

固定カメラを活用した海岸漂着ごみ調査の実証試験結果

1 実証試験の目的

本実証試験の目的は、以下表 1 の観点から本ガイドライン・附属書セクション I.1 及びセクション II の実用性を確保することである。

表 1 実用性確保のポイント

要素	検証方法
具体性	調査未経験者が専門家監修の下で当該調査を実施することにより、ガイドラインに記載すべき事項を整理する。
汎用性	使用する機器や調査環境が違ってても参考となる内容とする。解析方法は、AI による手法を活用しつつ、手動検出の可能性についても検討する。
先進性	既存調査の課題である効率性、正確性、再現性を解決できるものであるかを検証する。

2 実証試験の概要

実証試験の概要は表 2 のとおりである。

表 2 実証試験の概要 (1/2)

項目	概要
調査時期・頻度	海岸カメラ設置：2024 年 6 月 29 日 海岸カメラによる測定：2024 年 6 月 29 日~2024 年 12 月 31 日 撮影設定：毎日 5:00~19:00、1 時間に 1 回撮影 目視調査・回収調査：2024 年 9 月 3 日
調査地点	富山県射水市六渡寺海岸
調査範囲	70.9 m ² (図 3 の調査範囲参照)
調査方法 (詳細は別添 B 参照)	海岸漂着ごみの量及び種類について、以下の 4 つの方法により調査・解析した。 I 海岸固定カメラ調査 & AI 解析 (セマンティックセグメンテーション) II 海岸固定カメラ調査 & 目視解析 III 海岸目視調査 (「水辺の散乱ゴミの指標評価手法 (海岸版)」(国土交通省東北地方整備局ほか) を参考) IV 回収調査 (「地方公共団体向け漂着ごみ組成調査ガイドライン (令和 5 年 6 月 第 3 版)」を参考) *手法 III 及び IV については、経験者によるガイドにより一般の人々も実施することが可能な場合がある。 画像の手前と奥では、同じごみでも画像上の大きさ (ピクセル数) が異なり、GSD (Ground sample distance, 地上解像度) が異なる。 そのため、解析の参考とする目的で、固定カメラ&画像目視調査 (手法 II) 及び回収調査 (手法 IV) においては、調査範囲を手前から区画 1、区画 2、区画 3、区画 4 (カメラ撮影範囲からそれぞれ 0-25%、25-50%、50-75%、75-100%) のエリアに更に分割した (図 4)。

表 3 実証試験の概要 (2/2)

項目	概要
調査対象（詳細は表 4 を参照）	I 海岸漂着ごみのピクセル数、被覆面積 II 海岸漂着ごみのピクセル数、個数、体積 III 海岸漂着ごみの体積 IV 海岸漂着ごみの個数、体積、重量 - 被覆面積は、測量を行った結果をもとに、海岸漂着ごみ検出後の画像を真上から撮影した構図に変換（射影変換）することにより求めた。 - 調査対象は人工ごみとする。ただし、木材は AI が流木と区別することが難しいと考えられたため、調査対象から除外した。 - I の AI では細かなごみの分類はできないため、人工ごみ全体の調査とする。 - II の画像目視及び IV の回収調査の個数の集計対象は、調査海岸の事前踏査で確認した特性を踏まえ、プラスチックボトル、食品容器（ファーストフード、カップ、ランチボックス、それに類するもの）、ポリ袋（レジ袋、食品用、業務用など）、苗木ポット、その他人工ごみの 5 種類とする。
調査実施者	日本エヌ・ユー・エス株式会社、鹿児島大学加古研究室、公益財団法人環日本海環境協力センター（NPEC）
画像処理・解析者	日本エヌ・ユー・エス株式会社、鹿児島大学加古研究室
結果の整理方法	- I について、海岸漂着ごみのピクセル数及び被覆面積の時系列データを作成 - I の海岸固定カメラの AI 検出と、II の画像目視調査のピクセル数の比較 - II の海岸固定カメラの画像目視調査と IV の回収調査のごみの個数の比較 - II の海岸固定カメラ調査の画像目視調査と、III の海岸目視調査、IV の回収調査のごみの体積推定の比較 - II の調査を複数名で各々実施することにより、作業者間の体積推定に関する人為的誤差を整理 - I~IV の各手法の作業時間を整理 - I~IV の各手法の調査・解析費用を整理

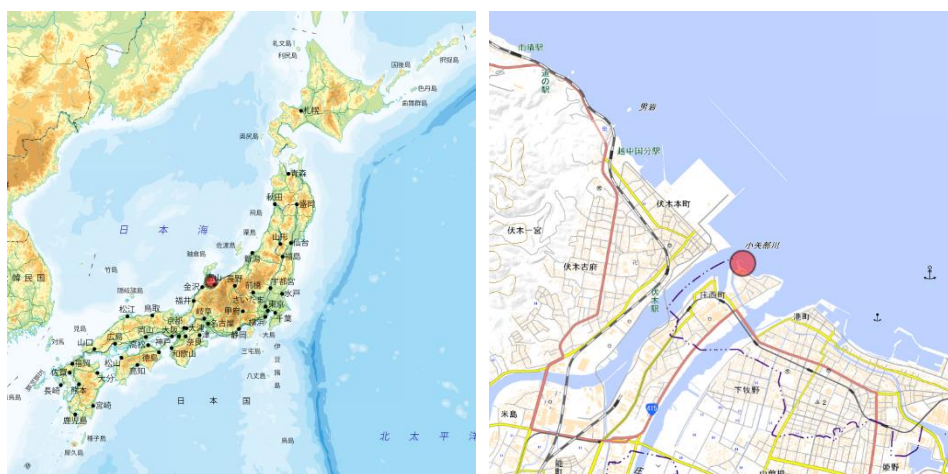


図 1 調査地点の位置図（富山県射水市六渡寺海岸）
（国土地理院地図より作成）



図 2 固定カメラの設置場所
（左図は国土地理院地図より作成）



図 3 調査範囲（赤枠）

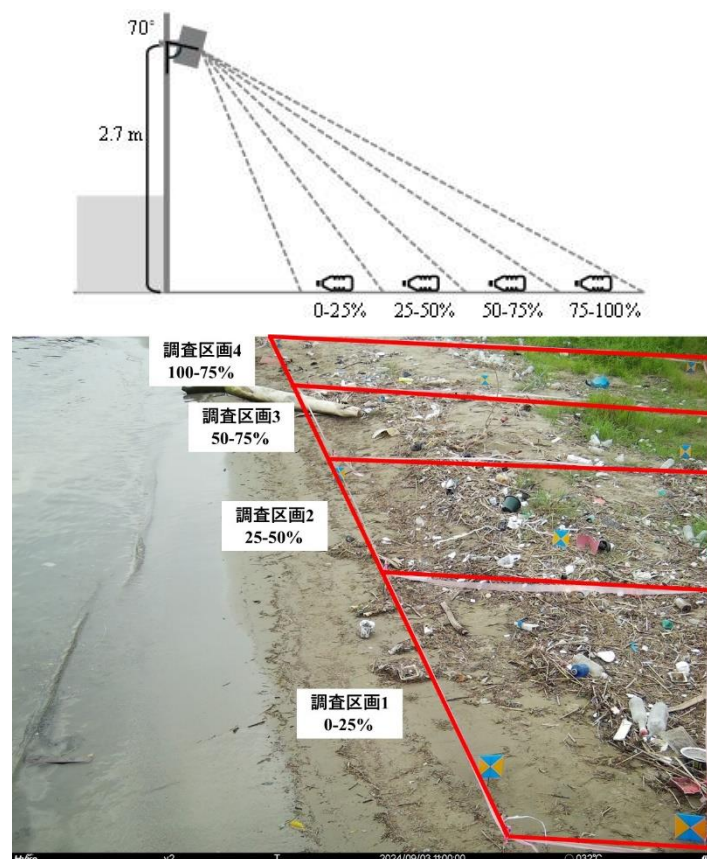


図 4 固定カメラの設置高度及びと角度、調査区画（赤枠）

表 4 調査方法と得られるごみの情報

種類	調査内容	測定項目					目的
		ピクセル数	被覆面積	個数	重量	体積	
固定カメラ調査	I 固定カメラ&AI						- 固定カメラ画像の AI での自動検出により、ピクセル数を求める。 - 被覆面積は測量結果により、射影変換を行い求める。
	II 固定カメラ & 画像目視						- 固定カメラ画像の目視での判別により、I の AI による自動検出ではできないごみの個数や種類の集計を行う。 - ピクセル数の推定結果を I と比較し、海岸固定カメラにおける I の AI の精度を確認する。
手動調査	III 海岸目視						II の固定カメラによる調査との人為的誤差や費用・所要時間を比較する。
	IV 回収調査 (Ground truth)						II の固定カメラ&画像目視調査によるごみの個数、種類及び体積の測定の精度を比較する。

3 実証試験の結果

3.1 海岸漂着ごみの時系列データの解析

方法Ⅰ（定点カメラと AI 検出）では、2024 年 7 月 1 日から 12 月 31 日までの期間の時系列画像を取得し、毎日 12 時 00 分に撮影された画像を用いて、AI でごみを検出し、そのピクセル数を算出した。

定点カメラで斜めから撮影すると、手前のごみは大きく写り、奥のごみは小さく写り、ピクセル数にも違いが生じる。この不均衡を補正し、より正確に海岸漂着ごみの量を表現するために、測量結果に基づき、斜め画像を射影変換により真上から見た画像に変換した（図 5）。さらにその射影変換した図のピクセル数から被覆面積を算出し、同様に時系列のグラフを作成した（図 6）。

また、風、降雨、水位に関連すると考えられる気象データや、清掃活動の実施日もいくつか含め、ごみの増減との関係を検証した。なお、カメラの設置地点周辺や河川上流域で、調査期間中に複数の地域のイベントが開催されていたが、環境中へのごみの大きな流出要因となるようなイベントは確認できなかった。

結果と考察を以下に示す。

- 射影変換を行っていないピクセル数における時系列変動と、射影変換を行っていないピクセル数から求めた被覆面積の時系列変動との相関係数は有意 ($p < 0.01$) であった。そのため、射影変換を行っていないピクセル数から特定されるごみのピクセル数から、ごみの量の時系列変動のおおよその把握が可能であると考えられる（図 7 参照）。
- 異常に大きなピクセル数になっているいくつかのデータは、画像の確認により、太陽光の反射やカメラレンズのくもりが誤検知したことによる異常値と考えられた。したがって、30 万 pix を超えるデータを外れ値とし、それらを含めた場合と含めない場合で 7 日間の移動平均を作成した。両データともグラフがほぼ重なり、全体的な傾向はほぼ同じであったため、7 日間の移動平均をとることで、異常値の影響を低減できると考えられる（図 8 参照）。なお、本実証試験では 7 日間移動平均としたが、平均化の適切な日数は降雨の頻度等、地域の特性により異なる可能性がある。
- 清掃活動後は、漂着物のピクセル数が大きく減少していた。清掃活動の影響がない期間（7 月 9 日～9 月 2 日）に限定して分析すると、東方向及び北方向の風速と海岸漂着ごみのピクセル数に高い相関が見られ、相関係数はともに有意 ($p < 0.01$) であった。これは、北向き及び東向きの成分の風の風速が高いほどごみの量が多くなる傾向にあることを示しており、海岸の形状や向き、防波ブロックによる影響と考えられる。（図 9～図 11 参照）。
- その他の気象データ（大潮期間、降雨量、先行晴天日数*、日照時間、現地平均気圧、小矢部川の水位）と漂着ごみのピクセル数との明確な相関は確認できなかった（図 20～図 25 参照）。河川上流の降雨がカメラ設置地点の降雨よりも影響が大きい可能性、また、ごみの流出と漂着に時間差がある可能性などが考えられる。

*先行晴天日数：日降水量が一定の基準値（例：10 mm 未満）を下回る日数が連続した期間を指す。地域によって基準値は異なる可能性がある。



図 5 固定カメラにより海岸を撮影した画像（左）と射影変換した画像（右）

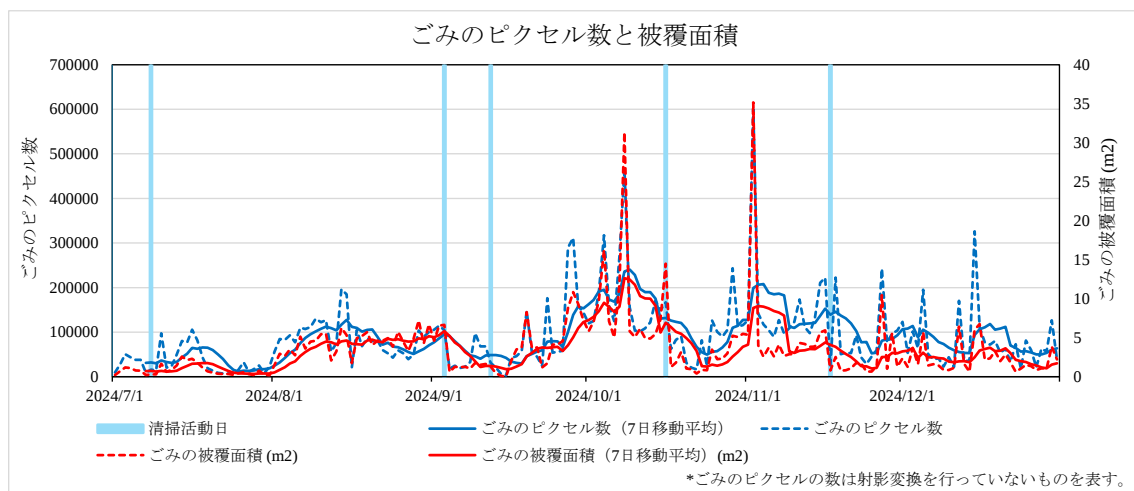


図 6 時系列データ：ごみのピクセル数と被覆面積

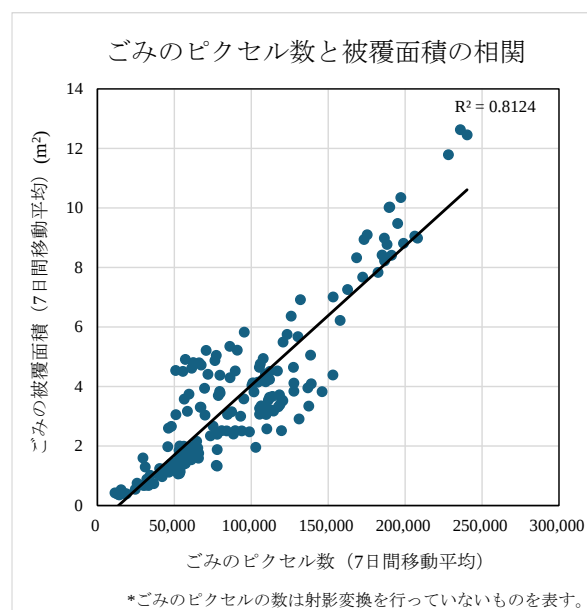


図 7 ごみのピクセル数と被覆面積の時系列の相関

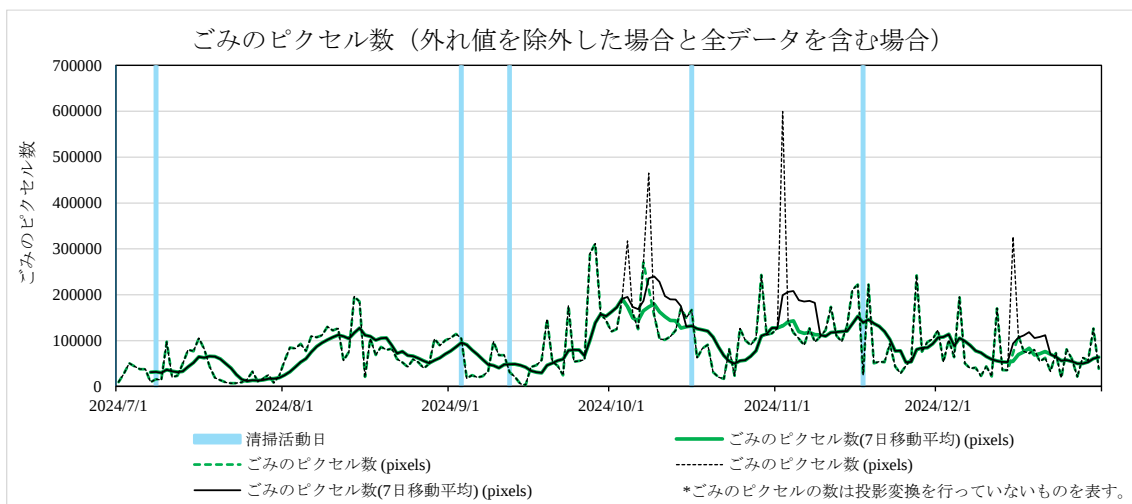


図 8 時系列データ：ごみのピクセル数の外れ値を除外した場合と除外しない場合

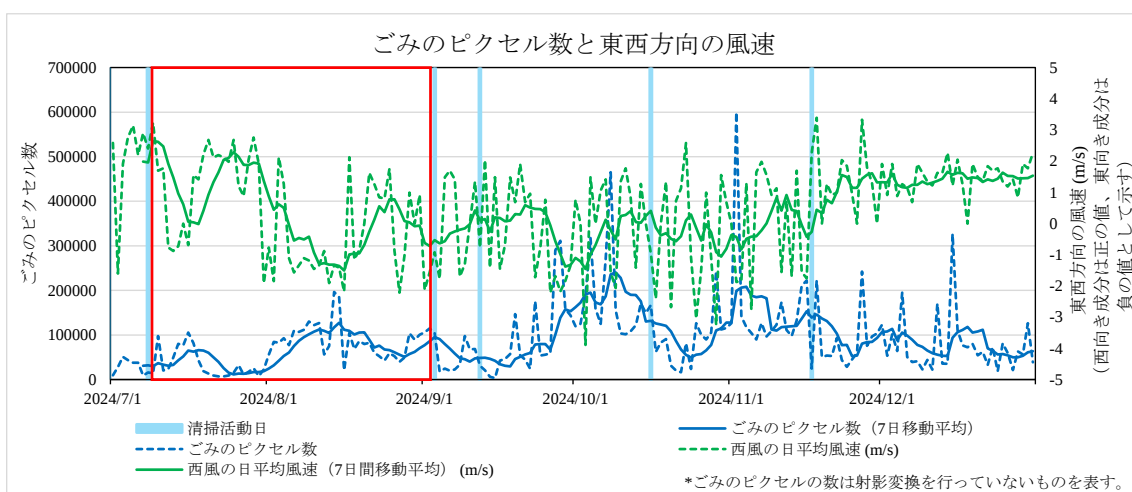


図 9 時系列データ：ごみのピクセル数と東西方向の風速

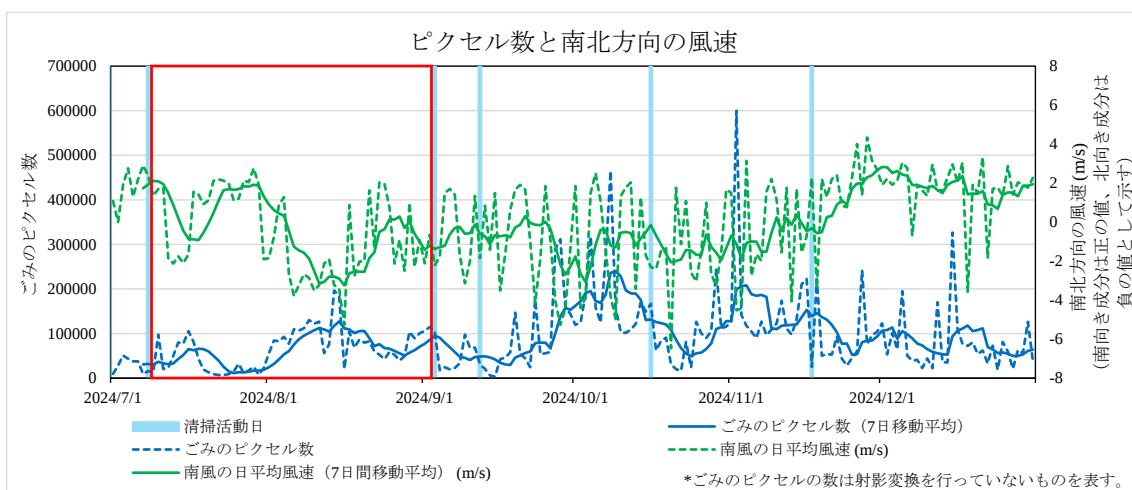


図 10 時系列データ：ごみのピクセル数と南北方向の風速

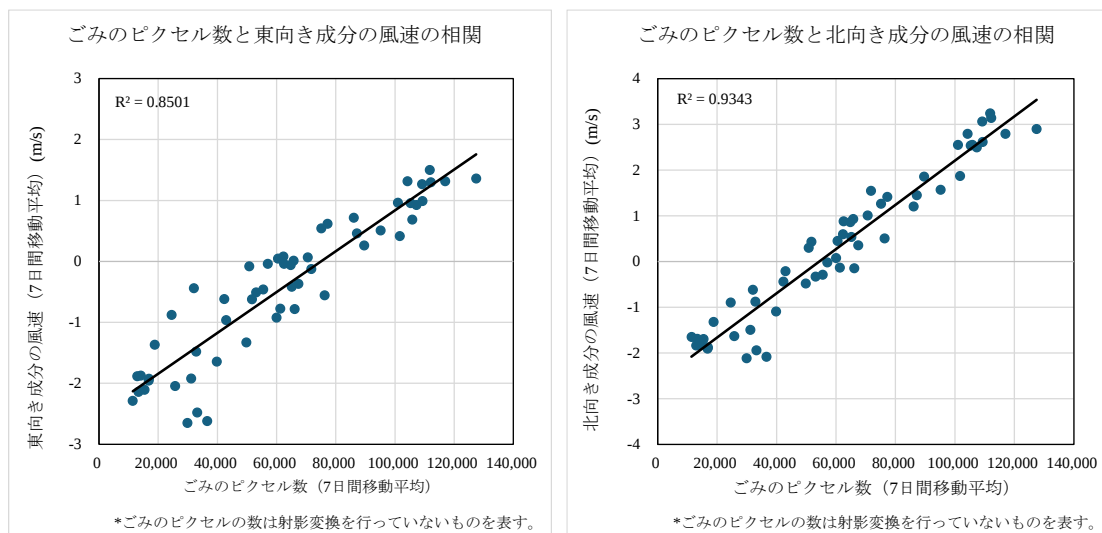


図 11 ごみのピクセル数と風速の相関：東向き成分（左図）と北向き成分（右図）

3.2 各手法により推定した海岸漂着ごみの量の比較

2024 年 9 月 3 日に、手法 I（固定カメラ& AI 解析）、手法 II（固定カメラ& 目視解析）、手法 III（海岸目視調査）、手法 IV（回収調査）を同時に実施し、調査結果を比較した。手法 I 及び II については、9 月 3 日以外の日についても、ごみが多い日（清掃活動前）、少ない日（清掃活動後）の画像を用い、合計 6 枚で手法間のごみのピクセル数の比較を行った。

3.2.1 ピクセル数の比較と被覆面積の算出（手法Ⅰ及びⅡ）

手法Ⅰ（固定カメラ&AI の調査）、と手法Ⅱ（固定カメラ&画像目視調査）で推定したごみのピクセル数の比較を 6 枚の画像を用いて行った。それぞれの手法の検出画像の例は図 13 及び図 14 に示す。

その結果、固定カメラ&AI でのピクセル数と、固定カメラ&画像目視でのピクセル数手法の変動は類似した傾向を示しており、AI による検出は人の目と近い結果が出ると考えられ、AI が人の目による検出を代用できると考えられる。

9 月 14 日のデータは、目視解析ではごみのピクセル数が非常に少なかったのに対し、AI では比較的高いピクセル数となった。これは、AI が海面に反射した太陽光をごみとして誤検出した（偽陽性）ためと考えられる（図 15 参照）。

また、AI の方が全体的にごみと検出したピクセル数が大きかった。その考えられる理由として、非常に細かなごみや、解像度の低い画像の奥にあるごみについて、調査者 α 及び β がごみとして検出しなかったものを、AI がそれらをごみとして検出した可能性があると考えられる。

表 5 固定カメラ&AI（手法Ⅰ）と固定カメラ&画像目視（手法Ⅱ）の結果の比較

	固定カメラ&AI (pix)	固定カメラ&画像目視 (pix)		
		調査者 α	調査者 β	平均
7 月 12 日（清掃直後）	159,474	52,538	75,799	64,169
9 月 3 日（清掃直前）	576,002	509,706	415,502	462,604
9 月 14 日（清掃直後）	773,943	22,613	17,295	19,954
10 月 15 日（清掃直前）	848,329	600,136	718,120	659,128
10 月 17 日（清掃直後）	464,008	164,757	194,764	179,761
11 月 16 日（清掃直前）	1,010,172	716,073	926,540	821,307

備考：

- これらの推定結果にはごみでないものをごみとして検出し、あるいはごみを検出し損ねたことに起因する不確実性が含まれる。

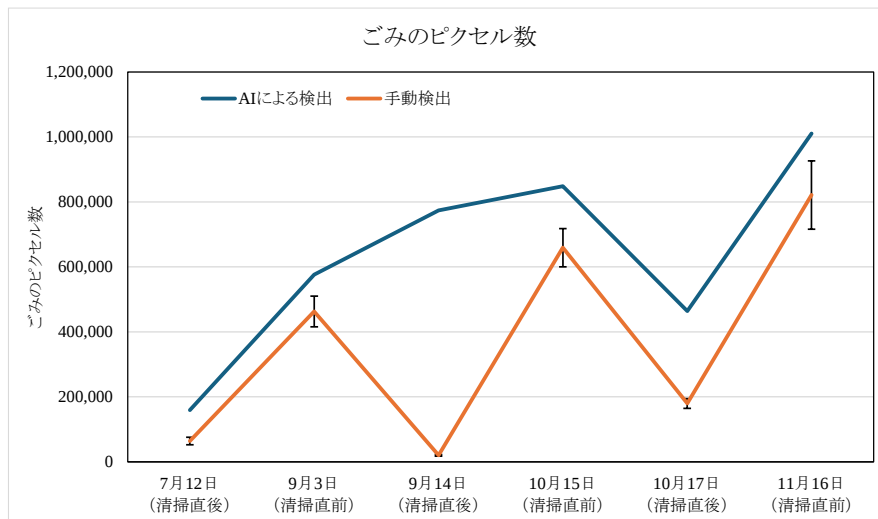
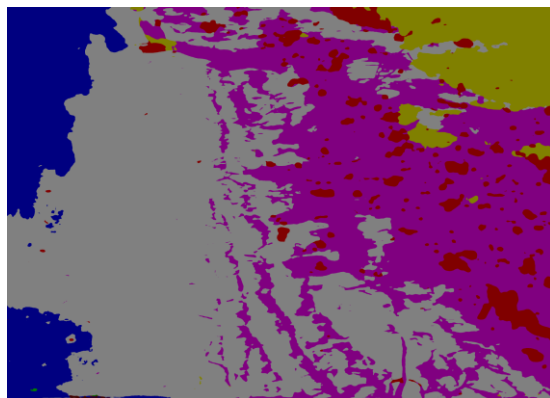


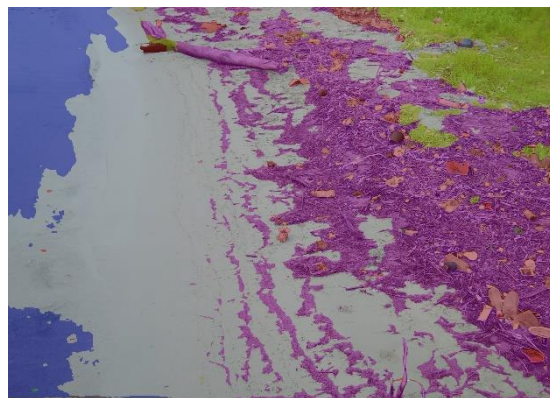
図 12 手法Ⅰ及びⅡのごみのピクセル数の結果の比較



※本実証試験では、この結果のうち、「人工ごみ」のみを調査対象としている。



AI による解析結果



撮影画像に AI 解析結果を重ね合わせたもの

図 13 固定カメラ撮影画像の AI による解析結果 (2024 年 9 月 3 日)



調査者 α の解析結果

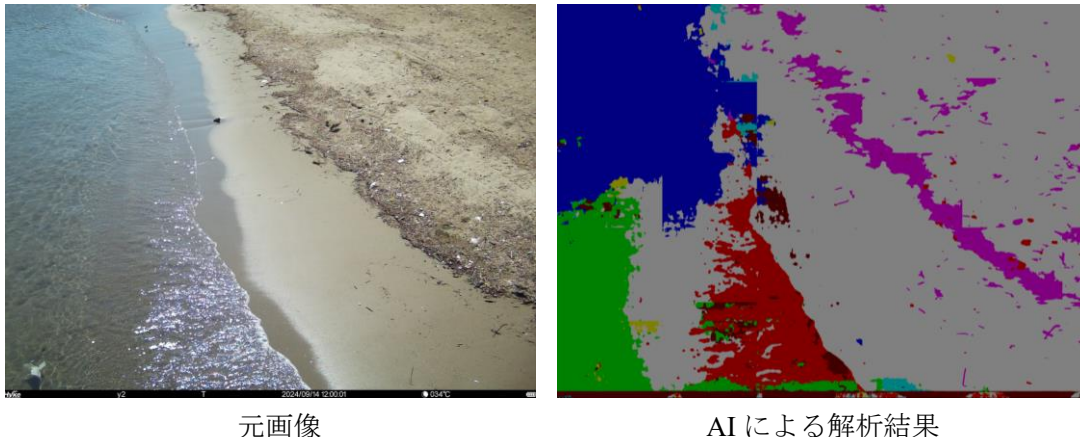


調査者 β の解析結果

図 14 固定カメラ撮影画像の目視による解析結果 (2024 年 9 月 3 日)
(使用アプリケーション: labelme v5.5.0)



※本実証試験では、この結果のうち、「人工ごみ」のみを調査対象としている。



元画像 AIによる解析結果
図 15 AIによるごみの誤検出（偽陽性）（9月14日）

3.2.2 ごみ個数推定結果の比較（手法Ⅱ）

手法Ⅱ（固定カメラ&画像目視調査）で推定したごみの個数について、手法Ⅳ（海岸漂着ごみ回収）により得られた個数（Ground truth）と比較した。調査範囲全体のごみの合計値を表 6 に示し、画像の手前から奥にかけて調査区画 1~4 に区切って調査を行った詳細な結果を表 15~表 18 に示す。

その結果、固定カメラ&画像目視での個数は Ground truth に比べて過小評価になった。品目別にみると、プラスチックボトルやその他人工ごみの目視による検出率は 5 割程度であり、食品容器、ポリ袋、苗木ポットの検出率は約 3 割以下であった。それらの理由としては以下の点が考えられる。

- 画像に写っている手前のごみは判別しやすいが、奥のごみほど判別が難しく、検出率が下がったため、Ground truth に比べて過小評価になった（表 15~表 18 参照）。
- 固定カメラでは表層に露出している物体しか検出できないが、Ground truth は表層に見える物体の下にあるごみも回収している。
- 食品容器、ポリ袋、苗木ポットの平均体積はそれぞれ $0.15 \text{ m}^3/\text{個}$ 、 $0.4 \text{ m}^3/\text{個}$ 、 $0.22 \text{ m}^3/\text{個}$ であり、プラスチックボトルの平均体積 $0.56 \text{ m}^3/\text{個}$ と比較して小さく、形も不定形のため検出されにくかったと考えられる（図 16 及び図 17 参照）。一方、その他の人工ごみは $0.14 \text{ m}^3/\text{個}$ と小さいにも関わらず検出率は 0.46 と、プラスチックボトルの次に高かった。「その他の人工物」に分類されるごみの多くは、背景にある物体が人工物であることは比較的容易に判別できるものの、画像が不鮮明であるため、それ以上の分類が不可能であったためと考えられる。

表 6 固定カメラ&画像目視（手法Ⅱ）による推定結果と、海岸漂着ごみ回収（手法Ⅳ）の結果の比較（区画 1~4 の合計）

分類	固定カメラ&画像目視(個)			海岸漂着ごみ回収（Ground truth）（個）	ごみ検出率（画像目視平均値/Ground truth）
	調査者 α	調査者 β	平均		
プラスチックボトル（ペットボトル含む）	21	18	20	35	0.56
食品容器	9	6	8	74	0.10
ポリ袋（レジ袋、食品用、業務用など）	0	0	0	1	0
苗木ポット	6	3	5	14	0.32
その他人工ごみ	244	209	227	490	0.46
合計	280	236	258	614	0.42

備考：

- 1 固定カメラ&画像目視による調査結果は、調査者 2 名の平均により算出した。
- 2 各手法の詳細は別添 B のⅡ-Ⅳを参照



図 16 プラスチックボトル（左）及び食品容器（右）



図 17 苗木ポット（左）とその他人工ごみ（右）

3.3 調査・解析時間の比較

表 7 調査・解析に要した時間（調査初回に要した時間）

調査方法		データ入手（単位：時）		データ処理・解析（単位：時）		合計作業時間（時・人）
		準備・資材設置	入手	処理	検出、分類、定量	
I	固定カメラ&AI	4（2人）	0	0	0	8
II	固定カメラ&画像目視				0.75（1人）	8.75
III	海岸目視	1.5（2人）	0.5（2人）	0	0	4.0
IV	海岸漂着ごみ回収		2（2人）	0.5（2人）	4（2人）	16

備考：

- 1 固定カメラの調査（I、II）は時系列データの取得に要した時間を記載しているのに対し、III 海岸目視及び IV 海岸漂着ごみ回収は 1 回のデータ取得に要した時間を記載している。また、それぞれの手法で得られるごみの量の情報は異なる（表 4 参照）。
- 2 上記の調査準備には、資材調達に要した時間は含まない。また、固定カメラの設置については、事前の部品加工（表 13 参照）やカメラの設定に要した時間は含まない。
- 3 データ処理の作業時間について、データのダウンロード、コンピュータでのプログラミング及び自動処理時間に要する時間は含まれず、手作業による処理時間のみを対象としている。また、海岸漂着ごみ回収（IV）の「データ処理・解析」については、現地の調査データを PC へ入力、確認する時間を指している。
- 4 各作業員が異なる作業を行った場合、各々 1 人の作業員として記載（例：14 日間要する画像解析作業について作業員 α が 1~7 日目に、作業員 β が 8~14 日目に作業した場合、合計作業人日は 14 日（1 人）となる）
- 5 海岸漂着ごみを自動検出する AI の開発に必要となる教師データ作成は大量の画像と作業時間を要する作業である。例えば、3,500 枚のセマンティックセグメンテーション用のデータセット Beach Litter Dataset の作成には、作業員 15 人で作業して約 2 か月を要した。したがって、作業量を考慮すると、教師データには既存の公開データを活用することが現実的である。
- 6 本実証試験では、固定カメラのメンテナンスは実施していないが、長期間カメラを設置する場合には必要になると考えられる。

表 8 調査・解析に要した時間（調査 2 回目以降に要した時間）

調査方法		データ入手（単位：時）		データ処理・解析（単位：時）		合計作業時間（時・人）
		準備・資材設置	入手	処理	検出、分類、定量	
I	固定カメラ& AI	0	0	0	0	0
II	固定カメラ&画像目視				0.75 (1 人)	0.75
III	海岸目視	1.5 (2 人)	0.5 (2 人)	0	0	4.0
IV	海岸漂着ごみ回収	1.5 (2 人)	2 (2 人)	0.5 (2 人)	4 (2 人)	16

備考：

- 1 固定カメラの調査(I,II)は時系列データの入手について要した時間を記載しているのに対し、III海岸目視及びIV海岸漂着ごみ回収は1回のデータ回収に要した時間を記載している。また、それぞれの手法で得られるごみの量の情報は異なる（
- 2 表 4 参照）。
- 3 上記の調査準備には、資材調達に要した時間は含まない。また、固定カメラの設置については、事前の部品加工（表 13 参照）やカメラの設定に要した時間は含まない。
- 4 データ処理の作業時間について、データのダウンロード、コンピュータでのプログラミング及び自動処理時間に要する時間は除く。また、海岸漂着ごみ回収については、現地の調査データをコンピュータへ入力、確認する時間を意味する。
- 5 各作業員が異なる作業を行った場合、各々1人の作業員として記載（例：14日間要する画像解析作業について作業員 α が 1~7 日目に、作業員 β が 8~14 日目に作業した場合、合計作業人日は 14 日（1 人）となる）
- 6 海岸漂着ごみを自動検出する AI の開発に必要なとなる教師データ作成は大量の画像と作業時間を要する作業である。例えば、3,500 枚のセマンティックセグメンテーション用のデータセット Beach Litter Dataset の作成には、作業員 15 人で作業して約 2 か月を要した。したがって、作業量を考慮すると、教師データには既存の公開データを活用することが現実的である。
- 7 本実証試験では、固定カメラのメンテナンスは実施していないが、長期間カメラを設置する場合は必要になると考えられる。

3.4 調査・解析費用の比較

表 9 調査・解析費用（調査初回に要した時間）（単位：千円）

調査方法		機 材 費 (工 具 含 む)	SIM、サーバー ライセンス費 用 (1 年間)	機材輸 送費	交通費	人件費	合計
I	固定カメラ&AI	268	50	8	95	46	467
II	固定カメラ&画像 目視					51	472
III	海岸目視	87	-	-	95	23	205
IV	海岸漂着ごみ回収	122	-	4	95	233	455

備考：

- 1 機材設置にかかる費用はカメラの機種や、ソーラーパネル設置の有無、サーバー、SIMカードの契約等により異なる。また、機材設置を建設業者へ委託する場合は委託費が追加が必要である。
- 2 ランニングコストには作業員の日当及び宿泊日は含まれていない。
- 3 交通費については、富山県内の移動に係る経費のみを計上。
- 4 人件費は、令和6年度設計業務委託等技術者単価（国土交通省）を適用して算出した。1時間当たりの人件費は測量業務の測量主任技師、測量技師、測量技師補を平均して約5,775円とした。なお、この人件費には諸経費は含まれていない。
- 5 本事業ではカメラを設置場所の地方公共団体（射水市）の協力によりごみ処理費用が免除されているが、企業等が事業活動としてごみを回収した際は、通常は産業廃棄物処理業者への委託等が必要である。
- 6 本実証試験では固定カメラのメンテナンスは実施していないが、カメラを長期間設置する場合にはメンテナンスが必要になると考えられる。
- 7 単位は千円未満を四捨五入しているため、各項目の合計値が右列の合計値と一致しないことがある。

表 10 調査・解析費用（調査 2 回目以降に要した費用）（単位：千円）

調査方法		機 材 費 (工具含む)	SIM、サーバー ライセンス費用 (1 年間)	機材輸 送費	交通費	人件費	合計
I	固定カメラ& AI	0	0	0	0	0	0
II	固定カメラ&画像 目視					4	4
III	海岸目視	87	-	-	95	23	205
IV	海岸漂着ごみ回収	122	-	4	95	233	455

備考：

- 1 機材設置にかかる費用はカメラの機種や、ソーラーパネル設置の有無、サーバー、SIM カードの契約等により異なる。また、機材設置を建設業者へ委託する場合は委託費が追加が必要である。
- 2 ランニングコストには作業員の日当及び宿泊費は含まれていない。
- 3 交通費については、富山県内の移動に係る経費のみを計上。
- 4 人件費は、令和6年度設計業務委託等技術者単価（国土交通省）を適用して算出した。1 時間当たりの人件費は測量業務の測量主任技師、測量技師、測量技師補を平均して約 5,775円とした。なお、この人件費には諸経費は含まれていない。
- 5 ごみ処理費用はカメラを設置場所の射水市の協力によりかかっていないが、企業等が事業活動としてごみを回収した際は産業廃棄物処理業者への委託等が必要である。
- 6 本実証試験では、固定カメラのメンテナンスは実施していないが、カメラを長期間設置する場合にはメンテナンスが必要になると考えられる。
- 7 単位は千円未満を四捨五入しているため、各項目の合計値が右列の合計値と一致しないことがある。

4 結論

実証試験の結果、国際ガイドライン骨子案に基づき、固定カメラによる方法で海岸漂着ごみを検出・定量化に活用できたことを確認した。実証試験により明らかとなった、現時点の技術及び AI で可能な海岸漂着ごみのモニタリング内容とその技術的限界は表 11 のとおりである。

その他、実証試験の計画、準備、実施の各段階で抽出された留意点については、国際ガイドライン附属書セクション I 及び II に反映した（表 12 参照）。

各手法の調査・解析の所要時間及び費用（表 7~表 9）を比較した結果、以下の特徴が確認された。

- 固定カメラによる調査と手動による調査の比較
 - ・ 回収調査（Ground truth）と比較して、固定カメラによる調査では、個数の推計で過小評価になることが確認された。しかしながら、一度設置すれば時間及び費用をかけずに 2 回目以降のデータを取得可能であるため、調査の所要時間及び費用が大幅に削減でき、特に継続的に状況を把握する場合は非常に有用であると考えられる。
- 固定カメラ&AI（手法 I）と、固定カメラ&画像目視（手法 II）による調査の比較
 - ・ ごみのピクセル数の時系列変動は、手法 I と手法 II で類似した傾向を示しており、AI による検出は人間の目による検出と類似した結果が得られることが示され、AI が人間の検出の代替として使用可能であると考えられる。
 - ・ AI による手法 I では解析に時間及び費用を要しないことから、特に大量のデータを解析し時系列変動を把握するうえで有効である。本実証試験で用いた AI ではごみの分類や個数の推定は行っていないが、これらが可能な AI も存在する。今後のステップとして、固定カメラ画像からの AI によるごみの分類や個数の推定が可能になることが期待される。
 - ・ 一方、固定カメラの画像目視による手法 II はごみの分類や個数推定が可能であり、AI による手法を活用できない際にも用いることができる。

表 11 固定カメラ&AI で実施可能な項目及び技術的境界

海岸漂着ごみ調査において固定カメラで実施可能な項目	現時点の技術的境界
セマンティックセグメンテーションによる自動解析・ごみの時系列データ（ピクセル数）の取得	- 細かいごみが低密度、低高度で漂着している場合は推定誤差が大きくなるおそれがある。一方で、漂着密度が高い場合は、異なる種類のごみを分類及び定量化することが困難である。 - 個数の自動解析は、物体どうしが重なり合っている場合に 1 つのごみとして認識されるため、誤差が大きくなり、一般的にセマンティックセグメンテーションに適していない。
検出可能なサイズの人工ごみのピクセル数、個数、(被覆面積)の把握	- AI による検出では、検出下限値未満のごみの検出はできず、画像目視による検出でも、解像度が小さい場合は判別困難であり、人力による調査と比較して分類精度は高くない。固定カメラの画像からはごみの占めるピクセル数が得られるが、撮影は斜めからのアングルになるため、画像の手前と奥でごみの多寡が異なると、ピクセル数とごみの被覆面積が比例関係にならない可能性があることに留意が必要である。 - 被覆面積を推計する場合は、トータルステーションを用いた測量により斜め画像を補正（射影変換）する必要があるが、測量には技術や手間を要す。 - 固定カメラの画像から個数を求める方法についても、カメラの撮影範囲の奥にあるごみは小さく写るため、検出や分類が困難になる可能性がある。

表 12 ガイドライン附属書 1.2 に追記すべき事項

1 調査地点の選定
- 調査地点は以下を考慮して選定する。 ・ 観測対象の真上に後背地から突き出した植物が存在している場合、撮影できないおそれがある。 ・ 地方公共団体や海岸管理者の協力が得られやすい。 ・ 定期的な清掃活動が行われていない、または行われているものの、短期間にごみが溜まりやすくごみの多寡の推移を観測しやすい。 ・ 海岸利用が少ない（景観の観点、人の写りこみが多いと画像の自動解析の妨げとなるため）。 ・ 植生や降雪の多くない場所（夏場に植生が多い場合や、降雪がある場合は画像解析の障害となる可能性がある） ・ ごみの漂着量や種類について海岸全体の代表性が担保できる場所
2 固定カメラの設置
- 固定カメラからごみの直線距離が近いほど解像度が大きくなり、アングルが真上に近いほどごみの形状の識別が容易になることを考慮し、カメラの設置高度や角度を調整する。 - 堤防のコンクリートに穴を開けて設置するなど、構造物を变形する場合は、調査終了時の復旧方法も含めて海岸管理者への確認が必要である。
3 安全管理
- 人の出入りすることが多い海岸の場合、機材撤去後にボルトなどが残り怪我することがないように施工する必要がある。 - 機材は工具を用いて設置する必要があるため、訓練を受け受けた者が保護具を着用して作業に従事する。直営で実施困難な場合は、建設会社等に設計及び設置を依頼することも考えられる。

4 調査・解析時間
- 固定カメラは手動の調査に比べてデータ入手までに時間を要するものの、一度設置すれば、手動調査では取得困難な時系列のデータが遠隔でも入手可能である。また、I の AI を用いる方法では回収調査に比べて、ごみの検出は自動で行われるため、時間をほぼ要しない。以上のことから、固定カメラによる解析の費用対効果は大きいと考えられる。 - AI はカメラレンズの曇りや太陽光の反射を誤検出することがあるが、時系列データの場合は、数日間の移動平均を取ることで、影響を低減できると考えられる。本実証試験では 7 日間移動平均としたが、平均化の適切な日数は降雨の頻度等、地域の特性により異なる可能性がある。 - ごみの量をより正確に表現するためには、ごみの被覆面積を射影変換によって算出する方法がある。しかしながら、射影変換のためには測量を行う必要があり、特定の専門知識や技術、労力を要する。本実証試験では射影変換を行っていないピクセル数における時系列変動と被覆面積の時系列変動との相関係数は有意であったため、射影変換を行っていないごみのピクセル数により、時系列変動のおおよその把握が可能であると考えられる。ただし、画像中の手前側と奥側でごみの多寡が異なる場合は、ごみの量とピクセル数が比例関係にならない点に留意が必要である。

各調査手法の詳細情報

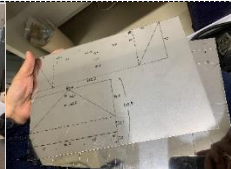
I カメラの設置

堤防のコンクリートに穴を開け、金具で単管パイプを固定し、固定カメラを設置した。調査地点の六渡寺海岸は、事前の踏査で、地元で長年にわたり清掃活動に取り組んでいる自治会より、地域のごみが溜まりやすい海岸であるという情報提供を受けて、調査地点に選定した。

六渡寺海岸は小矢部川と庄川の河口に位置するため、陸域由来のごみが多い特性がある。また、小矢部川の河口付近には防波堤があるため、その袂にごみが特に溜まりやすいと考えられる。このような特徴を踏まえ、陸域由来のごみの漂着を把握するために、小矢部川付近の防波堤の内側にカメラを設置した（図 2 を参照）。

調査範囲（カメラの撮影範囲）やカメラの設置高度、角度は、ごみの解像度やカメラの操作性を踏まえ、図 3 及び図 4 のとおりとした。本実証試験では継続的な電源を得るため、ソーラーパネルを設置した。ソーラーパネルの設置やカメラに配線を接続するに当たり、事前に部品の製作や加工を行った（表 13 を参照）。

表 13 ソーラーパネル設置における部品加工とカメラへの配線接続

No.	手順	写真
1	ソーラーパネルの台座となる鉄板部品の製作	
	- 厚さ 1 mm の鉄板をシャーリング（切断機）で切断する。 - バリ（切断等によって生じる、工作物がエッジから突き出た部分）を取る。	 
	鉄板にねじ止め用の穴を穴あけ機で開ける。	 
	設計図の破線部分をバンダー（板金の折り曲げ装置）で折り曲げる。曲げる角度は太陽光パネルの構造を考慮する。	 
	グラインダー（研磨装置）で鉄板の面取りを行い、太陽光パネルに鉄板を取り付ける。	 

2	カメラに接続する配線プラグの変更	
	- ソーラーパネルからカメラに接続する電気配線について、既製品の直線型プラグではカメラから抜けやすく構造上不安定なため、より安定性の高いL字型プラグを購入しつなぎ替える。 - 既存の各プラグの被覆をはがし、購入したL字型プラグのプラスとマイナスの電線を専用の工具で接続させ、さらに保護のためプラチューブで被覆する。	
	- 2で配線プラグを直線型からL字型にしたことに伴い、既製品のカメラケース内に入らなくなるため、ケース（鉄製）の穴をドリルで一部拡張する。	

II 固定カメラ調査

表 14 固定カメラ調査データ

調査計画・準備	カメラ設置期間	2024 年 6 月 29 日~2024 年 12 月 31 日
	目視調査・回収調査日時	2024 年 9 月 3 日 午後 1 時 天気：晴れ (干潮時間：午前 8 時)
	調査対象	2.5 cm 以上の人工ごみ 調査Iでは AI により詳細分類ができないため、総量のみを取得 調査Ⅱ、Ⅲ及びⅣでは、調査海岸の事前踏査で確認した特性を踏まえ、プラスチックボトル、ポリ袋(レジ袋、食品用、業務用など)、苗木ポット、その他人工ごみの 5 種類とする
	飛行の法令規制対応	海岸管理者への固定カメラ設置許可申請
	調査者の役割分担	カメラ設置準備者(金属加工等):1 人 カメラ設置・撤去者:1 人 目視調査:2 名 回収調査:2 名
カメラ設定	カメラの仕様	HykeCam LT4G (Hyke,Inc.)
	撮影時間	毎日 5:00~19:00、1 時間に 1 回
	画素数	4,032 x 3,024 pix
	カメラの設置高度	海岸の地面から 2.7 m
	カメラの角度	+70°
調査の実施	調査設備の設置(測量)	図 18 に標定点 (GCPs) の配置を記載。測量のためトータルステーションを使用した。
	撮影面積	70.933 m ²
画像処理	I. AI によるごみ検出	ごみの被覆面積を推定するために、測量技術を用いた射影変換によって撮影された画像の位置情報の補正を行った。
画像解析	I. AI によるごみ検出とピクセル数の推計	鹿児島大学加古教授の開発した AI により海岸漂着ごみを検出した。
	II. 画像目視によるごみ検出とピクセル数の推計	画像からアノテーションソフト Labelme (the Massachusetts Institute of Technology) を使って目視でごみの部分を囲い、その部分のピクセル数を Python により集計した。



図 18 調査地点における標定点（GCP）の設置



図 19 調査枠の設置の様子

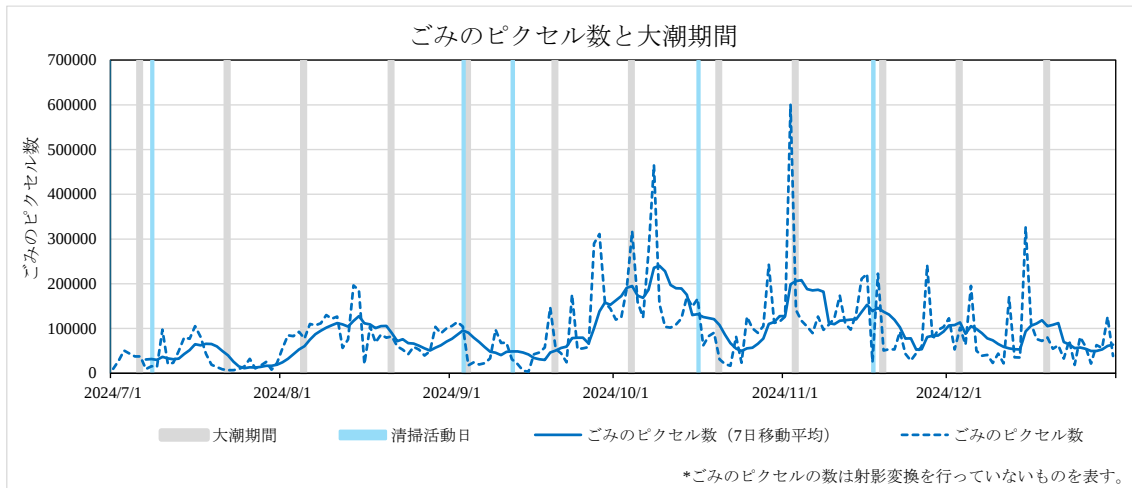


図 20 時系列データ：ごみのピクセル数と大潮期間

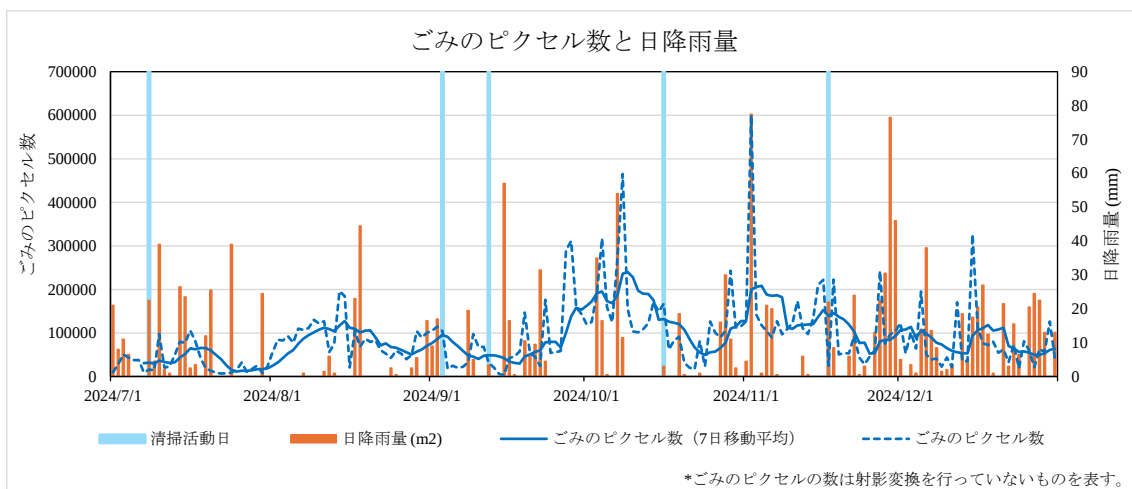


図 21 時系列データ：ごみのピクセル数と日降雨量

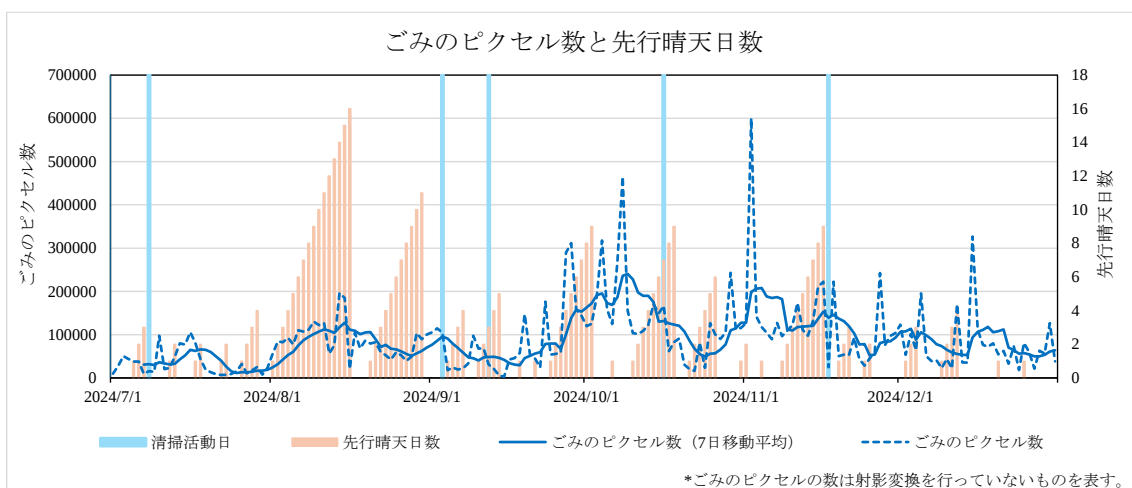


図 22 時系列データ：ごみのピクセル数と先行晴天日数*

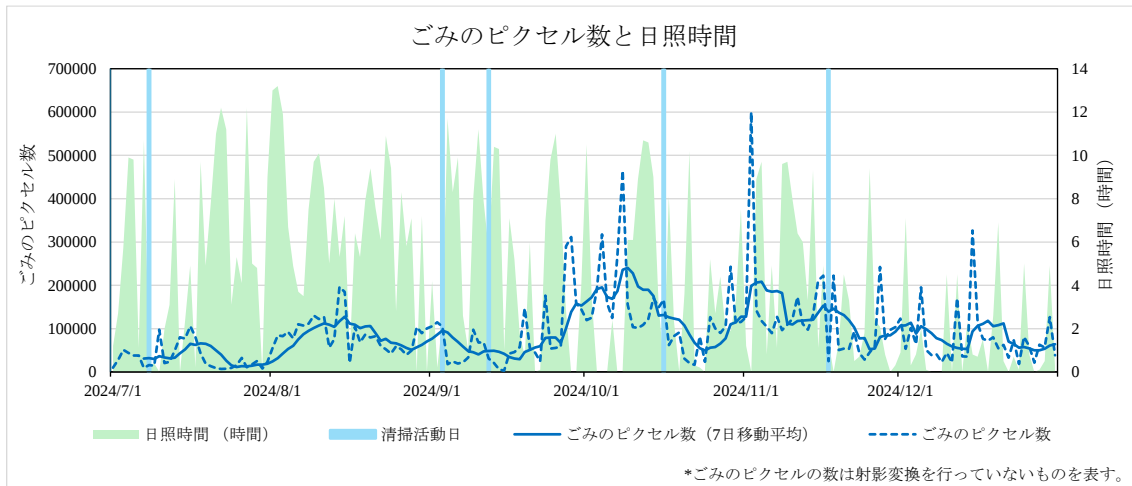


図 23 時系列データ：ごみのピクセル数日照時間

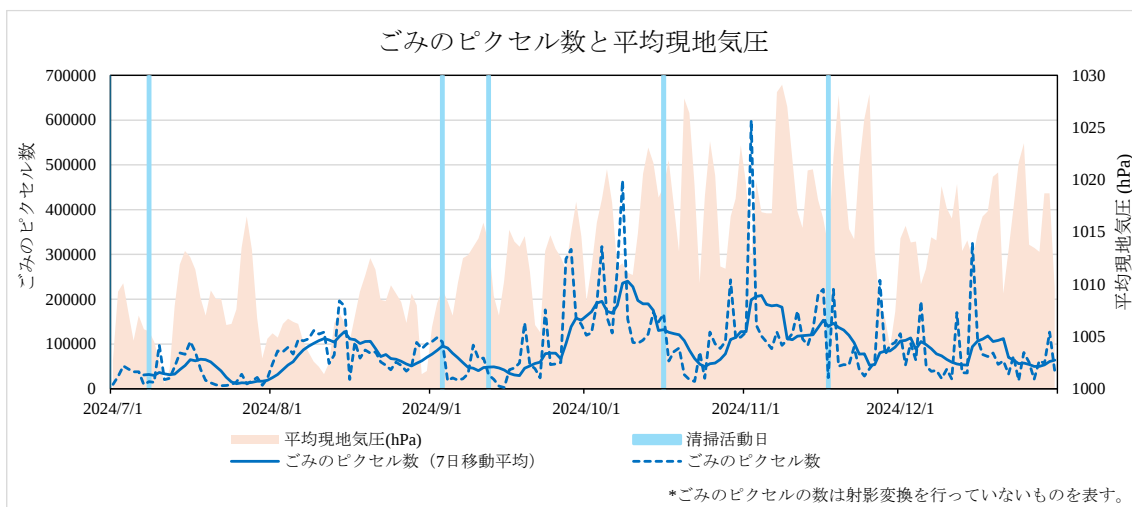


図 24 時系列データ：ごみのピクセル数と平均現地気圧

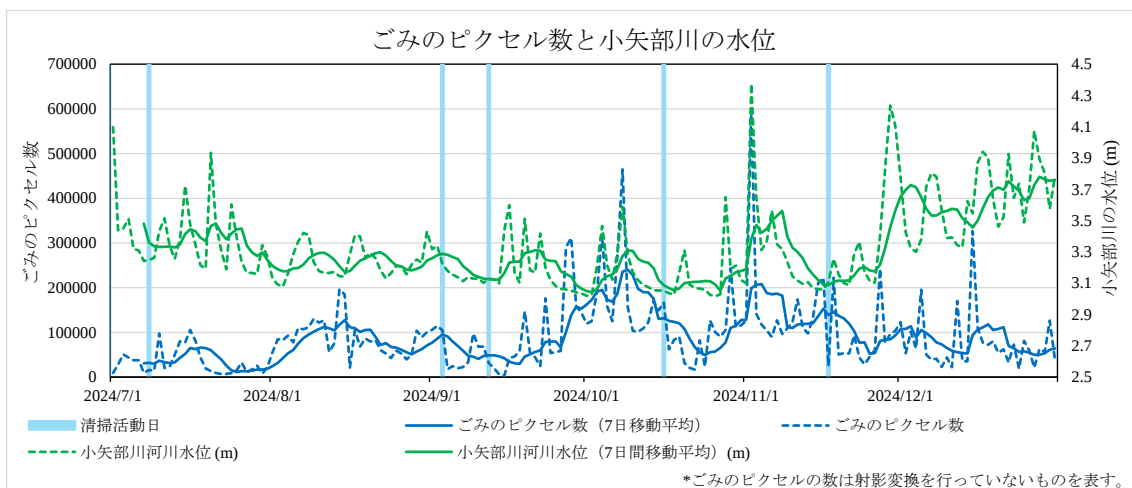


図 25 時系列データ：ごみのピクセル数と小矢部川の水位

表 15 固定カメラ&画像目視（手法Ⅱ）による推定結果と、海岸漂着ごみ回収（手法Ⅳ）の区画別調査結果の比較（調査区画 1）

分類	固定カメラ&画像目視(個)			海岸漂着ごみ回収（Ground truth）（個）	ごみ検出率（画像目視平均値 /Ground truth）
	調査者 α	調査者 β	平均		
プラスチックボトル（ペットボトル含む）	4	4	4	4	1.00
食品容器	5	4	5	8	0.56
ポリ袋（レジ袋、食品用、業務用など）	0	0	0	0	0.00
苗木ポット	1	0	1	1	0.50
その他人工ごみ	54	42	48	52	0.92
合計	64	50	57	65	0.88

備考：

- 1 固定カメラ&画像目視による調査結果は、調査者 2 名の平均により算出した。
- 2 各手法の詳細は別添 B のⅡ及びⅣを参照

表 16 固定カメラ&画像目視（手法Ⅱ）による推定結果と、海岸漂着ごみ回収（手法Ⅳ）の区画別調査結果の比較（調査区画 2）

分類	固定カメラ&画像目視(個)			海岸漂着ごみ回収（Ground truth）（個）	ごみ検出率（画像目視平均値 /Ground truth）
	調査者 α	調査者 β	平均		
プラスチックボトル（ペットボトル含む）	4	2	3	4	0.75
食品容器	1	1	1	21	0.05
ポリ袋（レジ袋、食品用、業務用など）	0	0	0	0	0.00
苗木ポット	2	1	2	5	0.30
その他人工ごみ	106	84	95	155	0.61
合計	113	88	101	185	0.54

備考：

- 1 固定カメラ&画像目視による調査結果は、調査者 2 名の平均により算出した。
- 2 各手法の詳細は別添資料 B のⅡ及びⅣを参照

表 17 固定カメラ&画像目視（手法Ⅱ）による推定結果と、海岸漂着ごみ回収（手法Ⅳ）の区画別調査結果の比較（調査区画 3）

分類	固定カメラ&画像目視(個)			海岸漂着ごみ回収（Ground truth）（個）	ごみ検出率（画像目視平均値 / Ground truth）
	調査者 α	調査者 β	平均		
プラスチックボトル（ペットボトル含む）	4	4	4	9	0.44
食品容器	1	1	1	16	0.06
ポリ袋（レジ袋、食品用、業務用など）	0	0	0	0	0.00
苗木ポット	2	1	2	2	0.75
その他人工ごみ	38	38	38	99	0.38
合計	45	44	45	126	0.35

備考：

- 1 固定カメラ&画像目視による調査結果は、調査者 2 名の平均により算出した。
- 2 各手法の詳細は別添資料 B のⅡ及びⅣを参照

表 18 固定カメラ&画像目視（手法Ⅱ）による推定結果と、海岸漂着ごみ回収（手法Ⅳ）の区画別調査結果の比較（調査区画 4）

分類	固定カメラ&画像目視(個)			海岸漂着ごみ回収（Ground truth）（個）	ごみ検出率（画像目視平均値 / Ground truth）
	調査者 α	調査者 β	平均		
プラスチックボトル（ペットボトル含む）	9	8	9	18	0.47
食品容器	2	0	1	29	0.03
ポリ袋（レジ袋、食品用、業務用など）	0	0	0	1	0.00
苗木ポット	1	1	1	6	0.17
その他人工ごみ	46	45	46	184	0.25
合計	58	54	56	238	0.24

備考：

- 1 固定カメラ&画像目視による調査結果は、調査者 2 名の平均により算出した。
- 2 各手法の詳細は別添資料 B のⅡ及びⅣを参照

III 海岸目視調査

(1) 目合わせ

海岸目視調査に当たり、実際の測定範囲での誤差を減らすために、事前に目合わせ（目視による体積推定の結果と実際のごみのかさ容量を比較する）を2地点で実施した。

表 19 目合わせの結果

	調査員	人工ごみの目視結果 (L)	実際の人工ごみの体積 (L)
地点 A	α	3	20
	β	5	
地点 B	α	11	50
	β	45	

(2) 体積推定結果の比較（手法 II 及び III）

体積の推定は、20 L ごみ袋換算で何袋分のごみが漂着しているのかを、海岸線から 50 m 以内で 5 m 間隔ごとに集めた人工ごみについて実施した。

表 20 固定カメラ&画像目視（手法 II）と、海岸目視（手法 III）の体積推定結果と、海岸漂着ごみ回収（手法 IV）結果の比較（単位：m³）

分類	固定カメラ&画像目視			海岸目視			海岸漂着ごみ回収 (Ground truth)
	調査者 α	調査者 β	平均	調査者 γ	調査者 δ	平均	
人工ごみ 合計	0.040 (0.024-0.048)	0.031 (0.024-0.048)	0.035 (0.024-0.048)	0.14	0.10	0.12	0.074

備考：

- 1 小数点第 4 位を四捨五入
- 2 固定カメラ&画像目視調査結果の括弧内の値については、斜めアングルの撮影画像から体積を推定することによる不確実性を考慮し、幅のある推定値で示した。推定値は、調査海岸の汀線方向の長さが平均約 12 m であるため、表 21 の値を 1.2 倍して使用した（推定方法は表 21 参照）。

表 21 推計ランク表（手法Ⅱで使用）

推定ランク	20 リットルごみ袋数（袋数/10 m）	かさ容量（範囲）（m ³ /10 m）
0	0	0
1	0~1	0~0.02
2	1~8	0.02~0.16
3	8~64	0.16~1.28
4	64~	1.28~（*）

* 愛媛県の事例同様、体積は最大（ランク 4）でも 2.2 m³/10 m とした。

出典：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、日本エヌ・ユー・エス株式会社）

IV 海岸漂着ごみ回収調査

(1) 海岸漂着ごみの回収

2.5 cm 以上の人工ごみ（カキ養殖用まめ管（長さ 1.5 cm）及びたばこ吸い殻（フィルター）を含む）及び自然物（流木、灌木）を人力で回収する。人力で回収できない大型漂着物については、寸法を計測し、体積を推定の上、重量換算した。

海岸漂着ごみの分類

(2) 海岸漂着ごみの分類

本ガイドラインの海岸漂着ごみドローン調査実証試験（別添 1 参照）で使用した分類表について、本実証試験の調査海岸の特性も踏まえて再度整理し（表 22 参照）、その分類表を用いて海岸漂着ごみを分類した。

(3) 海岸漂着ごみの計測

品目ごとに海岸漂着ごみの個数、体積、重量を計測した。また、品目ごとに写真を撮影し、メタデータ（調査日、海岸基質、緯度経度等）と合わせて計測結果をデータシートに記録した。

なお、漂着ごみ組成調査のガイドラインでは、破片類の計数はしないこととなっているが、国際的にはそれらの個数も数えることが多いため、今回はプラスチックの品目については破片類も含めてすべて個数を計測した

表 23 参照)。

表 22 実証試験で使した海岸漂着ごみ回収調査の分類表

大分類	項目	
プラスチック	ボトルのキャップ、ふた	
	ボトル	飲料用(ペットボトル)
		その他のプラボトル
	ストロー	
	マドラー、フォーク、ナイフ、スプーン等	
	食品容器(ファーストフード、コップ、ランチボックス、それに類するもの)	
	ポリ袋(不透明、透明)	
	ライター	
	テープ(荷造りバンド、ビニールテープ)	
	シートや袋の破片	
	硬質プラスチック破片	
	ウレタン	
	浮子(ブイ)(漁具)	
	ロープ・ひも(漁具)	
	アナゴ筒(フタ、筒)(漁具)	
	カキ養殖用まめ管(長さ1.5cm)(漁具)	
	カキ養殖用パイプ(長さ10-20cm)(漁具)	
	漁網(漁具)	
	その他の漁具(漁具)	
	釣具	
	たばこ吸殻(フィルター)	
	生活雑貨(歯ブラシ等)	
	苗木ポット	
	その他	
(発泡スチロール)	発泡スチロール製フロート、浮子(ブイ)	
	発泡スチロールの破片	
	発泡スチロール製包装材	
	その他	
ゴム	ゴム	
ガラス、陶器	ガラス、陶器	
金属	金属	
紙、ダンボール	紙、ダンボール	
布類	布類	
木(木材等)	木(木材等)	
電化製品、電子機器	電化製品、電子機器	
自然物	自然物	
その他	その他(燃えがら)	
人力で動かせない物	緯度:	経度: ごみの種類()

※ 赤字は国内の調査ガイドラインからの変更箇所を示している。

表 23 海岸漂着ごみ回収調査結果

大分類	項目	個数	容量(L)	重量(kg)
プラスチック	ボトルのキャップ、ふた	58	1.15	0.181
	ボトル	飲料用(ペットボトル)	0	0
		その他のプラボトル	0	0
	ストロー	5	0.021	0.006
	マドラー、フォーク、ナイフ、スプーン等	0	0	0
	食品容器(ファーストフード、コップ、ランチボックス、それに類するもの)	74	10.87	0.697
	ポリ袋(不透明、透明)	1	0.4	0.029
	ライター	10	0.39	0.13
	テープ(荷造りバンド、ビニールテープ)	31	2.01	0.045
	シートや袋の破片		4.2	0.171
	硬質プラスチック破片		14.1	1.289
	ウレタン	31	2.1	0.234
	浮子(ブイ)(漁具)	0	0	0
	ロープ・ひも(漁具)	0	0	0
	アナゴ筒(フタ、筒)(漁具)	0	0	0
	カキ養殖用まめ管(長さ1.5cm)(漁具)	0	0	0
	カキ養殖用パイプ(長さ10-20cm)(漁具)	0	0	0
	漁網(漁具)	0	0	0
	その他の漁具(漁具)	0	0	0
	釣具	0	0	0
	たばこ吸殻(フィルター)	2	0.001	0.002
	生活雑貨(歯ブラシ等)	8	0.68	0.063
	苗木ポット	14	3.1	0.098
	その他	107	19.3	0.735
(発泡スチロール)	発泡スチロール製フロート、浮子(ブイ)	0	0	0
	発泡スチロールの破片	0	6.05	0.915
	発泡スチロール製包装材		0	0
	その他	218	7.5	0.242
ゴム	ゴム	4	0.037	0.07
ガラス、陶器	ガラス、陶器	2	0.3	0.167
金属	金属	1	0.4	0.035
紙、ダンボール	紙、ダンボール	1	0.001	0.001
布類	布類	0	0	0
木(木材等)	木(木材等)	0	0	0
電化製品、電子機器	電化製品、電子機器	0	0	0
自然物	自然物	0	0	0
その他	その他(燃えがら)	12	0.85	1.047
人力で動かせない物	緯度: 経度: ごみの種類()	0	0	0
合計		579	73.46	6.157