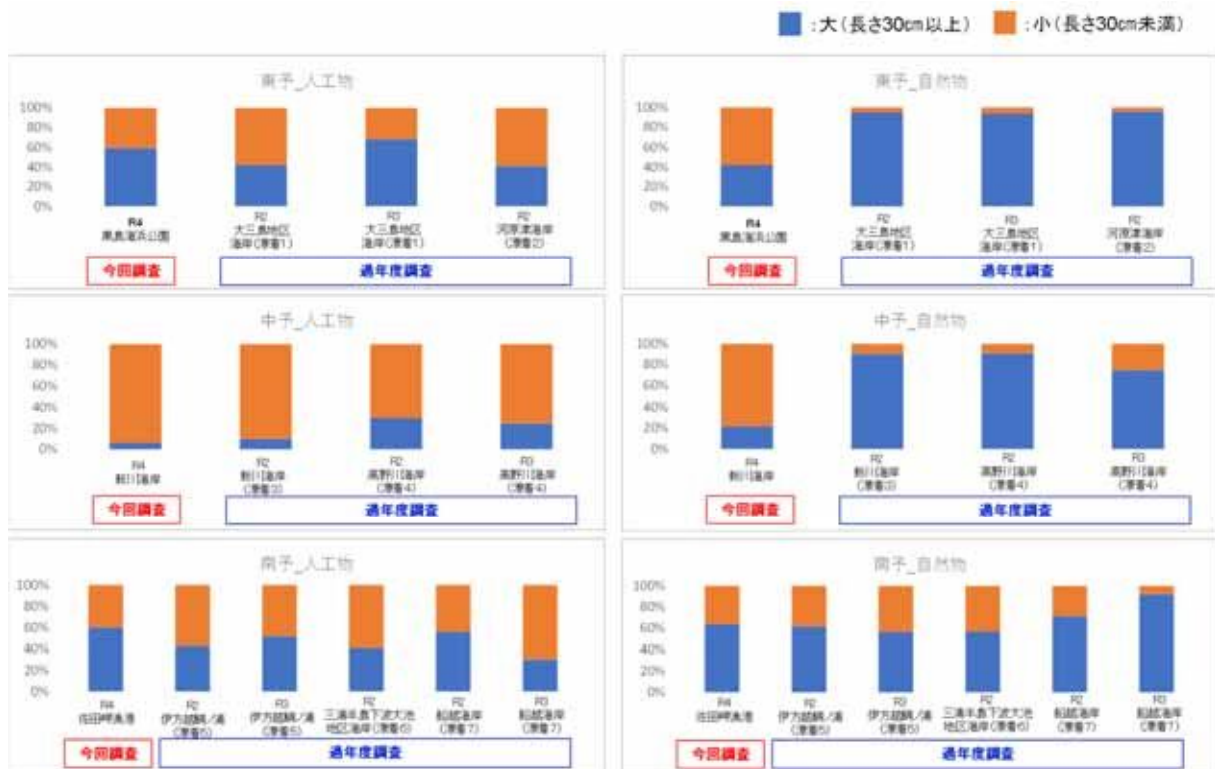
表 II-25 重量換算結果

地域	全体量 (t)		人工物 (t)		自然物 (t)	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
東予	13	168	9	117	4	50
中予	18	174	15	151	2	22
南予	120	936	47	379	72	557

3.3 航空写真から視認できない小さな漂着物量の加算

本調査結果及び愛媛県による過年度調査結果における大小比率を図 II-20 に示す。東予及び中予における自然物について、本調査結果は過年度調査と比較すると小さい漂着物の割合が最大約4倍高かった。これは出水等の影響によるものだと考えられる。

東予・中予・南予ごとに、人工物及び自然物の大小割合の平均値を算出した結果を表 II-26 に示す。表 II-26 における航空写真から推計した漂着物量に人工物及び自然物の大きさが小さいもの(30 cm未満)の割合を加算した結果が表 II-27 である。すると、愛媛県全域で人工物は最大 19,678m³、自然物は最大 13,218m³、合計で最大 32,896m³の海岸漂着物が現存していると推計された。地域別に漂着物量を比較すると、最も量が多かったのは南予の最大 21,816m³だった。この値は中予の最大 7,704m³の約2.8倍であり、令和3年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査結果の「東中予と比べ、南予が1.6~3倍程度多い」という結果と同程度となっていた。一方で、令和3年度の立入困難地域における漂着ごみ現状把握調査結果「軽トラック約32,000台分」(約83,000m³)と比較すると本推計結果は小さくなっていた。



注) 令和2年度及び3年度のグラフは、令和2年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査及び令和3年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査の結果より作成

図 11-20 調査地点ごとの漂着ごみの大小比率

表 11-26 地域ごとの漂着ごみの大小比率

項目	大きさ	東予	中予	南予
人工物	大	53%	18%	47%
	小	47%	82%	53%
自然物	大	82%	69%	67%
	小	18%	31%	33%

注) 大: 30cm以上、小: 30cm未満

表 11-27 小さい漂着物量を加算した推計結果

地域	航空機調査容量 (m ³)				小さい漂着物を加算した容量 (m ³)					
	人工物		自然物		人工物		自然物		合計	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
東予	89.8	1,134.7	77.3	1,002.9	170	2,147	95	1,229	265	3,376
中予	108.2	1,074.5	112.4	1,118.6	614	6,093	162	1,611	775	7,704
南予	665.4	5,331.8	902.0	6,949.1	1,427	11,438	1,347	10,378	2,775	21,816
合計	863	7,541	1,092	9,071	2,211	19,678	1,604	13,218	3,815	32,896

II-5 AIによる画像処理方法の検討

1. 背景及び目的

航空写真から目視で漂着ごみを検出・分類する作業は人手と時間がかかり、また、経験のある者がいなければ目視による推計精度の確保が難しくなる懸念がある。

大型の発泡フロート等、人工物の漂着ごみ、流木等の自然ごみ（以下、漂着ごみと表記）を自動検出するAIモデルが生成できるか検証を行った。

2. 実施方法

2.1 漂着ごみの検出アルゴリズム

漂着ごみの検出アルゴリズムは図 II-21 のとおり。航空写真(8688×5792 ピクセル)を8×8個の小画像(1086×724 ピクセル)に分割し、分割した画像を漂着ごみ検出モデルに入力し、漂着ごみを検出した。

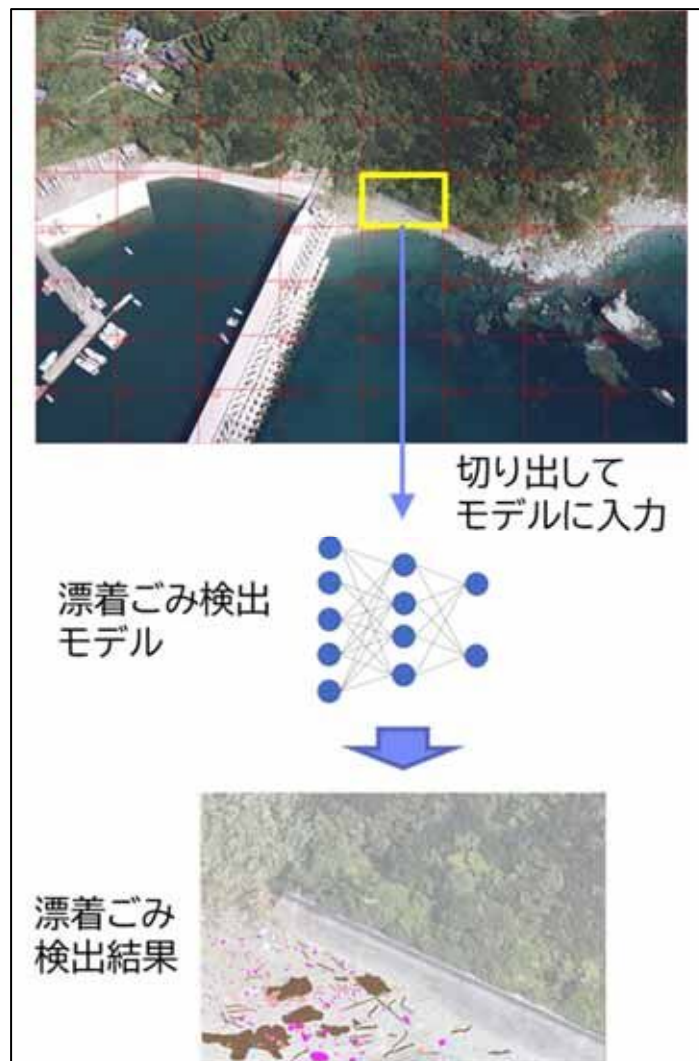


図 II-21 漂着ごみの検出アルゴリズム

2.2 教師データの作成

小画像(1086×724 ピクセル)に対して、アノテーションソフトウェア Labelme を用いてアノ

テーション（教師データ作成）作業を実施した。



図 11-22 Labelme を用いたアノテーション作業

対象とする漂着ごみの種類は以下の 5 種類とした。

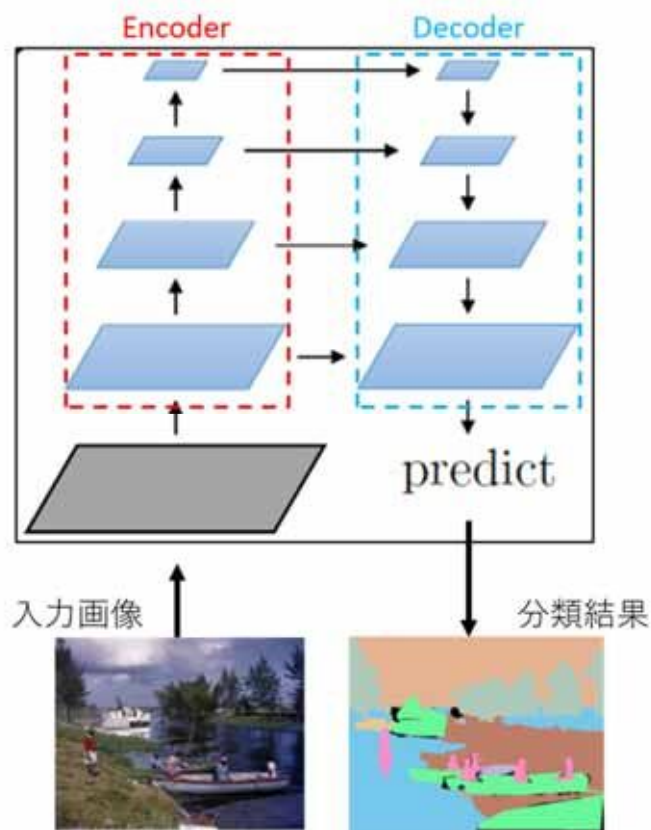
- 球ブイ
- ポリタンク
- 浮きフロート
- 上記以外の人工ごみ
- 自然ごみ

対象とする漂着ごみの輪郭を Labelme 上でポリゴンまたは矩形で囲み、漂着ごみの種別を入力した。漂着ごみの種判別は地上で撮影した写真を参考にして行った。海浜、水域、植生、構造物など漂着ごみ以外の物体のアノテーションは行わず、背景として扱った。

作業の結果、663 枚の教師データを作成した。

2.3 AI モデルの学習

AI モデルはピクセル単位で漂着ごみを検出して漂着量を推定可能なセマンティックセグメンテーションモデルを採用した(図 II-23)。Encoder で画像の特徴を抽出し、Decoder で抽出した特徴を基にピクセルを分類する。



< 出典 > <http://presentations.cocodataset.org/COC017-Stuff-FAIR.pdf> を基に作成

図 II-23 セマンティックセグメンテーションモデルの例(U-Net)

以下の2通りのモデルを開発した。

- 漂着ごみの検出のみを行う漂着ごみ検出モデル (以下、検出モデル)
- 漂着ごみの検出と5種類の漂着ごみの判別を行う漂着ごみ分類モデル (以下、分類モデル)

検出モデルは5種類の漂着ごみを1クラスにまとめて学習させた。

学習は2.2で作成した663枚の教師データのうち560枚を用いて行い、残りの103枚で評価することとした。

モデルの実装にはKaggleなどのデータ分析コンペティションで採用実績のあるライブラリ `segmentation_models.pytorch` (https://github.com/qubvel/segmentation_models.pytorch) (以下、smp)を採用した。smpは9種類のセマンティックセグメンテーションモデル(アーキテクチャ)と600種類以上のEncoder(画像の特徴を抽出する部分)を選択可能であり、異なるモデルであってもほぼ同じコードで学習・推論できるため、開発コストが低いメリットがある。その他、用いた主なソフトウェア・ライブラリとそのバージョンは表 II-28 に示すとおりである。また、AIモデル学習時の設定は表 II-29 に示すとおりである。なお、学習に用いたコン

コンピュータのスペックは表 II-30 のとおりである。

表 II-28 漂着ごみ検出・分類モデルの使用する主なソフトウェア・ライブラリ

名称	バージョン	内容
Miniconda3	22.9	Python ディストリビューション
Python	3.10.8	Python
PyTorch	1.12.1	深層学習フレームワーク
torchvision	0.13.1	PyTorch を用いた画像解析フレームワーク
smp	0.3.1	セマンティックセグメンテーションモデルライブラリ segmentation_models.pytorch
cupy	11.3.1	CUDA のランタイム セマンティックセグメンテーションモデルの学習で使用
pillow	9.2.0	画像処理ライブラリ 画像ファイルの読み込み、解析結果画像ファイルの作成に使用
OpenCV	4.6.0	画像解析ライブラリ 教師データの前処理、精度の計算に使用
Numpy	1.23.3	多次元配列数値計算ライブラリ 画像データの前処理、精度の計算に使用

表 II-29 学習時の設定

設定項目	設定
画像サイズ	1088×736 ピクセル
ミニバッチ数	4
エポック数	30
重みパラメータ初期値	Encoder は Pytorch Image Models 提供の Pre-train モデルの重みパラメータで初期化
パラメータ更新	Momentum SGD (慣性項付き確率的勾配降下法) 学習率の初期値 0.001,
損失関数	Dice Loss、Tversky Loss

表 11-30 学習に用いたコンピュータのスペック

項目	スペック
OS	Ubuntu 18.04.5 LTS 64bit
CPU	Intel Xeon W-2235 (6 コア 12 スレッド)
メモリ	32GB
GPU	NVIDIA GeForce RTX 3090 (CUDA コア数: 10496, VRAM: 24GB)

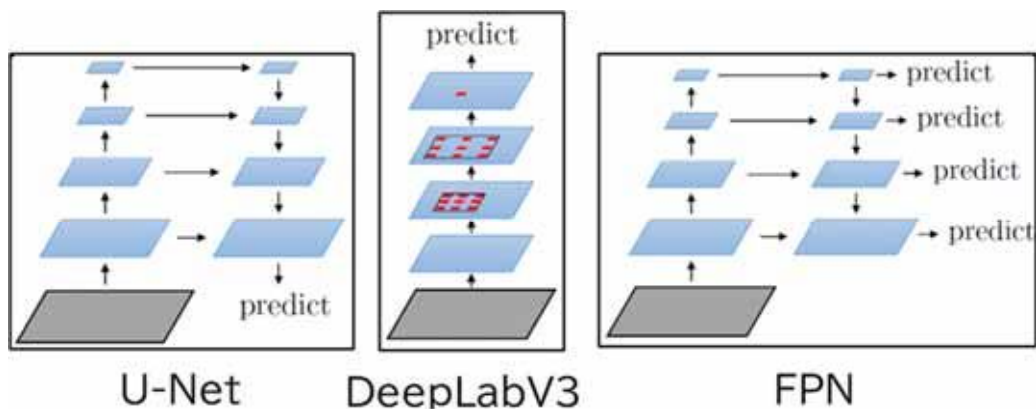
3. 実施結果

3.1 セマンティックセグメンテーションモデルの検討

3.1.1 セマンティックセグメンテーションモデルの検討

smp で選択可能な 9 つのセマンティックセグメンテーションモデルのうち、代表的な以下の 3 つについて検出モデルの学習を行い、精度を比較した。

- U-Net
- DeepLabV3
- Feature Pyramid Network (FPN)



< 出典 > <http://presentations.cocodataset.org/COC017-Stuff-FAIR.pdf> を基に作成

図 II-24 U-Net, DeepLabV3, FPN の概要図

Encoder(図 II-23)には ResNet18 を採用した。評価用データと予測結果の確率 50%以上のピクセル($\text{conf} \geq 0.5$)を比較した。

評価指標は以下の 3 つとした。

- 再現率(Recall)
- 適合率(Precision)
- IoU (Intersection over Union)

再現率は漂着ごみをモデルがどれくらい再現(予測)できているか表す指標、適合率はモデルの予測結果がどれくらい漂着ごみと適合しているかを表す指標、IoU (アイ・オー・ユー)は漂着ごみとモデルの予測結果がどれくらい重なるかを表す指標である。全評価データの IoU の平均をとったものが mIoU(mean of IoU)となる。

結果は表 II-31 に示すとおりである。FPN モデルのmIoU の値が最も高くなった。U-Net と DeepLabV3 は適合率が低く、誤検出が非常に多くなっている。3つのモデルの検出結果の例を図 II-25 示す。左側が人が目視で検出したもの(正解 Ground Truth)で、右側が各モデルの予測結果である。マゼンダ色に塗られている部分が漂着ごみとして人またはモデルが検出したピクセルである。この結果からも FPN と比較して、U-Net と DeepLabV3 の誤検出が多いことが分かる。

表 II-31 セマンティックセグメンテーションモデルの精度比較

モデル名	mIoU[%]	再現率[%]	適合率[%]
U-Net	4.3	71.5	4.4
DeepLabV3	3.3	86.9	3.4
FPN	14.2	29.5	45.5

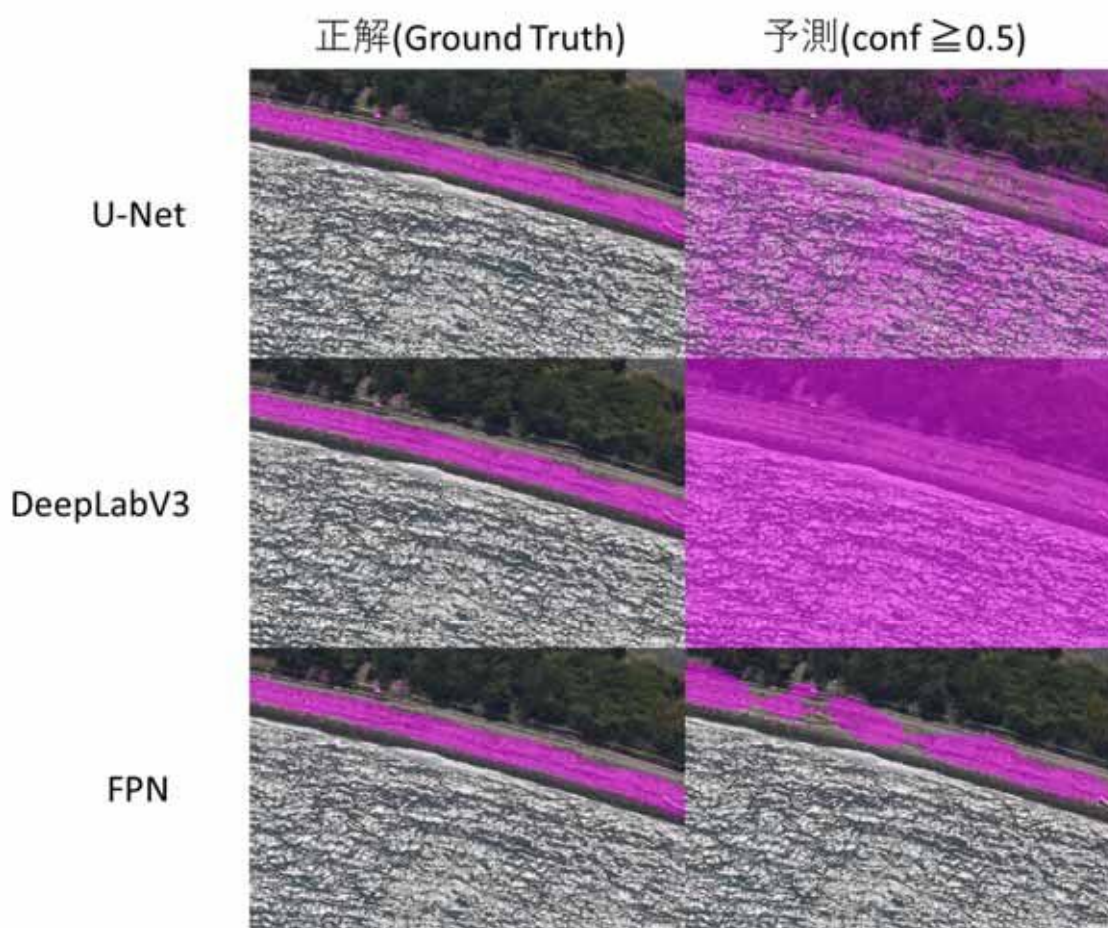
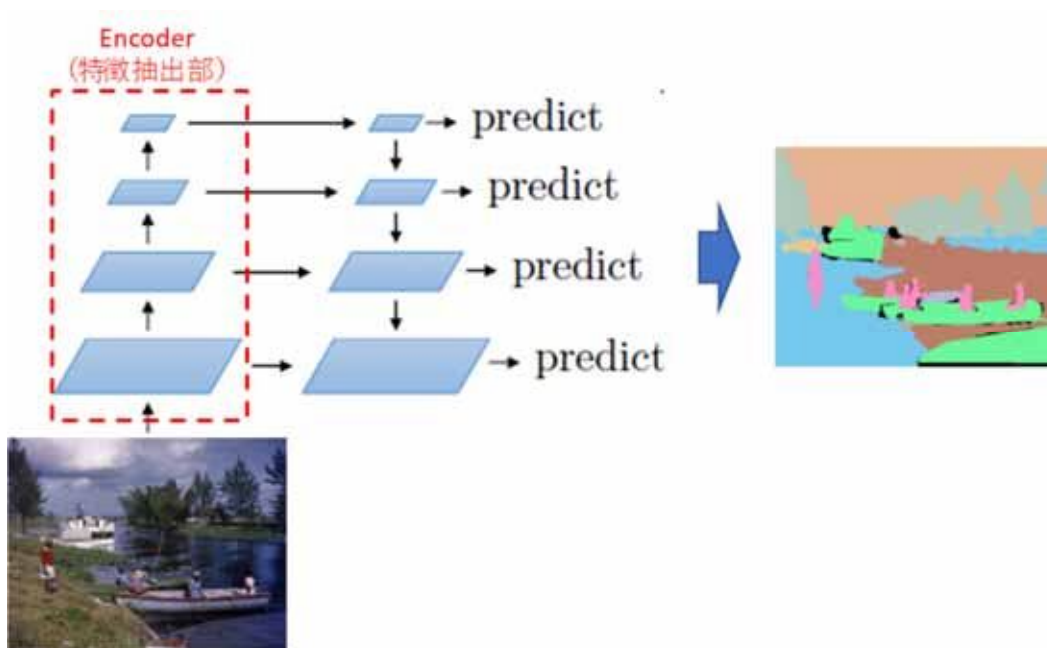


図 II-25 漂着ごみ検出結果の比較

3.1.2 Encoder の検討

3.1.1 の結果、最も IoU が高くなった FPN モデルを用いて、漂着ごみ検出モデルおよび漂着ごみ分類モデルの学習を行うこととした。FPN モデルの Encoder (画像の特徴を抽出する部分) (図 II-26) の違いが精度に与える影響について調査するために、代表的な以下の 4 つの Encoder について、それぞれ漂着ごみ検出モデルおよび漂着ごみ分類モデルの学習を行い、精度を比較した。

- VGG16_bn
- ResNet18
- ResNet50
- Mix Vision Transformer b2 (MIT_b2)



< 出典 > <http://presentations.cocodataset.org/COC017-Stuff-FAIR.pdf> を基に作成

図 II-26 FPN の概要と Encoder

漂着ごみ検出モデルの精度は表 II-32 に示すとおりである。Encoder に MIT_b2 を採用したときの mIoU と再現率が最も高くなった。

表 II-32 漂着ごみ検出モデルの精度比較

Encoder	mIoU[%]	再現率[%]	適合率[%]
VGG16_bn	17.8	36.2	40.2
ResNet18	14.2	29.5	45.5
ResNet50	16.2	28.9	56.6
MIT_b2	23.1	51.8	34.2

漂着ごみ分類モデルの精度は表 II-33 に示すとおりである。漂着ごみ検出モデルと同様に、Encoder に MIT_b2 を採用したときの mIoU と再現率が最も高くなった。

表 II-33 漂着ごみ分類モデルの精度比較

Encoder	mIoU[%]	再現率[%]	適合率[%]
VGG16_bn	5.5	9.0	28.4
ResNet18	8.3	15.3	43.1
ResNet50	9.9	21.7	35.3
MIT_b2	15.4	36.0	22.0

II-6 有識者ヒアリング

1. 目的

航空写真による漂着量推計方法及び AI による画像処理方法について、適切かつ効果的に実施できるようにすることを目的として、専門的な知見の有する学識経験者にヒアリングを行った。

2. 実施方法

有識者ヒアリングの対象は、本調査内容に関する専門的な知見を有する表 II-34 に示す 4 名とした。また、実施方法に加え、漂着量の推計結果やその解釈についても、ヒアリングを行った。

表 II-34 ヒアリングを行った有識者

No	項目	内容
1	所属／氏名	愛媛大学 沿岸環境・防災研究分野 日向 博文 教授
	選定理由	<ul style="list-style-type: none"> 愛媛県海岸漂着物対策推進協議会 会長 海洋ごみの動態に関する知見があり、漂着ごみのモニタリング/シミュレーション等に関する 研究実績を有するため 環境省の漂着ごみ対策業務の検討員であり、国の漂着ごみモニタリング等に精通しているため
	ヒアリング内容	<ul style="list-style-type: none"> 航空写真を用いた漂着量の推計方法について 漂着量推計にあたり現地調査にて取得すべきデータについて 推計時における現地回収調査結果の反映方法について 漂着量推計結果について
2	所属／氏名	愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻 片岡 智哉 准教授
	選定理由	定点カメラ、ドローン等のリモートセンシング技術を用いた着ごみモニタリングの研究実績を有するため
	ヒアリング内容	<ul style="list-style-type: none"> 航空写真を用いた漂着量の推計方法について 漂着量推計にあたり現地調査にて取得すべきデータについて AI を用いた画像処理による漂着量推計方法について 漂着量推計結果について
3	所属／氏名	鹿児島大学大学院 理工学研究科 工学専攻 海洋土木工学プログラム 加古 真一郎 准教授
	選定理由	ドローンを用いた漂着ごみのモニタリング、AI による定量化に関する研究実績を有するため
	ヒアリング内容	<ul style="list-style-type: none"> 航空写真を用いた漂着量の推計方法について 漂着量推計にあたり現地調査にて取得すべきデータについて AI を用いた画像処理による漂着量推計方法について 漂着量推計結果について

4	所属／氏名	九州大学応用力学研究所 磯辺 篤彦 教授
	選定理由	<ul style="list-style-type: none"> • 国の海岸漂着物対策専門家会議座長の実績を有する • ドローン、バルーン等のリモートセンシング技術を用いた漂着ごみの研究実績を有するため • 環境省の漂着ごみ対策業務の検討員であり、国の漂着ごみモニタリング等に精通しているため • 漂着ごみモニタリング、調査・評価手法に関して国際的な情報に精通しているため
	ヒアリング内容	<ul style="list-style-type: none"> • 漂着量推計結果について

3. 実施結果

3.1 調査計画について

調査計画については、表 II-34 に示した 4 名の有識者のうち、磯辺教授を除く 3 名の有識者にヒアリングを実施した。ヒアリングでのコメント及びその対応は、以下に示すとおりである。

3.1.1 航空写真撮影に関して

- 愛媛県内の島やアクセス困難な海岸も含む全ての海岸を対象とするため、セスナによる写真撮影とするのは妥当である。
- 撮影角度について、真上からよりも斜めに撮影した方が、実態を把握しやすいだろう。
- 地上解像度を 1 画素＝10cm を目標としていることは、今の条件（調査対象海岸線長、調査期間等）で妥当だろう。セスナからの撮影としてはかなり高解像度である。
- 1 画素では物体の判別はできないので、数画素以上のものが対象になる。ペットボトルは難しく、ブイ以上の大きさのものになるだろう。
- 写真は少しずつ重ねて撮影した方がよい。

⇒少しずつラップさせて航空写真の撮影を行った。

3.1.2 実地調査に関して

- 小さな漂着物は航空写真からの判別が難しいため、どの程度の割合が航空写真からの判定で漏れてしまうか現地調査で押さえておくが良い。その前提の推計量として議論が可能となる。

⇒航空写真からの視認が難しい大きさとして、今回は 30cm より小さいものと設定した。

30cm を境に大・小で区別して現地調査で測定し、その比率を用いて航空写真から視認できない小さい漂着ごみの量についても計上して全体の漂着量を推計した。

- 海岸での目視では植生の中も見えるが、航空写真からは植生の中は把握できない。海岸で実地調査をする際には、植生の中を分けて量を押さえておくが良い。

⇒現地調査の際に調査枠内を植生の無い範囲と植生のある範囲で区別し、それぞれで漂着

ごみの量を計測した。漂着量推計の際にその比率を用いて計上することを検討したが、今回の東・中・南予の調査枠内の全てには植生が無く地域別の結果が得られなかったこと、今回の植生は草地であり航空写真から認識できている漂着ごみも含まれること、過年度の調査結果との比較から背丈のより高い植物による航空写真で視認できない範囲の影響が大きいと考えられたことから、今回の調査範囲の植生の有無による比率を用いた計上は実施しないこととした。

- 航空写真を撮影する日とタイミングを合わせられるかが肝心で、撮影日か、撮影日より後でごみの変動してしまう前に回収できれば、教師データにも反映させることができ有益である。

⇒調査枠内を航空写真で撮影後、その日のうちに枠内の漂着ごみの回収を実施し、教師データにも反映した。

3.1.3 航空写真を用いた漂着量の推計方法に関して

- 人の目による推計について、水辺の散乱ごみ指標評価手法をベースとし、各ランクに海岸距離を乗じて評価すること、ランク分けを4ランク程度とするのは妥当である。
- 漂着量の推計作業に未経験者が居る場合は、平面の画像データから容量を推計することもあり、トレーニングが必要だろう。

⇒推計作業に当たる者で事前に推計方法の確認、推計した量と現地回収量や現地目視量との確認作業等を行った上で、推計を実施した。

- 平面写真から容量を推定するので、その点の不確実性があるだろう。漂着物が積み重なっている場合もある。

⇒漂着物が積み重なったところの推計量は不確実性が高いと考えており、今後の課題とした。

- 海岸での目視や回収調査の結果も活用して漂着量を推計することは良いことである。
- 重量と個数の推計は評価が難しい。あくまで容量が基本となる。
- 比重は、南予と中予では漂着ごみの種類も違うので異なると考えられ、地域別に算出することになっているのは妥当である。
- 県のこれまでの7地点での組成調査結果もあるので、それらも活用して比重を設定するのがよい。

⇒令和2年度及び令和3年度の愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査の比重と比較して同等の結果であることを確認し、比重を設定した。

- 面積を推定する際は、写真のひずみも影響するので、射影変換の方が良い。

⇒今回は面積の推定は実施しないため射影変換は行っていないが、今後面積を推定する際には考慮する。

- 回収調査する場所の4隅とその中も1点ほどRTK-GPSで測定しておけば、斜めから撮影した画像を真上からの画像に射影変換できるようになる。

⇒今回は面積の推定を実施しないため RTK-GPS での測量は行わず、現地に調査枠を設置した。今後面積を推定する際には考慮する。

3.1.4 AI による画像処理方法の検討方法に関して

- 教師データの画像の選択は、漂着ごみの種類と海岸基質の組合せで、バリエーションを付けられるとよい。

⇒漂着ごみの種類、基質の異なる写真を教師データ用画像とした。

- セマンテックセグメンテーションモデルでピクセル単位で検出できれば、面積まで求められるので汎用性は高いが、今回はセスナからの撮影で解像度が統一できるかという問題と、斜めからの撮影なので面積をどう解釈すればよいかの問題がある。面積の推定には射影変換が必要となる。

- 面積を基準に行う際には、撮影高度が揃わないと誤差が大きくなる。高度が揃うかと、セマンテックセグメンテーションの学習データが作成できるかがポイントである。

⇒上記 2 点について、今回は面積の推定は実施せず検出可能性の検討及び検出精度の確認を行った。今後面積を推定する際には考慮する。

- 海岸の抽出の段階では、森、住宅地、車なども教師データ作成時に塗り分けが必要となるだろう。海岸だけでセグメンテーションしてうまくいかない場合は、教師データの作成し直しになるので、工程的に厳しいだろう。手戻り無く行うには、予め海岸線を切り出した方がよいのではないか。

⇒コメントを踏まえて海岸、森、住宅地、車などのアノテーション作業は実施せず、航空写真の分割によるファイル容量低減による作業可能化、効率化を図った。

- 漂着ごみの検出は、もっと簡易的な方法でも良いのでは。YOLO のようなモデルを用いて例えば発泡フロートのオブジェクト検出をすれば、発泡フロートの個数が分かるので、それに発泡フロートの平均重量/平均容量を掛ければ、重量/容量に換算できる。面積の場合、誤差が大きくなってしまう懸念がある。

⇒YOLO のような物体検出用の教師データは個体ごとに矩形で囲む作業が必要であるが、航空写真で撮影された漂着ごみは、解像度が低く、折り重なっていて個体識別が困難なものが多く、作業が困難であった。このため、物体検出ではなくセマンティックセグメンテーションモデルを採用した。

- 物体検出は検出能力が相当高いので、結果が出やすい。また、物体検出は教師データの作成の際に対象物を四角で囲むだけなので作成しやすい。セマンティックセグメンテーションモデルは、教師データの作成のために色塗りをする必要があり、教師データを作成するのが大変である。

⇒コメントを踏まえて、個体識別が可能な小さな個体については、多角形ではなく矩形で囲むこととした。

- 物体検出モデルは、発泡フロート以外に大きな流木なども検出可能である。また、撮影高度を一定に保てる場合は、同じフロートでも大・中・小と大きさ別に学習させ、それを区

別して検出もできる。

- 個数を基準とするなら物体検出が良いし、被覆面積であればセグメンテーションのほうが良いので、それは撮影後できた画像を見てから検討してはどうか。

⇒物体検出ではなくセマンティックセグメンテーションモデルを採用した。

3.2 実施結果について

実施結果については、表 II-34 に示した4名の有識者にヒアリングを実施した。ヒアリングでのコメント及びその対応は、以下に示すとおりである。

3.2.1 漂着量の推計結果に関して

- 本調査での漂着物推計量は、過年度の立入困難地域の調査と比較して少ないが、漂着物の厚みを考慮できていない点や、藪の中（植生の下）の漂着物が写真で捉えられない点がある原因だろう。特に藪の中を考慮していない海岸のみの結果であることを考慮すると、過年度調査の半分程度となっていて当然であり、むしろ妥当な結果と言える。調査年や調査時期も異なるので、倍半分の違いはあって当然である。

- 漂着ごみの分布は流れや風により変わるので、漂着ごみが昨年にあった場所に今年はなかったとしても、県内全域の総量としては大きく変化していないかもしれない。分布の重心が年によって変化することも考えられる。やはり、総量に対しては植生の下に隠れているごみの影響が大きいだろう。

- 地域や市町別の集計では、海岸線長だけではなく人口で比較しても良いのではないかと。河川が漂着物の発生源の1つとなっているため、人口による差が確認できるかもしれない。

⇒人口当たりの市町別漂着量を検討したところ、市町別では相関が見られなかったが、河川の流域人口を含めた評価を今後検討する必要がある。

- 市町ごとの漂着量の違いとしては、発生源からの距離のほかに、海岸の形状や海水の流れの方角による溜まりやすさが影響しているだろう。なお、発生源との関係の検討として、各市町の養殖業の生産量と比較しても良いかもしれない。

⇒市町別養殖業経営体数との比較を行った。

- 伊方町で漂着量が多いのは、南の南予側から流出したごみが漂流して佐田岬に引っ掛かりやすいという地形の影響かもしれない。中予や東予で漂着量が多い地点があるのは、河口付近の影響が考えられるが確認してみてもどうか。

⇒県内の一級河川・二級河川の河口位置との関係の確認、他県も含む瀬戸内海西部の一級河川からの影響について文献の引用から検討を行った。中予の漂着量が多い地点は河川の影響が考えられた。なお、東予の漂着量が多い地点は、島の評価の色が見かけ上、四国側に重なって見えていたためであった。

- 発泡フロートや球ブイは南予が発生源と考えられるため、南予が多いという結果は妥当だろう。一方、ポリタンクは発生源が不明であり、10kmあたりの漂着量を見ても東・中・南予で大差がない。

⇒ポリタンクは東・中・南予で大差がないという見解とした。発生原因については、今後の原因究明・発生源対策として検討する必要がある。

- 海岸線 10km あたりの漂着量の評価には注意が必要である。海岸形状（フラクタル）の影響が含まれる。

⇒海岸線長当たりの評価の記載に当たり、留意事項として記載した。

- 航空写真から視認可能なサイズを 30 cm 以上とするのは、1 ピクセル 10 cm ということからは妥当だろう。一方で、航空写真から視認可能なサイズは、サイズの他に色も影響する。
- 航空写真からの視認性は日差しの状態によっても変わる。雨が降った後は地面の色が変わりごみが見えやすく、早朝や夕方などは太陽光の反射が少なく見えやすい。

⇒上記 2 点について、漂着ごみの色、海岸基質の色との相対関係や基質自体によっても航空写真からの視認可能性が異なることは今回の調査からも確認された。この点について、考察に留意点として記載した。

- 漂着量推計に用いた本調査の回収調査結果が、令和 2 年及び 3 年度の組成調査結果と自然物のサイズ比で異なっている要因としては、調査時期が夏と秋で異なることや、出水の影響が考えられる。人工物に関しては、有意な差が出ないほど一致しているとみてよい。
- 素材別の分類だけでは、発生源特定につながらない。発生抑制対策のためには発生源を特定する必要があり、そのためには航空機調査の結果と、より細かい現地での組成調査の結果を合わせて確認する必要がある。

⇒組成調査については継続して実施しており、発生源特定についてはその結果を踏まえて今後検討する必要がある。

3.2.2 AI による画像処理方法の検討結果に関して

- 個々の漂着ごみの検出は難しいが、塊となって漂着している状況ではある程度の検出可能性が認められ、塊となって漂着している場所の特定には有効となる可能性がある。
- 発泡フロートの塊を検出できなかったのは、白い岩と間違えている可能性がある。きちんと背景のアノテーション（特定のデータに対して情報タグを付加すること）を対応して学習すれば、発泡フロートと白い岩を識別して検出できるようになるのではないかと。
- 白波や海水面の反射の誤検出について、これらもアノテーションして学習すれば、漂着ごみと区別できるようになるのではないかと。
- 誤検出しやすい白波等背景をマスク（黒塗り）して学習してはどうか。
- U-Net など今回用いたモデルは小さな物体の検出に向いていない。小さな物体の検出は HRNet の方が向いている。
- 大きな漂着ごみの塊を対象にするのであれば、これらを含む教師データのみを使って学習した方がよい。

⇒上記について、検出精度の向上への今後の検討課題とした。

II-7 普及啓発動画作成

1. 目的

広く一般に愛媛県内の漂着ごみの状況を伝え、海洋ごみ問題を身近な問題として認識してもらうことにより、県民の海洋ごみ対策への行動変容を促すことを目的とする。

2. 実施方法

県民一人ひとりが身近な問題として捉えられるよう、本事業で収集した地域毎（東予、中予、南予）の海岸の漂着ごみの実態を示す動画や写真等を用いて、県内の地域毎の漂着ごみの特徴がわかる内容とする。動画の構成やストーリーは、他県の事例（表 II-35）を参考に整理する。参考とする自治体は、漂着状況が類似している方が参考になる点が多いと考えられるため、漂着状況に影響を与える海流区分が同じ瀬戸内海に面する「香川県」、豊後水道に面する「大分県」とした。

表 II-35 参考とする他県の海洋ごみ啓発動画

香川県	大分県
たかまつななと学ぶ 知らなきややばい「海ごみ問題」 2021. 3. 9～	つながる海みんなの自然 おおいたの海ごみ問題を考える 2021. 5. 27～
https://www.youtube.com/watch?v=uCZxEkb_aMU (24:45)	https://www.youtube.com/watch?v=Q9y67wy7ytM (ダイジェスト 7:04) https://www.youtube.com/watch?v=S4b483k0xlg&t=3s (本編 22:10)
再生数：14,345回 (2022. 9. 6 時点)	再生数 (本編)：1,402回 (2022. 9. 6 時点)

3. 実施結果

香川県、大分県のいずれも動画の構成や流れは概ね類似しており、表 II-36 のとおりであった。

表 II-36 参考事例の動画の構成及び流れ

順序	項目
1	海岸の現状（漂着状況）
2	主な漂着ごみの種類
3	海洋ごみの発生源
4	海洋ごみによる影響
5	わたしたちにできること
6	清掃活動の紹介

以上の構成を参考に愛媛県と協議の上、啓発用動画「愛媛の海洋ごみ問題」を作成した。

III．考察及び今後の課題

III-1 漂着ごみ量の推計

1．考察

1.1調査時期及び時間変動に関する考察

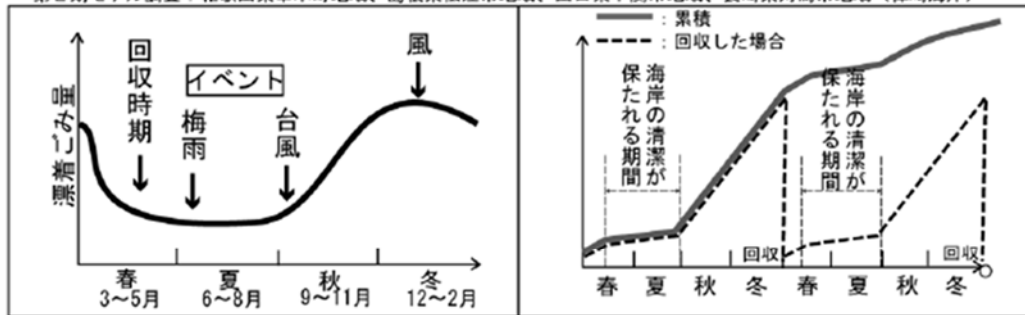
今回推計した漂着量及びその分布は、令和4年8月29～31日、9月14～15日に撮影した航空写真に基づくスナップショットのものである。漂着量及び分布は、流況や風況、降水による河川の出水等により後述するように時間変動することから、撮影時期が異なれば推計結果も異なる。そのため、今回の漂着量推計結果を活用する際、どのような気象・海象条件の下での結果であるかを踏まえる必要がある。

1.1.1 季節変動

漂着ごみの量は、年間を通して常に一定ではなく、時間的変動（年変動、季節変動や、より短周期の変動）がある。環境省が実施した「漂流・漂着ゴミに係る国内削減方策モデル調査」では、季節的な漂着量の変動に着目して、効果的な回収時期の観点から15か所の調査海岸を図III-1に示す①～④の4タイプに類型化している。具体的には、①梅雨や台風等による影響を含め、冬季の季節風と河川の影響を受けやすく冬季に漂着量が増える海岸、②冬季の季節風の影響を受けやすく冬季に漂着量が増える海岸、③夏季の季節風の影響を受けやすく夏季に漂着量が増える海岸、④内湾に位置し、年間を通して漂着量の多い海岸の4タイプがある。当該分類を行うためのデータを取得した海岸に瀬戸内海の海岸は含まれていないが、瀬戸内海の海岸においても同様の季節的な漂着量の変動があると考えられる。今回の航空写真は8月下旬～9月中旬の限られた時期に撮影されたものであることから、漂着量の推計結果はあくまで撮影時期に依存したスナップショットの推計量であることに留意が必要である。

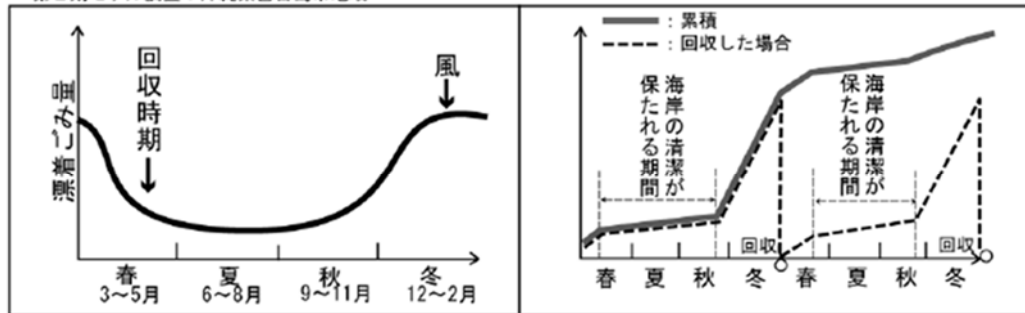
①冬季の季節風と河川の影響を受けやすい海岸

第1期モデル調査：山形県酒田市地域、石川県羽咋市地域、福井県坂井市地域
 第2期モデル調査：和歌山県串本町地域、島根県松江市地域、山口県下関市地域、長崎県対馬市地域（樟崎海岸）



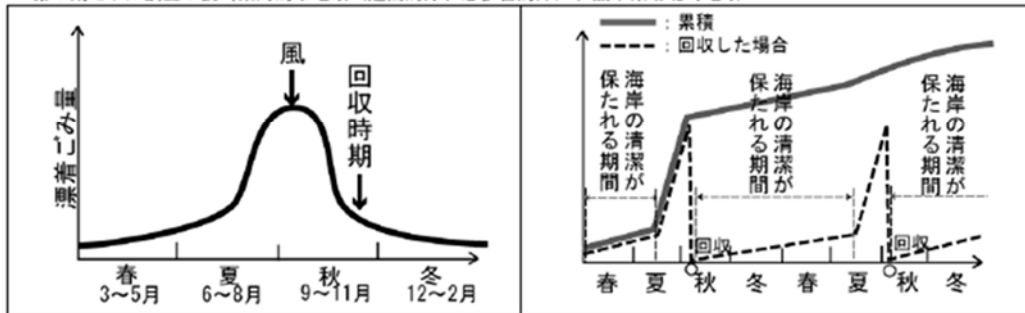
②冬季の季節風の影響を受けやすい海岸

第1期モデル調査：沖縄県石垣市地域、竹富町地域
 第2期モデル調査：沖縄県宮古島市地域



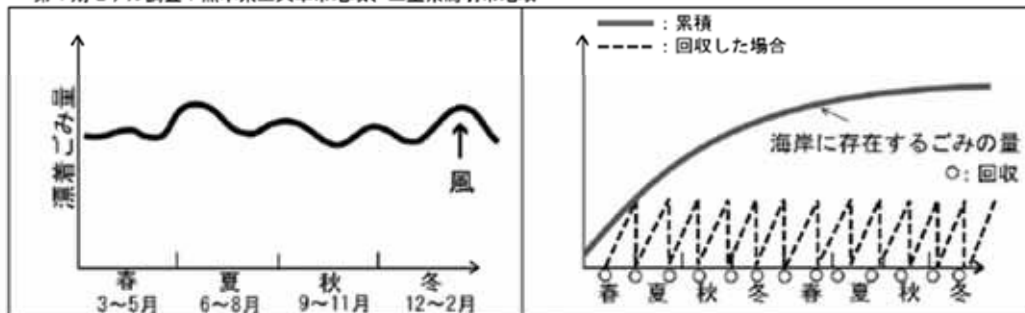
③夏季の季節風の影響を受けやすい海岸

第1期モデル調査：長崎県対馬市地域（越高海岸、志多留海岸）、熊本県苓北町地域



④内湾に面した海岸

第1期モデル調査：熊本県上天草市地域、三重県鳥羽市地域



漂着ごみ量の季節変化

漂着ごみ累積量の変化

図 4.7-1 漂着量の季節変動を考慮した効果的な回収時期

< 出典 > 環境省 (2011) 漂流・漂着ゴミに係る国内削減方策モデル調査総括検討会報告書

図 III-1 漂着量の季節変動の類型化

1.1.2 台風等による河川の出水の影響

前述した季節的な比較的周期の長い変動に加え、特に台風通過等に伴う河川からの出水等による流出量はより漂着量は短期間のうちに大きく変動する。台風のような災害を引き起こすほどの気象イベントについて、気象庁の「災害時自然現象報告書」を確認すると、令和4年は愛媛県内の記載はないが、令和3年は「梅雨前線等による令和3年5月11日から7月14日にかけての大雨等」のうち「7月7日から7月8日にかけての中国地方を中心とする大雨（中国地方、四国地方）」において、7月8日に今治市及び上島町に大雨警報が発令されている。また、「台風及び停滞前線による令和3年8月7日から8月23日にかけての暴風及び大雨等」の「8月11日から8月15日にかけての九州北部地方を中心とする大雨（関東甲信地方、東海地方、北陸地方、近畿地方、中国地方、四国地方、九州北部地方（山口県含む）」において、8月12日～15日のいずれかの日に合計15市町（新居浜市、四国中央市、久万高原町、松前町、松野町を除く）で大雨警報が発令されており、「8月16日から8月20日にかけての西日本を中心とする大雨（甲信地方、東海地方、近畿地方、中国地方、四国地方、九州北部地方（山口県含む）」において8月16日、18～20日のいずれかの日に合計11市町で大雨警報が発令されている。

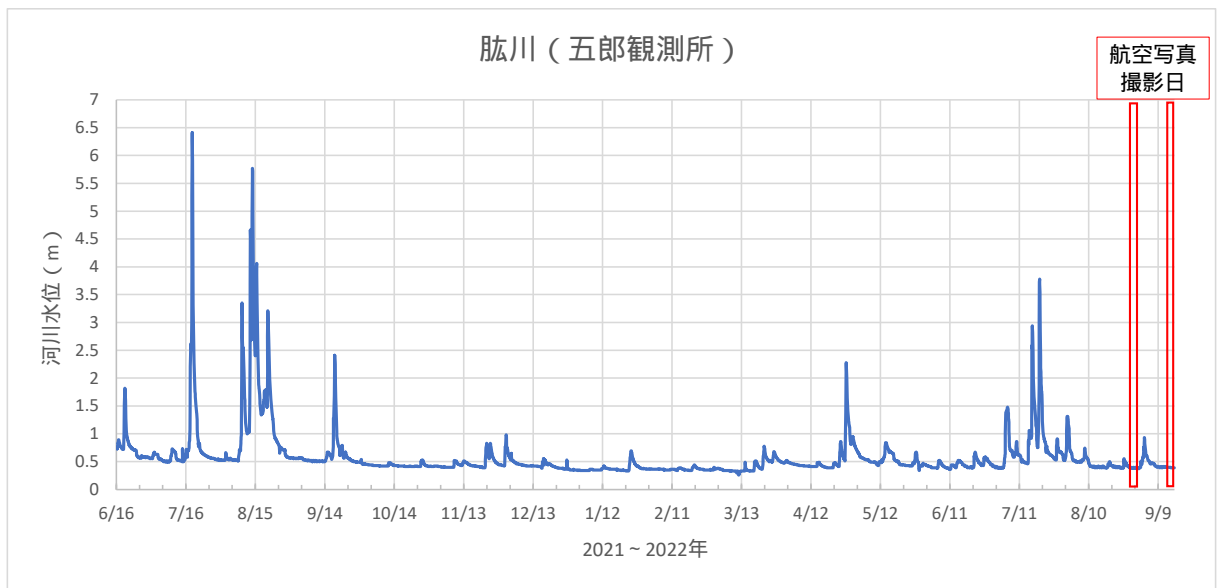
なお、航空写真撮影後の令和4年9月17～20日にかけては、台風14号の影響により、愛媛県では、台風による南からの暖かく湿った空気の影響で17日から20日にかけて山地を中心に大雨となり、久万高原町久万では、19日2時10分に24時間降水量の日最大値297.0ミリを観測し、観測史上1位を更新している。また、四国中央、久万高原町久万、鬼北町近永では、日最大瞬間風速において観測史上1位の値を更新し、記録的な暴風となっている。

これらの大雨により、愛媛県内の河川では大規模な出水があったと想定される。よって、このイベントの特徴を捉え、かつそれ以降の今回の撮影終了日前までの河川からの出水状況を把握するため、令和3年6月16日～令和4年9月15日の1年3ヶ月間の河川水位の時系列データを確認する。河川水位の時系列データは、国土交通省の「水文水質データベース」を用いて一級河川について確認することができる。

愛媛県内に河口のある一級河川は、肱川（流域面積約1,214km²）、重信川（流域面積約447km²）の2河川である。海域への出水を確認するため、河口に最も近い観測所の水位の時間変動を確認する。ただし、肱川については、河口に最も近い長浜観測所における水位は潮汐の影響が卓越しており、河川流量の増加に伴う水位上昇を確認することには適していないため、次に河口に近い五郎観測所の水位データを用いた。

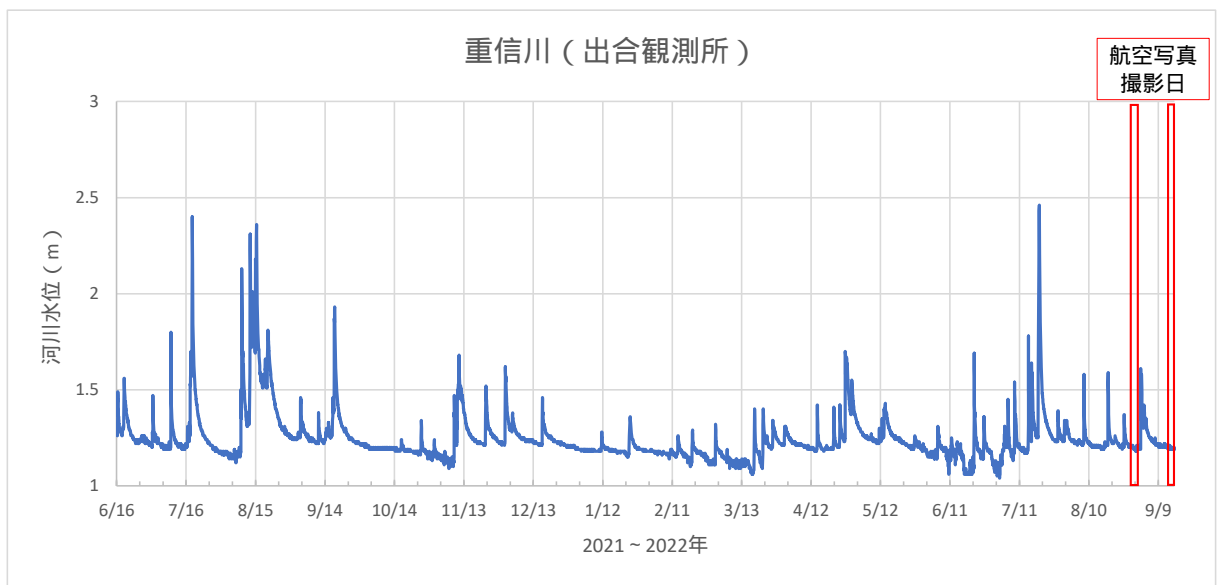
国土交通省の「水文水質データベース」を用いて、肱川の五郎観測所における航空写真撮影終了日前までの1年3ヶ月間（令和3年6月16日～令和4年9月15日）の水位の時系列を図III-2に示す。最も水位が上昇したのは、上述した気象庁の「災害時自然現象報告書」に記載のある令和3年7～8月にかけての出水であった。その後は、航空写真撮影終了日までにそれを超える水位は観測されていない。

重信川の最も河口に近い水位観測所である出合観測所における航空写真撮影終了日前までの1年3ヶ月間（令和3年6月16日～令和4年9月15日）の水位の時系列を図III-3に示す。肱川と同じく令和3年7月～8月にかけて顕著な水位上昇が見られる。加えて、令和4年7月19日にも同規模の水位上昇が見られる。



< 出典 > 国土交通省「水文水質データベース」を基に作成

図 III-2 撮影日前1年3ヶ月間の河川水位変動（肱川 五郎観測所）



< 出典 > 国土交通省「水文水質データベース」を基に作成

図 III-3 撮影日前1年3ヶ月間の河川水位変動（重信川 出合観測所）

航空写真撮影終了日前の3ヶ月（令和4年6月16日～令和4年9月15日）について縦軸スケールを拡大した水位の時系列図について、肱川を図 III-4 に、重信川を図 III-5 に示す。

肱川では、撮影日から約1ヶ月半前の令和4年7月16日、19日に水位が上昇していた。他にも水位上昇が見られるが、上記2回の水位上昇に比較して小規模であった。また、7月19日の水位上昇以降も航空写真撮影開始前までに比較的大きな水位上昇が1回あり、撮影1回目と2回目の間にも、更に1回の水位上昇が見られた。

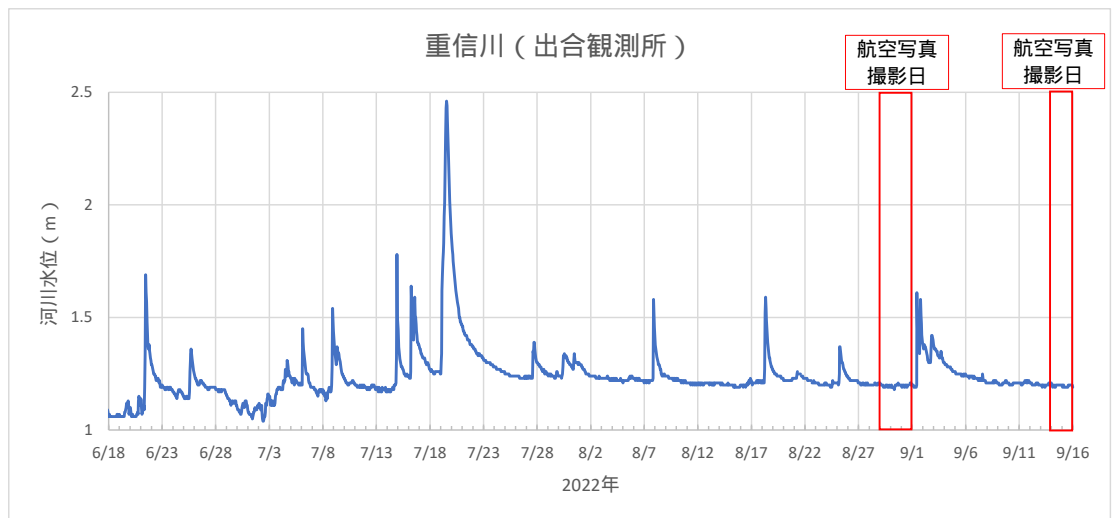
重信川では、上述した令和4年7月19日の水位上昇は令和3年7～8月の水位上昇と同規模（若干上回る）ものであり、それ以降も航空写真撮影までに比較的大きな水位上昇が2回あり、撮影1回目と2回目の間にも、更に1回の水位上昇が見られた。

これらの水位上昇の状況から、今回の航空写真撮影時の直近の流出量は、令和3年7～8月頃程ではないものの規模が大きいものであり、特に肱川及び重信川河口から近い範囲では、他の時期に比較して漂着量が多い時期であった可能性がある。



< 出典 > 国土交通省「水文水質データベース」を基に作成

図 III-4 撮影日の河川水位（肱川五郎観測所）



< 出典 > 国土交通省「水文水質データベース」を基に作成

図 III-5 撮影日の河川水位（重信川出合観測所）

1.1.3 経年変動

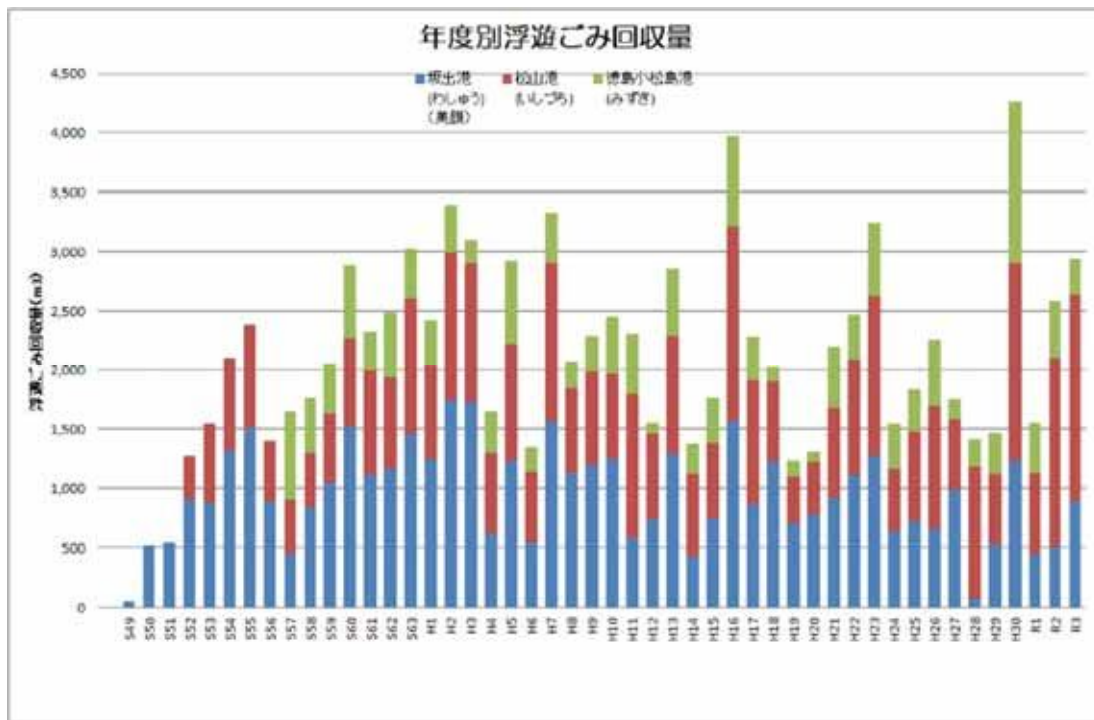
漂着物の量には、上述したような季節的な変動や、出水のようなイベント的なより短周期の変動があるが、さらにより長期の経年的な変動もある。今回の調査年（令和4年）がどのような年であるかについて、今回の漂着量の推計結果を活用する際に踏まえる必要がある。

参考情報として、国土交通省が図 III-6 に示すような海面清掃兼油回収船を運航しており、瀬戸内海における浮遊ごみの回収量が公表されている。現在、国土交通省四国地方整備局港湾空港部 HP において昭和49年度～令和3年度までの回収量が図 III-7 に示すとおり公表されている。この図から分かるように年度によって回収量には変動があり、平成30年7月豪雨があった平成30年度の浮遊ごみ回収量が過去最も多くなっている。このうち、愛媛県の海岸が面している海域を清掃している「いしづち」の回収量に限ってみると、図 III-8 に示すようになっており、令和2年度及び令和3年度も平成30年度と同規模の量を回収している。現在のところ令和4年度のデータはまだ年度途中のため公表されていないが、このようなデータを参考にして、今回の漂着量推計結果を活用していくことが望ましい。



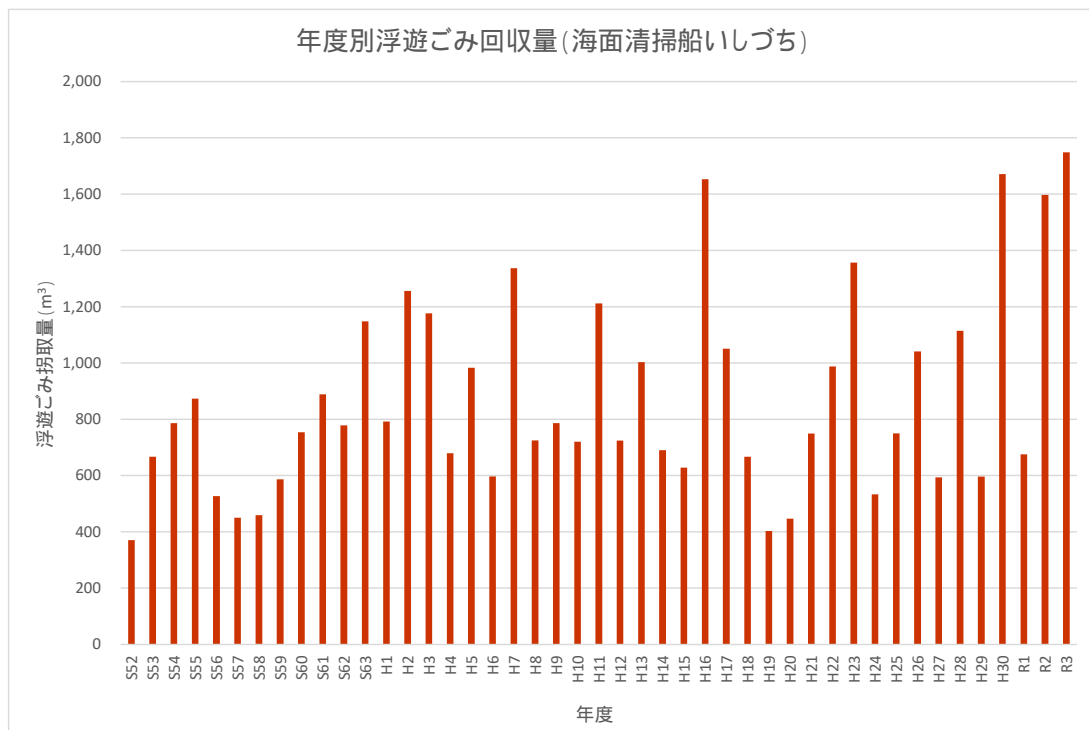
< 出典 > 国土交通省四国地方整備局港湾空港部「海洋環境整備」のHP

図 III-6 瀬戸内海における国土交通省の海面清掃兼油回収船及び担務海域



< 出典 > 国土交通省四国地方整備局港湾空港部「海洋環境整備」のHP

図 111-7 瀬戸内海における浮遊ごみ回収量の経年変化)



< 出典 > 国土交通省四国地方整備局港湾空港部「海洋環境整備」のHP：浮遊ごみ回収実績を基に作成

図 111-8 浮遊ごみ回収量 (海面清掃船いしづち) の経年変化

1.2 漂着量の推計精度に関する考察

1.2.1 航空写真からの判別限界の影響

航空写真からの判別限界に係る原因の一つとして、撮影条件による地上解像度が考えられる。今回は航空写真の撮影を1画素が10 cm角となることを目標に高度約300mでの飛行を目指したが、気象状況や安全性の観点から高度400mを超えた地点での撮影となることもあり、目標とした地上解像度が得られていない画像も含まれていたと考えられる。

航空写真の視認性については地上解像度の他にも、センサーの焦点のずれや航空機の振動によるぶれにより影響を受ける他、天候条件や撮影時間にも影響される。本調査では晴天時と曇天時の撮影が混在しており、晴天時には海岸基質や漂着物における日差しの反射が強い一方で、木陰が暗くなりごみの視認性は下がっていた（図 III-9）。撮影する時間によっても、日差しや影の状況は異なるため、調査目的に合わせ適切な調査時間を選択する必要がある。

上記のような撮影条件による理由から、航空写真からのごみの視認性については、ごみの大きさに大きく左右されることが考えられる。本調査では、ヒアリング結果をもとに大きさ30 cmを基準とし、基準値以上の大きさは視認可能であると推測した。しかし、撮影条件の他にも、ごみの色によっても視認性が異なる可能性がある。例えば図 III-10 に示す回収調査地③には大きさが30 cm以上である2Lペットボトルが複数確認されたが、ペットボトルは透明であるため航空写真からは判別できなかった。一方で、海岸基質と明瞭に色が異なる黒色の球ブイは、ちょうど直径30 cm程度だが視認が可能である。また、30 cm未満の漂着物であっても、海岸基質と明瞭に異なる色の物体は海岸基質と識別することができた。

また、今回の推計では漂着ごみのかさ容量について、0から4までの5段階で評価した。これは、上記のように視認性に限界のある航空写真からより適切に漂着量を述べるための試みであり、有識者への事前ヒアリングでも手法の妥当性が認められている。しかし、ランクの1つの段階における最小値と最大値の幅は大きく、その結果、愛媛県全域の漂着量の最大値と最小値では約8.5倍程度の差が見られた。このことから、航空機調査により海岸間で漂着ごみの相対的な多さを比較することは可能であり、ホットスポット等の検出には有効だが、ごみの絶対量の把握には課題が残ることが分かった。



図 III-9 木陰の影響を受けた海岸



図 III-10 回収調査地 における漂着ごみの様子（上図：現地写真、下図：航空写真）

1.2.2 堆積厚さの影響

図 III-11 に示すように、複数の海岸において漂着ごみ同士が重なり合い堆積している様子が見られた。今回の手法では、各地点について航空機により真上又は斜めから撮影した画像各1枚しか取得していないため2次元的なデータしかなく、ごみが3次元的に堆積している箇所については過小評価となっている可能性がある。

区域	四国側の海岸	
中予		 <p data-bbox="730 1227 975 1263">(伊予市 森海岸)</p>
南予		 <p data-bbox="708 1877 997 1912">(愛南町網代の海岸)</p>

図 III-11 漂着ごみが堆積している状況（中予・南予）

1.2.3 植生による影響

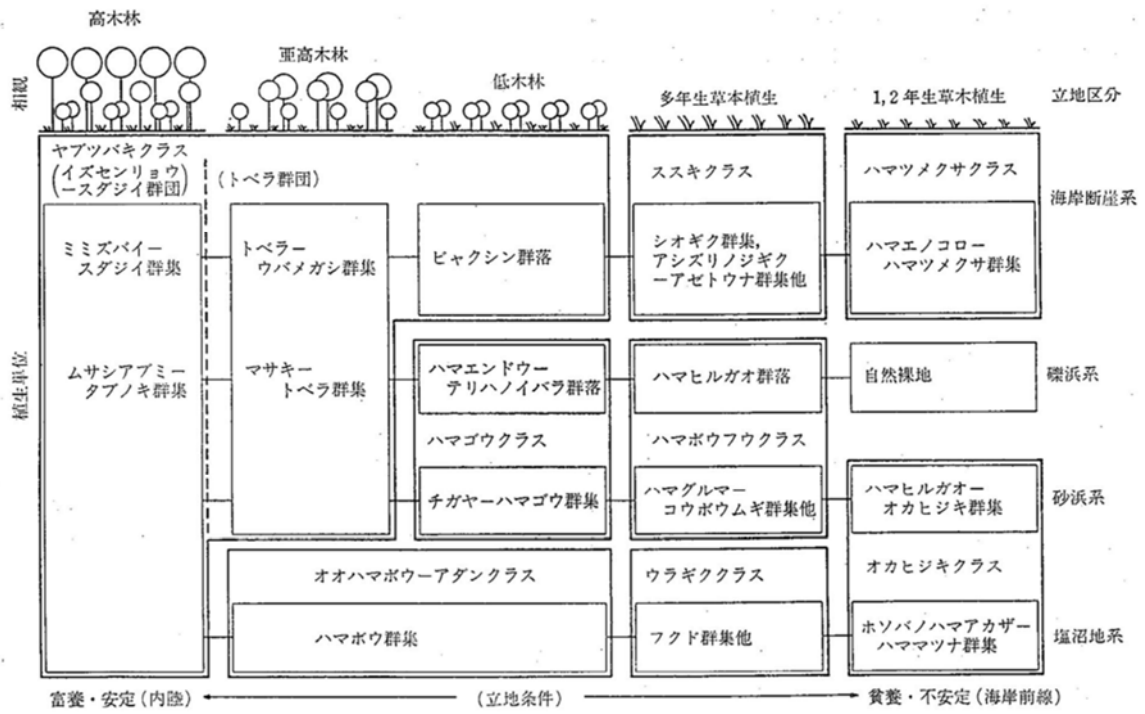
令和3年度の立入困難地域における漂着ごみ現状把握調査の結果と比較して今回の推計による漂着物量が小さくなったのは、植生による影響が大きいと考えられる。航空機は上空からの撮影を行うため、図 III-12 のように植生内に入り込んだ漂着ごみは視認することができない。

四国の海岸植生の構造は図 III-13 のようになっており、海岸線に近いほど背丈の低い植生である。海岸線に最も近い1・2年生草本群落は植生高が低く、植生の上にごみが堆積する場合もあるため、航空機からの視認もある程度可能であったと考えられる。また今回は8～9月に撮影を行ったが、1年生草は1年間で発芽から枯死までのサイクルを繰り返すため、枯死から次の発芽までの間に撮影を行うことで海岸の視認性が増すと考えられる。例えばオカヒジキ (*Salsola komarovii* Iljin) はヒユ科オカヒジキ属の1年生草だが、3月頃に発芽・出芽し、6月から10月に開花した後、10月下旬ごろに種子散布を終えると全体が枯れる¹⁾。また、多年草でも冬季は地上部を枯らす種もあり、例えばコウボウムギ (*Carex kobomugi* Ohwi) は4月から6月にかけて開花・種子散布を行い、12月下旬ごろに地上部を枯らす¹⁾。そのため、冬季の撮影により植生の影響を低減させられる可能性がある。一方で、年間を通して地上部を残す多年生植物もあり、例えばダンチク (*Arundo donax* L.) は高さが最大約2.4m程度になるイネ科の多年草であり、海岸近くに生育するが、年間を通して地上部を残す。このような、背丈が高く、季節により地上部を枯らすことのない植生の下に存在する漂着ごみは、航空機による視認が困難である。

¹⁾ 黒田有寿茂(2021)山陰海岸東部における海岸植物28種のフェノロジー観察記録, 人と自然, 31, p.73-92.

区域	植生内の漂着物の写真
東予	 <p data-bbox="384 1182 1321 1218">(新居浜市 黒島海浜公園内の海岸(回収調査地点とは異なる地点))</p>
南予	 <p data-bbox="727 1832 978 1868">(愛南町船越海岸)</p>

図 III-12 植生に入り込んだ漂着物の例

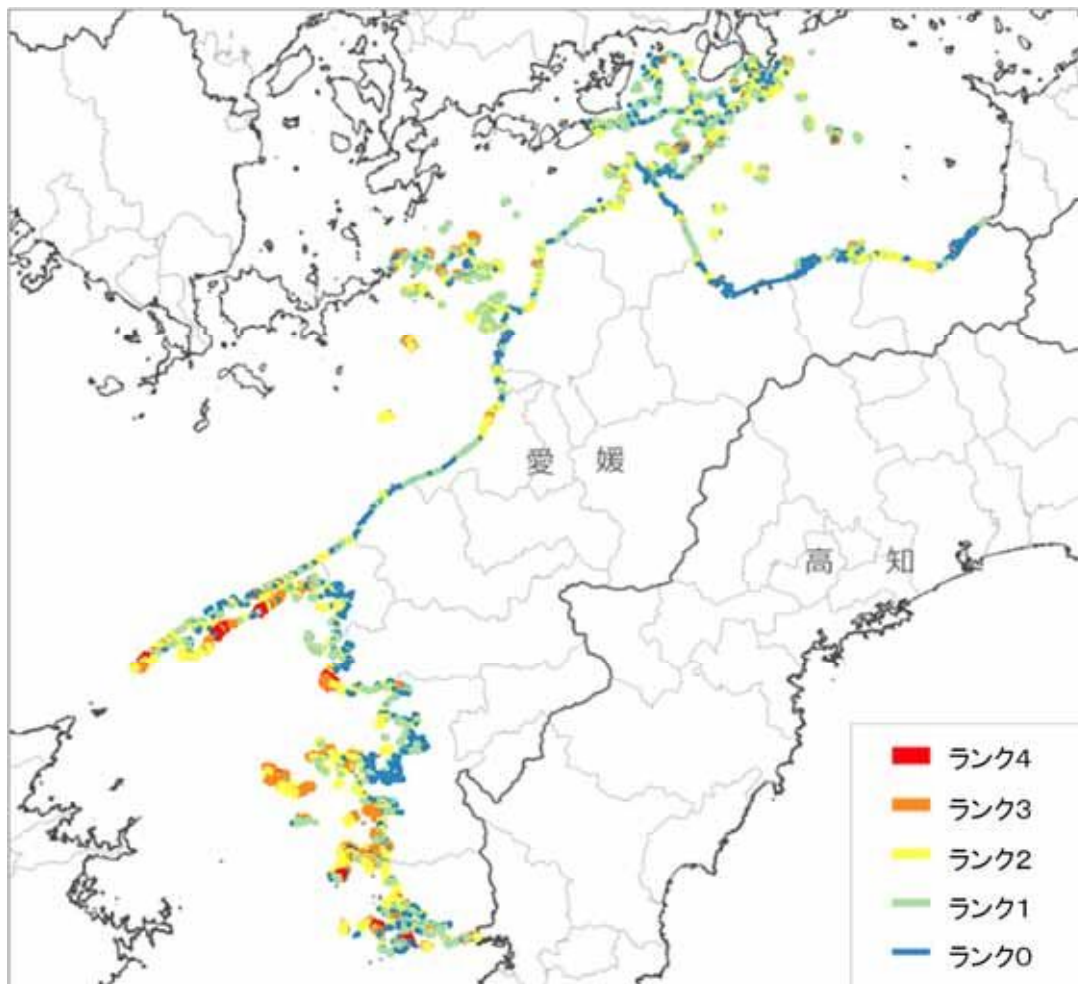


< 出典 > 鈴木邦雄(1994)日本の海岸植生・塩生植生, 日本海水学会誌, 48, p. 360-366.

図 III-13 四国における立地区分に応じた海岸植生配分

1.3 漂着量の分布に関する考察

漂着量の分布について考察するため、推計した漂着量分布図を図 III-14 に再掲する。



< 出典 > 国土地理院 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) に加筆

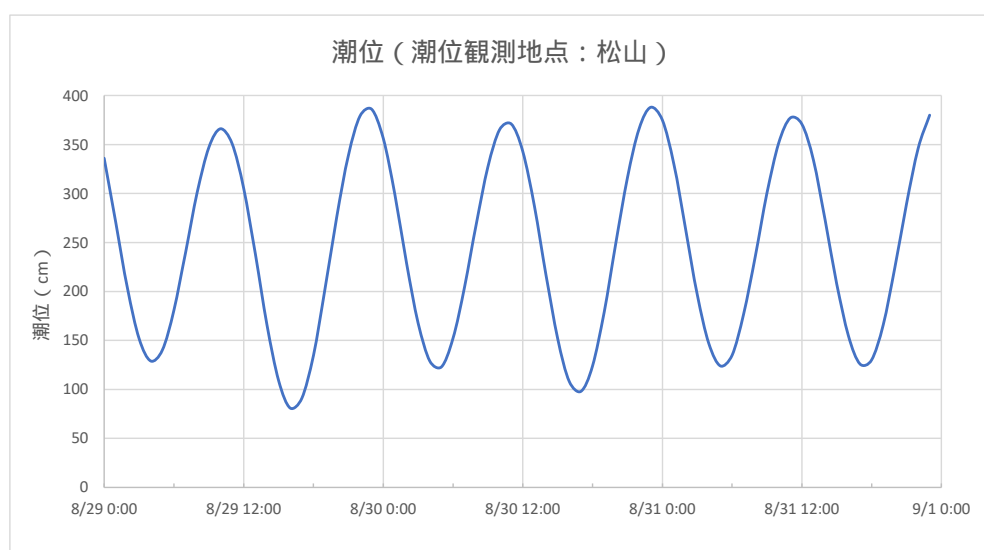
図 III-14 漂着量分布図 (再掲)

1.3.1 流況による分布への影響

漂着ごみの分布は、海域の流れの影響を受けた結果となっている。海域や陸域から発生したごみが漂流し海岸に漂着するまでの漂流経路は、潮流の往復残差成分である潮汐残差流、河川水等の淡水の影響による密度流、風に起因する吹送流の3つの要因からなる残差流と、風が漂流ごみに直接作用する風圧流によって決定される。残差流の3つの要因や風圧流のどの効果が支配的となるかは、淡水の流入状況や風の状況によって異なり、更に風圧流はごみの大きさや形によっても異なる。河川からの出水時には密度流の効果が大きくなり、冬季の季節風が吹く時期には吹送流や風圧流の効果が大きくなるが、平常時の瀬戸内海においては潮汐残差流や更に数時間程度の漂流には潮流の影響が大きいと考えられる。

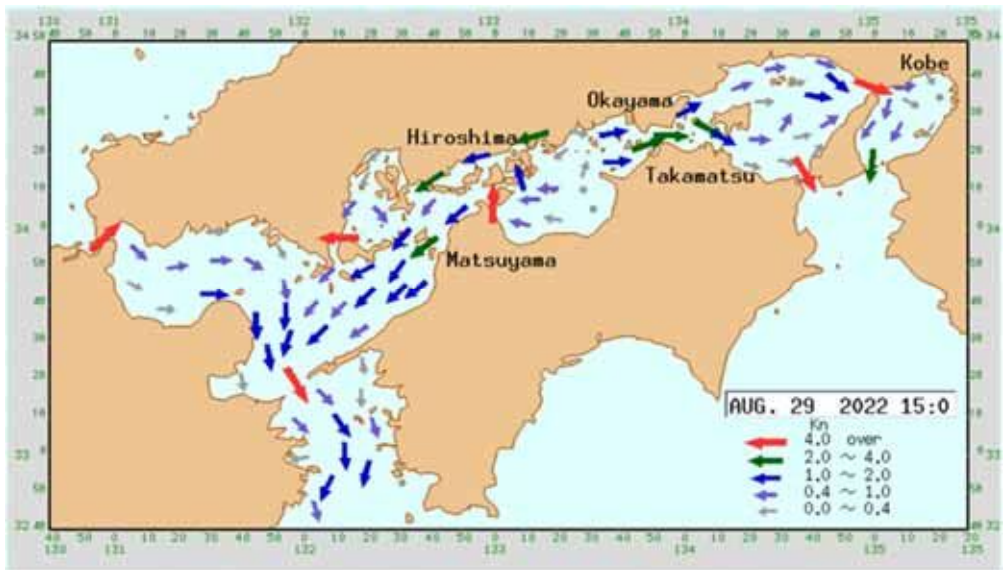
潮流は潮汐に起因する往復流であり、瀬戸内海においてはほぼ1日に2回流向が逆転する。航空写真撮影及び回収調査を行った令和4年8月29日～31日の潮位の変化は図 III-15 に示

すとおりである。この潮位の変化から、29日には15時頃に下げ潮流最強、23時頃に上げ潮流最強となっている。その時刻の潮流分布図をそれぞれ、図 III-16 及び図 III-17 に示す。下げ潮時には東予、中予、南予において瀬戸内海から豊後水道方を通して太平洋へ流れ出る流況となっている。一方上げ潮時には、太平洋から豊後水道を通して瀬戸内海中央部へと流れる流況となっている。これらは大まかな流況であり、より細部で見れば地形の影響を受けて環流になるなど、場所によって詳細な流況は異なる点に留意が必要である。しかしながら、大まかな流況からは、豊後水道では上げ潮時に南にあった漂流ごみは北側へと運ばれ、佐田岬などの地形的にトラップされる構造となっている場所に漂着すると考えられる。下げ潮時には南向きの流れとなるが、佐田岬南側は地形の影響により南へと運ばれる効果は相対的に小さいと考えられる。この効果が、佐田岬南側の分布量が多くなる一因と考えられる。



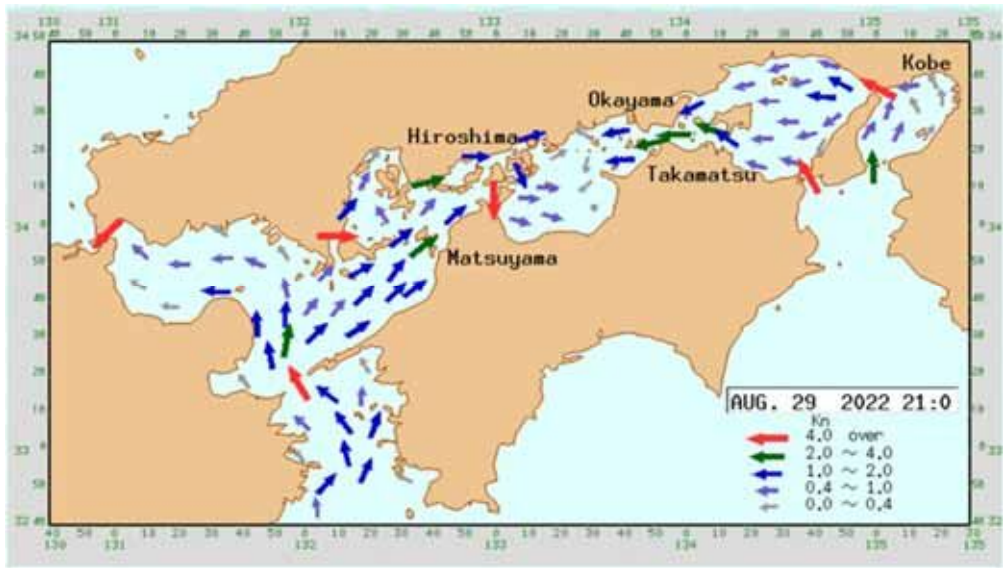
< 出典 > 気象庁 HP 「潮位表 松山」のデータを基に作成

図 III-15 潮位の変化



< 出典 > 海上保安庁 HP 海流推算数值情報：瀬戸内海

図 III-16 下げ潮時の潮流分布（令和4年8月29日15時）



< 出典 > 海上保安庁 HP 海流推算数值情報：瀬戸内海

図 III-17 上げ潮時の潮流分布（令和4年8月29日21時）

1.3.2 海岸地形との関係

図 III-18 に愛媛県の海岸線を示す。燧灘から安芸灘、伊予灘にかけての海岸は比較的滑らかな海岸線であるのに対し、豊後水道の海岸は複雑に入り組んだリアス海岸となっていることが分かる。このリアス海岸の形状に起因する漂着ごみの集積効果があることから、豊後水道に面した南予地域において東予や中予地域に比較して漂着量が多くなっていたと考えられる。

また、豊後水道の愛媛県側の海岸線は西向きであることから、冬季には北東の季節風の影響により、入り組んだリアス海岸の奥側へ漂流ごみが運ばれやすくなっていると考えられる。この南予地域の海岸線の向きも、複雑な地形と相まって、漂着量を多くする要因になっていると考えられる。

更に、佐田岬の長く突き出た岬の形状も、上述した潮流の影響もあり、漂着ごみを南予地域に集積している要因と考えられる。



< 出典 > 愛媛県 HP の図を一部改変

図 III-18 愛媛県の海岸線

1.3.3 養殖業との関係

発泡フロート、球ブイ、ポリタンクの漁業系ごみ3品目は、南予での漂着量が他地域に比べ70%～99%程度多かった原因については、愛媛県で行われている養殖業との関係が考えられる。

図 III-19 には、愛媛県における漁業権の設定状況を示す。東予ではのりやわかめの養殖、中予ではわかめやひじきの養殖のために設定された漁業権が数か所で見られた。一方南予では、鯛やはまち等の魚類の養殖場や、真珠の養殖場が複数個所で設定されているが、東予や中予よりも高密度で漁場が存在することが分かる。特に南予の割合が多かった発泡フロートや球ブイは、このような養殖場からの流出が発生源の1つになっていると考えられる。



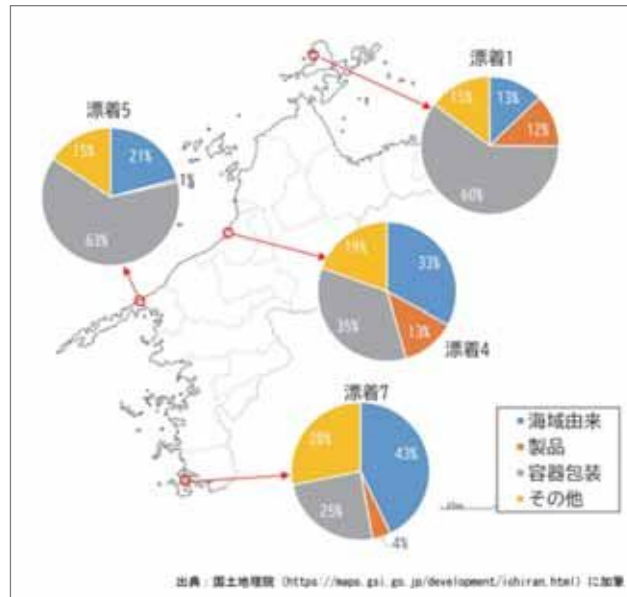
< 出典 > 海上保安庁 海洋状況表示システム <https://www.msil.go.jp/>

図 III-19 区画漁業権及び定置漁業権の分布

次に、市町別養殖経営体数と漂着量の関係を図 III-20 に示す。本グラフは、平成 30 年漁業センサス報告書 第 3 巻 海面漁業に関する統計(市区町村編)の「営んだ漁業種類別経営体数」から養殖業の経営体数を用いて作成した。漂着量が多い宇和島市や愛南町は、養殖経営体数が多く、漂着物の種類からも、要因として養殖業から流出している可能性がある。ただし、これら地域の海岸は複雑に入り組んだリアス海岸であることから、その海岸形状に起因する漂着ごみの集積効果があり、地形的特徴により漂着量が多くなる地域であることに留意が必要である。一方、漂着量が多い伊方町、松山市、今治市は、養殖経営体数は多くなく、これら海岸の漂着物は別の発生要因が考えられる。

伊方町は、宇和島市や愛南町と同じく豊後水道にも面していることから、海流や潮流により漂流してきたものが漂着している可能性がある。また、伊方町もリアス海岸を有しており、この地形的特徴により漂着量が多くなる地域でもある。

松山市及び今治市は、伊予灘、安芸灘、燧灘に面しており、海岸形状の複雑さはない一方、人口の多い地域であることから、生活系ごみが漂着量を多くしていることが考えられる。令和



< 出典 > 愛媛県「令和3年度愛媛県海洋プラスチックごみ実態把握調査」

図 III-21 令和3年度における漂着ごみの容量別プラ分類の割合

1.3.4 河川との関係

愛媛県が管理する河川の特徴は、「えひめの河川 令和3年度版」によると以下のようなものである。

「愛媛県が管理する河川は、令和3年4月30日現在で一級河川が745河川で総延長約1,825km、二級河川が412河川で総延長約1,248km、合計1,157河川で総延長3,072km（全国6位）である。河川の規模を表す指標の一つである流域面積は全国に比べて小さく、愛媛県は比較的規模が小さい河川を数多く管理している状況である。河川の流路は短く急流であり、豪雨の際には流量が急増する。」

上記の一級河川には、肱川水系、仁淀川水系、重信川水系、渡川水系、吉野川水系が含まれ、愛媛県外に河口が位置する水系も含まれる。

愛媛県内の一級・二級河川の河口の位置を図 III-22 に示す。一級河川は、1.1.2 節で触れたように愛媛県内では肱川と重信川の2河川があり、図 III-22 に示すようにともに伊予灘に注いでいる。漂着ごみ分布図と比較すると、伊予灘に面した伊予市の海岸で周囲よりも漂着が多くなっている地点がある。この地点は肱川と重信川に挟まれた場所に位置する。上述したように瀬戸内海においては往復流である潮流が卓越しており、潮流の分潮のうち特に半日周潮流が卓越していることから、1日に2回流向がほぼ逆転する。肱川及び重信川に挟まれた地点では、どちらの流向のときであっても、肱川或いは重信川からの影響を常に受ける可能性がある。

瀬戸内海の一級河川から流出したと仮定したごみの分布をシミュレーションにより検討した研究事例²⁾によると、西部瀬戸内海の8つの一級河川の河口から漂流した粒子の30日間の分布図は、図 III-23 に示すとおりであった。流況の計算条件として、半日周潮流、冬季の密度分布及び河川流入による密度流が考慮されている。風による吹送流や風圧流は考慮されていない。周防灘では河口から沖合に広がった塊状の分布を形成しているのに対し、瀬戸や海峡のある安芸灘、伊予灘、豊後水道では、流れの速い海峡部を挟んで広範囲に広がった粒子の分布

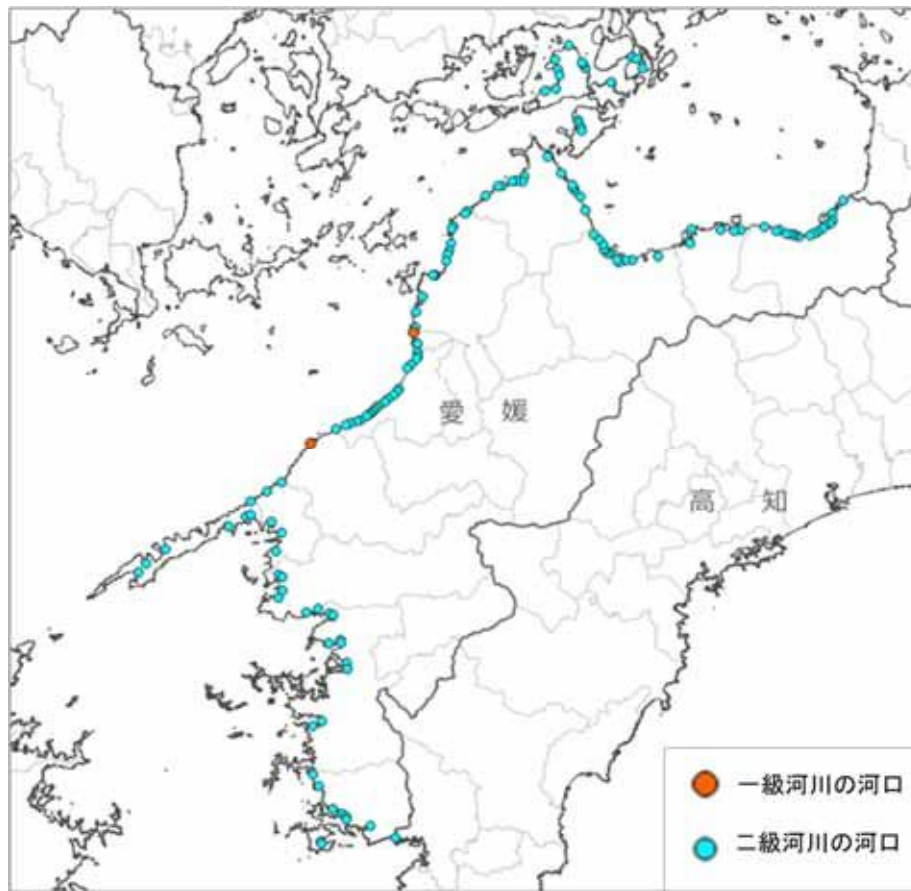
²⁾ 橋本英資・谷本照己・星加章・高杉由夫(2008) 瀬戸内海における漂流予測モデルによる海洋ごみ分布域の推定, 海岸工学論文集, 55, p. 401-405.

が見られている。また、伊予灘では海岸に沿って粒子が分布しており、上述した潮流の流向とも整合した分布となっているが、肱川からの河川水の密度流の理論的分布とも整合する。漂流ごみの量の分布は図 III-24 に示すとおりである。伊予灘では肱川と重信川に挟まれた場所で多くなっている。この位置は、図 III-14 に再掲した本業務で推計した漂着量分布の伊予灘で多くなっている位置とほぼ一致している。図 III-25 に各河川の影響度の分布を示す。先ほどの位置は、肱川の影響が最も大きくなっていた。以上のことから、本業務で推計した漂着量分布の伊予灘における漂着量の多い地点は、河川の影響によるものと推察される。

二級河川については、図 III-22 に示したように河口の位置は愛媛県全域にかけてほぼ均一に分布している。わずかながら、南予に比較して中予及び東予で分布密度が高くなっているようである。上述した「えひめの河川」から愛媛県の降水量の分布を見ると、図 III-26 に示すようになっており、沿岸付近では中予及び東予に比較して南予で降水量が多くなっているが、どの区域においても内陸側で降水量が多い傾向を示し、沿岸付近では分布の偏りは大きくない。このことから、二級河川を通じて陸域から流出したごみの影響は、愛媛県の全域で大きな違いはないものと推察される。

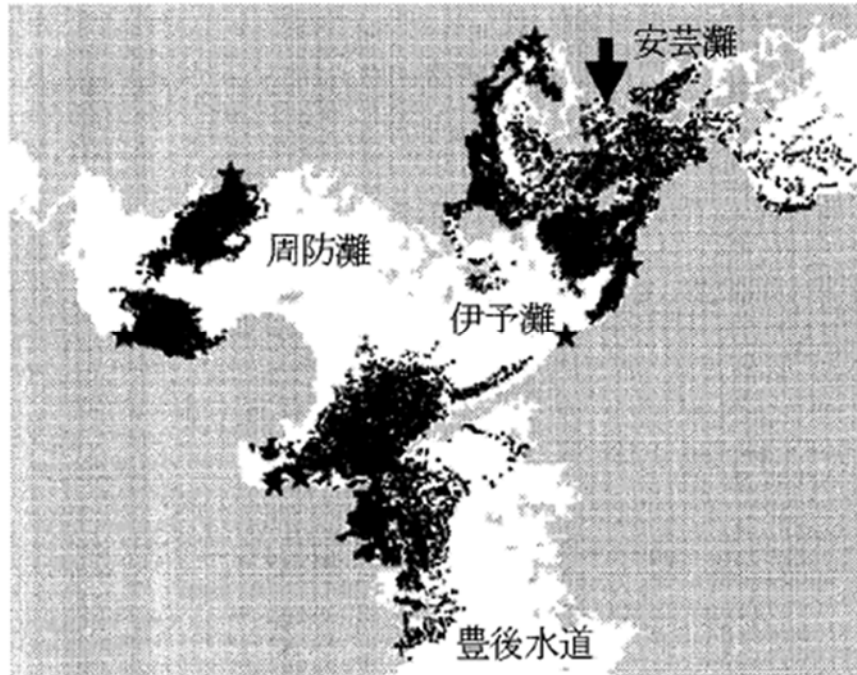
一級河川と二級河川の陸域からのごみ流出量の寄与度について、流量のみから推計することはできないが、参考までに、瀬戸内海の流動シミュレーションの再現性への中小河川からの淡水流入量を検討した論文³⁾ から各海域ごとの寄与率を見ると表 III-2 のようになっている。南予が該当する豊後水道では一級水系の割合が38%、主に中予が該当する伊予灘では同83%、主に東予が該当する燧灘では0%となっている。各海岸の漂着ごみは各海域に面する海岸の陸域から流出したもののみではないが、各海域での効果的な対策の検討の際に参考となる可能性がある。なお、豊後水道において愛媛県の一級水系の河口がないにも関わらず38%を一級水系が占めるのは、九州側に一級水系の河口があるためである。

³⁾ 東 博紀・佐藤 嘉展・吉成 浩志・牧 秀明・越川 海・金谷 弦・内山 雄介(2018)瀬戸内海における中小河川からの淡水流入量と流動シミュレーションの再現性への影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 74, p. I_1135-1140.



< 出典 > 国土地理院 (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) に「愛媛県河川海岸図(平成10年版)」の情報を追記して作成

図 III-22 愛媛県内の一級・二級河川の河口



注) 粒子を1日間隔で表示した30日間の分布

< 出典 > 橋本他 (2008) ²⁾より抜粋

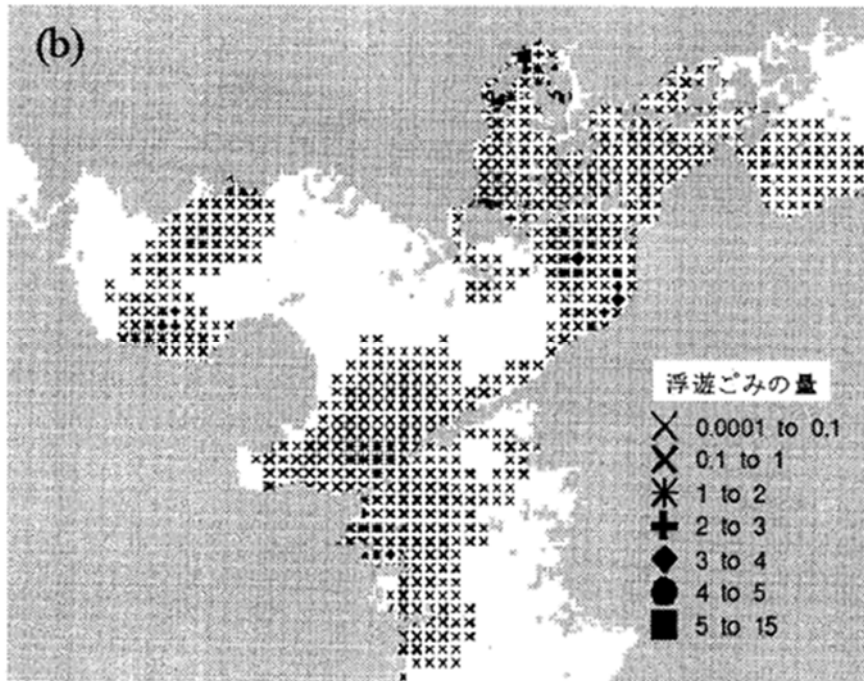
図 III-23 一級水系8河川の河口から漂流した粒子の分布

表 III-1 上記シミュレーションにおける河川流量の設定

表-1 年平均河川流量 (m³/s)

東部瀬戸内海			西部瀬戸内海		
番号	河川名	年平均流量	番号	河川名	年平均流量
1	淀川	267.51	6	太田川	78.81
2	大和川	23.94	7	小瀬川	12.05
3	加古川	45.89	8	佐波川	18.69
4	揖保川	25.87	9	重信川	9.96
5	旭川・吉井川	118.25	10	肱川	37.61
			11	山国川	20.81
			12	大分川	27.43
			13	大野川	61.08

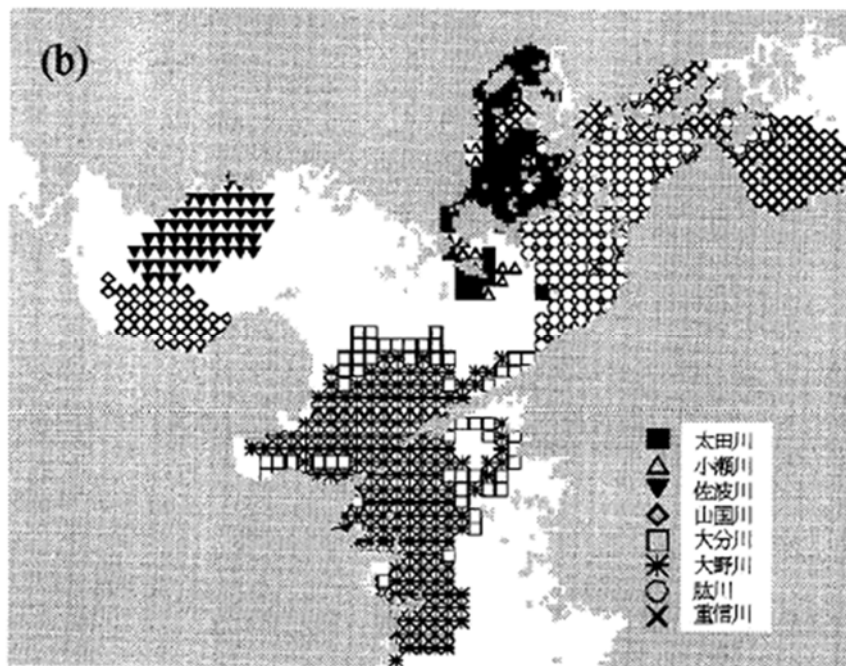
< 出典 > 橋本他 (2008) ²⁾より抜粋



注) 河川流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ を浮遊ごみ量 1 と換算

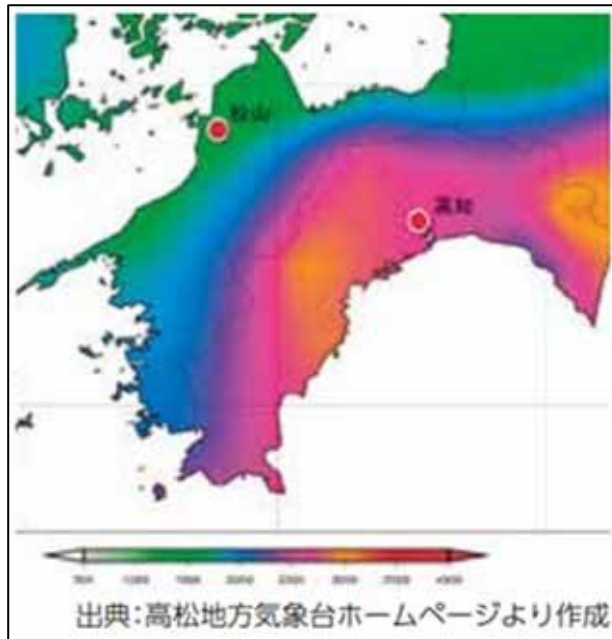
< 出典 > 橋本他 (2008) ²⁾ より抜粋

図 III-24 漂流ごみの量の分布



< 出典 > 橋本他 (2008) ²⁾ より抜粋

図 III-25 各河川の影響度の分布



< 出典 > 「えひめの河川 令和3年度版」より抜粋

図 III-26 降水量の分布

表 III-2 海域ごとの年間河川流量

表-4 海域ごとに集計した年間河川流量(陸域降水流出モデルの計算値)と海域流動シミュレーションのスコア

		豊後水道		伊予灘		高松灘		広島湾		安芸灘		宍粟		備後灘		備讃瀬戸		播磨灘		大瀬湾		紀伊水道		全海域		
		一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	一級水系	全水系	
陸域	流域面積 (km ²)	0.5	1.5	3.8	5.0	1.0	5.2	2.1	3.8	0.0	0.6	0.0	2.3	0.0	0.5	3.8	4.9	6.6	10.4	9.4	11.0	6.4	7.5	33.5	52.9	
	(%) [*]	(31)	(3)	(77)	(9)	(19)	(10)	(54)	(7)	(0)	(1)	(0)	(4)	(0)	(1)	(76)	(9)	(63)	(20)	(85)	(21)	(84)	(14)	(63)	(100)	
年間	河川流量 (km ³ /yr)	0.6	1.7	4.4	5.3	1.1	5.4	2.3	4.2	0.0	0.4	0.0	2.0	0.0	0.3	2.4	3.0	5.4	8.1	9.8	11.2	9.8	11.4	35.9	53.0	
	(%) [*]	(38)	(3)	(83)	(10)	(20)	(10)	(55)	(8)	(0)	(1)	(0)	(4)	(0)	(1)	(80)	(6)	(67)	(15)	(88)	(21)	(86)	(21)	(68)	(100)	
海域	表面	RMSE	1.87	1.90	1.53	1.41	1.54	1.45	1.44	1.38	1.58	1.51	1.69	1.68	1.65	1.59	2.00	1.97	1.55	1.51	1.59	1.62	1.74	1.74	1.63	1.59
	水深	ME	-1.16	-1.21	0.52	0.52	1.04	0.97	0.85	0.79	1.21	1.16	1.27	1.26	1.08	1.05	1.76	1.73	1.09	1.10	0.40	0.37	-0.51	-0.51	0.64	0.61
	表面	RMSE	0.54	0.45	0.84	0.62	1.48	0.88	2.98	2.62	1.67	1.32	1.42	1.05	1.65	1.14	1.20	0.65	1.40	1.51	1.73	1.61	1.41	1.31	1.54	1.28
	塩分	ME	0.20	-0.04	0.54	0.10	1.12	-0.08	1.13	0.19	0.82	0.19	0.96	0.02	1.19	-0.02	0.98	-0.03	0.37	-0.62	0.38	-0.04	0.74	0.43	0.74	-0.04
	使用観測点数	12		15		21		9		4		9		7		6		6		9		8		116		
	データ数N	372		465		651		293		124		279		217		186		496		297		248		3628		

*「一級水系」列の値は海域内で占める割合、「全水系」列の値(赤字)は全海域に対する割合

< 出典 > 東他(2018)³⁾より抜粋

2. 今後の課題

2.1 写真画像の取得

2.1.1 解像度の向上

本調査で撮影した航空写真は1画素が最小10cm程度であり、そこから視認が可能な漂着物はおおむね30cm以上の大きな漂着物のみとなっている。一方で、陸上から流出する500mlペットボトルを始めとする生活系ごみは30cm以下の大きさのものも多く、発生抑制対策の立案やその効果検証のためにはより小さなごみの分布や存在量を把握する必要がある。

⇒この課題については、撮影高度の観点から、ドローンを使用することで解像度を向上させることが可能である。ドローンを活用した漂着ごみの特定、定量化については、本業務でヒアリングを行った鹿児島大学の加古准教授が研究を進められており、実用化段階になりつつある。

一方で、短期間での愛媛県全域の海岸調査は困難であることから、航空写真により県内のポットスポットを把握したうえで、優先順位を付けてドローンによる調査を実施することが考えられる。

2.1.2 時間変動の把握

本調査では県内の全海岸について、1回のみスナップショットによる漂着分布の評価及び漂着量推計であった。しかしながら、漂着ごみは常に時間的に変動しており、他の季節あるいは他の年度の調査では必ずしも同じ結果にはならないと考えられる。更に漂着量だけでなく、量の多い漂着ごみの種類が異なる可能性もある。効率的な回収・処理計画の立案や発生抑制対策の検討を行っていくためには、連続的な画像取得により、ごみの多い時期の特定や季節的な変化を把握することが必要である。

⇒この課題については、航空写真に比較して高頻度で実施可能なドローンによる定期的な調査や、時間連続的に調査可能な定点カメラ撮影による調査が有効である。定点カメラでは、ウェブカメラを用いることで、漂着量や種類の変動をリアルタイムにモニタリングすることも可能である。ウェブカメラを用いる手法については、本業務でヒアリングを行った愛媛大学の片岡准教授の研究実績がある。

なお、定期的な撮影を行う手法として、上記以外に人工衛星を活用する方法もある。人工衛星では、航空写真より更に広範囲かつ面的に同時に撮影が可能となるメリットがあるが、解像度の点でまだ実用性は低いと考えられる。

2.2 漂着量推計

2.2.1 定量性の向上

漂着量の評価について、現在は航空写真からの判別の妥当性から5ランク（漂着量無しの0ランクを含む）に区分して実施しているため、最小値と最大値の幅が大きくなっている。今後、推計した漂着量を基に回収・処理の計画立案、その実行のための予算計上に活用するためには、定量性を更に向上する必要がある。

⇒この課題については、航空写真に基づき具体的な回収・処理の計画立案を行う対象範囲

を特定した後、その範囲についてドローンを活用してより詳細に漂着量を推計することで定量性を向上することが可能と考えられる。ドローンを活用した漂着ごみの特定、定量化については、本業務でヒアリングを行った鹿児島大学の加古准教授が研究を進められており、その技術は実用的なものとなりつつある。最先端の技術を活用することで、漂着量の定量性向上が期待できる。

2.2.2 漂着ごみの種類の特定

上述したように処理計画の立案に当たっては、定量性を向上する必要があるが、更に漂着ごみの種類(材質)によって処理方法が異なることから、種類別の定量性を向上する必要がある。

⇒漂着ごみの種類の特定及び種類別定量性についても、上述したようにドローンを活用することにより向上することが可能と考えられる。

2.2.3 重なったごみの定量化

漂着ごみは積み重なって堆積している場合もあり、上空からの写真撮影では堆積の厚さを特定することが困難である。そのため、本調査の漂着量は過小評価となっている可能性がある。

⇒この課題についても、ドローンを使用することにより、撮影高度や撮影角度の柔軟性から、より正確に定量化できるようになると考えられる。

ただし、積み重なっている漂着ごみの種類については、上にある漂着ごみを除去しない限り特定はできないため、課題が残る。

2.2.4 植生内のごみの定量化

航空機による写真撮影に基づく定量化では、植生内に隠れた漂着ごみを撮影することができていないため、漂着量が過小評価されている。

⇒この課題については、次の3つの対応が考えられる。

(1) ドローンの活用

ドローンを活用した調査により、撮影高度や撮影角度の点から、航空機に比較して植生内の漂着ごみも撮影できるようになると期待される。しかしながら、それでもなお限界があると考えられることから、下記の対応を合わせて行うことが望ましい。

(2) 調査時期の選択

植物によっては時期により葉を落とすことから、落葉後に写真を撮影することで漂着ごみの視認性が向上すると期待される。上記のドローンによる撮影を落葉後に行うことで、植生内のごみの定量性が向上すると考えられる。ただし、落葉後は主に晩秋から冬季に当たり、季節風が強くなる時期でもあることから、ドローン調査の難易度が上がる点に留意が必要である。また、常緑性の植物も多い点にも留意が必要である。

(3) 目視調査の併用

ドローンで撮影困難な植生内の漂着ごみについても、人による写真撮影あるいは目視での確認が可能な場合もある。ドローンの調査に加え、目視調査も行うことで、植生内の漂着ごみの

定量性が向上すると考えられる。ただし、そのような植生の場所においては、作業困難性が高いと考えられることから、調査時間や調査人数が多くかかることが想定される点に留意が必要である。

愛媛県では、令和3年度に立入困難地域における漂着ごみ現状把握調査を実施しており、南予地域において植生の無い海岸部だけでなく植生内についても漂着量を評価している。この植生内の漂着量の割合を用いて、今回の航空写真から推計した漂着量を植生内も含めた量に換算する方法が考えられる。ただし、南予地域の結果が中予や東予地域においても同様かどうかを確認する必要があり、県全域の漂着量を南予地域の割合で換算可能かどうかを検討する必要がある。

III-2 AIによる画像処理方法の検討

1. 考察

1.1 漂着ごみ検出モデルの精度評価

II-5の3.1.2に示した結果から、最もIoUが高くなったEncoderにMIT_b2を採用したFPNモデル(MIT_b2-FPN)の検出結果の例を図III-27～図III-30に示す。左が正解(人が目視で抽出したもの(Ground Truth))で、右がモデルの検出結果(漂着ごみである確率が50%以上のピクセル)である。

大きな塊になっている漂着ごみは精度よく検出できているのに対し(図III-27、図III-28)、塊を作らず単独で存在する流木など細長い漂着ごみの検出精度は低く、検出できているものも領域を過大に検出する傾向がある(図III-29)。1㎡未満(1ピクセル10cmとして換算)の小さな漂着ごみはそのほとんどが検出できていない(図III-30)。これは背景に存在する漂着ごみのように見える小さな物体との判別ができないためと考えられる。

漂着ごみの大きさ(㎡)別の検出精度を表III-3に示す。検出数はモデルの検出した個体の数、検出率は検出数を漂着ごみの個体数で除したものである。

表 III-3 漂着ごみの大きさ[㎡]別精度

大きさ[㎡]	個体数	検出数	検出率[%]	mIoU[%]	再現率[%]	適合率[%]
0～1	5896	1788	30.3%	0.3%	27.1%	0.5%
1～5	511	371	72.6%	6.0%	60.5%	8.9%
5～10	54	43	79.6%	11.7%	61.5%	13.9%
10～20	40	33	82.5%	14.3%	62.0%	22.8%
20～30	21	20	95.2%	13.0%	75.3%	23.9%
30～	57	55	96.5%	40.2%	77.7%	49.8%

1㎡未満の小さな漂着ごみの検出率は30.3%と低く、検出できているものは近傍にある大きな漂着ごみの塊に含まれて検出されたものである。漂着ごみのサイズが大きくなるに従い、検出率は高くなり、10～20㎡で80%以上、20㎡以上であれば95%を超える。再現率は20㎡以上の漂着ごみであれば75%を超えるものの、適合率は50%未満であり、mIoUの値は最大でも40.2%と低い。このことから、10㎡以上の大きな漂着ごみは高い精度で検出できるものの、漂着ごみの領域を過大に推定する傾向があると言える。

以上の結果から、現状の漂着ごみ検出モデルは漂着ごみの量を推定することは困難であるものの、航空写真内にある10㎡以上の大きな漂着ごみの塊(ホットスポット)の有無とその位置の把握に利用できる可能性がある。



図 111-27 漂着ごみ検出モデルの検出結果 (左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出結果)



図 111-28 漂着ごみ検出モデルの検出結果 (左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出結果)



図 111-29 漂着ごみ検出モデルの検出結果 (左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出結果)



図 111-30 漂着ごみ検出モデルの検出結果 (左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出結果)

1.2 漂着ごみ分類モデルの精度評価

II-5 の 3.1.2 に示した結果から、最も IoU が高くなった Encoder に MIT_b2 を採用した FPN モデル(MIT_b2-FPN)の検出分類結果の例を図 III-31～図 III-35 に示す。左が正解(人が目視で分類したもの (Ground Truth))で、右がモデルの判別結果である。

大きな塊になっている自然ごみは精度よく検出できているのに対し、その中に存在する人工ごみは検出はできているものの自然ごみとして分類されている (図 III-31, 図 III-32)。図 III-31 の白い浮きフロートが一部検出できていない。これは日射を受けて白く光った岩と誤認している可能性がある。塊を作らず単独で存在する流木など細長い漂着ごみの検出精度は低く、検出できているものも領域を過大に検出する傾向がある (図 III-33)。1 m²未満 (1 ピクセル 10cm として換算) の小さな漂着ごみは全く検出できていない (図 III-34)。

漂着ごみの種別の精度を表 III-4 に示す。

表 III-4 漂着ごみの種別精度

漂着ごみの種類	mIoU[%]	再現率[%]	適合率[%]
自然ごみ	19.1	50.7	31.9
フロート	8.2	22.1	44.1
ポリタンク	0.0	0.0	50.0
球ブイ	0.0	0.0	100.0
人工ごみ	1.5	3.0	31.2

ポリタンクと球ブイは再現率と mIoU が 0.1%未満でありほとんど分類できていない (例えば 図 III-35)。ポリタンクと球ブイを含む教師データファイル数が少ないことが原因と考えられる。表 III-5 に漂着ごみの種別教師データファイル数を示す。ポリタンクと球ブイを含む教師データファイル数は自然ごみ、浮きフロート、人工ごみと比較して非常に少ない。

表 III-5 漂着ごみ種別教師データファイル数

漂着ごみの種類	教師データファイル数
自然ごみ	508
フロート	391
ポリタンク	7
球ブイ	62
人工ごみ	545

人工ごみは教師データファイル数は多いが、検出が困難な単独で存在する小さなものが多いことや大きな自然ごみの塊の近傍にあることが多いこと、外観が酷似している白い浮きフロートに誤って分類されることが多いため精度が低くなっていると考えられる (例えば 図 III-36)。

以上の結果から、現状の漂着ごみ分類モデルでは漂着ごみの種類判別は難しいと考えられる。



図 III-31 漂着ごみ分類モデルの検出分類結果
(左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出分類結果)



図 III-32 漂着ごみ分類モデルの検出分類結果
(左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出分類結果)



図 III-33 漂着ごみ分類モデルの検出分類結果
(左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出分類結果)



図 111-34 漂着ごみ分類モデルの検出分類結果
(左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出分類結果)



図 111-35 漂着ごみ分類モデルの検出分類結果
(左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出分類結果)



図 111-36 漂着ごみ分類モデルの検出分類結果
(左:正解(Ground Truth)、右:モデル検出分類結果)

2. 今後の課題

2.1 誤検出の改善

現状の漂着ごみ検出モデルの出力結果の信頼性を確保するには、誤検出を減らす必要がある。

⇒今回実施しなかった背景のアノテーションを行うことで改善できる可能性がある。砂浜、水域、植生、構造物に加え、人工ごみや白い発砲フロートと誤認識しやすい白波や海面の反射についてもアノテーションを行い、AI モデルに学習させることで、漂着ごみとその他異物の区別が可能となることが期待できる。

2.2 検出精度の向上

ホットスポットの検出精度を向上させるには、10 m²未満の小さな漂着ごみの検出率を向上させる必要がある。

⇒高解像度のセマンティックセグメンテーションモデル HRNet を用いることで改善できる可能性がある。

2.3 定量的な AI モデルの開発

漂着ごみの検出・分類作業の作業コストをさらに軽減するためには、漂着ごみの量を種類別に定量的に把握する AI モデルを開発する必要がある。

⇒ドローンや地上定点観測カメラで撮影した高解像度な画像を用いた AI モデルを開発することで可能と考えられる。地上撮影画像を活用した漂着ごみの特定、定量化については海洋研究開発機構の松岡主任研究員が、ドローンを活用した漂着ごみの特定、定量化については、鹿児島大学の加古准教授が研究を進められており、その技術は実用的なものとなりつつある。最先端の技術を活用することで、漂着ごみの検出・分類作業の作業コストを軽減することが期待できる。