

附属書 各リモートセンシング技術におけるモニタリング/調査の計画・準備・実施等、並びに調査データの解析及び公開

目次

セクション I 各リモートセンシング技術におけるモニタリング/調査の計画・準備・実施等 I-1

1.1 ドローンを用いた海岸漂着ごみ調査手法 I-1

1.1.1 調査の計画・準備 I-3

1.1.2 調査の実施 I-25

セクション II 調査データの解析及び公開 II-1

2.1 データ解析 II-1

2.1.1 画像からの海岸漂着ごみの検出 II-1

2.1.2 海岸漂着ごみの定量化 II-3

2.2 データの公開 II-5

2.2.1 データの単位 II-5

2.2.2 データの公開 II-6

セクション I 各リモートセンシング技術におけるモニタリング/調査の計画・準備・実施等

1.1 ドローンを用いた海岸漂着ごみ調査手法

本附属書の 1.1 では、ガイドライン本体に記載した共通事項を踏まえたうえで、環境中のごみの中でも特に海岸（砂丘）のごみを対象として、多様な団体が様々な調査目的でドローンを用いたモニタリングないし調査（以下、本附属書においては「調査」という）を行うことを想定している。

本項では、各項目について表 1 に示す 16 件の参考文献及び専門家等へのアンケート結果を参考に、既に行われている調査事例をもとに整理した共通の手順、及び調査結果の比較の観点から可能な限り標準化が望ましい推奨事項を記載している。

本附属書に準拠した調査手法で行った海岸漂着ごみに関する実証試験の結果については、別添 1：ドローンを活用した海岸漂着ごみ調査の実証試験結果にて示す。

表 1 ドローンを用いた主な海岸漂着ごみ研究事例

文献情報
Andriolo, U., Gonçalves, G., Bessa, F., Sobral, P. (2020a). Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: a showcase on the Atlantic Coast. <i>Sci. Total Environ.</i> 736.
Andriolo, U., Gonçalves, G., Sobral, P., Font an-Bouzas, A., Bessa, F. (2020b). Beach-dune morphodynamics and marine macro-litter abundance: an integrated approach with Unmanned Aerial System. <i>Sci. Total Environ.</i> 749, 141474.
Andriolo, U., Gonçalves, G., Sobral, P., Bessa, F. (2021). Spatial and size distribution of macro-litter on coastal dunes from drone images : a case study on the Atlantic coast. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 169, 112490.
Bao, Z., Sha, J., Li, X., Hanchiso, T., Shifaw, E. (2018). Monitoring of beach litter by automatic interpretation of unmanned aerial vehicle images using the segmentation threshold method. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 137, 388–398.
Deidun, A., Gauci, A., Lagorio, S., Galgani, F. (2018). Optimising beached litter monitoring protocols through aerial imagery. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 131, 212–217.
Escobar-Sánchez, G., Haseler, M., Oppelt, N., Schernewski, G. (2021). Efficiency of aerial drones for macrolitter monitoring on baltic sea beaches. <i>Front. Environ. Sci.</i> 8, 1–18.
Fallati, L., Polidori, A., Salvatore, C., Saponari, L., Savini, A., Galli, P. (2019) Anthropogenic Marine Debris assessment with Unmanned Aerial Vehicle imagery and deep learning: a case study along the beaches of the Republic of Maldives. <i>Sci. Total Environ.</i> 693, 133581.
Gonçalves, G., Andriolo, U., Pinto, L., Bessa, F. (2020). Mapping marine litter using UAS on a beach-dune system: a multidisciplinary approach. <i>Sci. Total Environ.</i> 706.
Hengstmann, E., Fischer, E.K. (2020). Anthropogenic litter in freshwater environments – study on lake beaches evaluating marine guidelines and aerial imaging. <i>Environ. Res.</i> 189.
Kako, S., Morita, S., Taneda, T. (2020). Estimation of plastic marine debris volumes on beaches using unmanned aerial vehicles and image processing based on deep learning. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 155, 111127.
Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X., McCabe, M.F., Duarte, C.M. (2018). Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 131, 662–673.
Martin, C., Zhang, Q., Zhai, D., Zhang, X., Duarte, C.M. (2021). Enabling a large-scale assessment of litter along Saudi Arabian red sea shores by combining drones and machine learning. <i>Environ. Pollut.</i> 277, 116730.
Merlino, S., Paterni, M., Berton, A., Massetti, L. (2020). Unmanned aerial vehicles for debris survey in coastal areas: long-term monitoring programme to study spatial and temporal accumulation of the dynamics of beached marine litter. <i>Rem. Sens.</i> 12, 1260.
Papakonstantinou, A., Batsaris, M., Spondylidis, S., Topouzelis, K. (2021). A Citizen Science Unmanned Aerial System Data Acquisition Protocol and Deep Learning Techniques for the Automatic Detection and Mapping of Marine Litter Concentrations in the Coastal Zone. <i>Drones.</i> 5(1):6.
Taddia, Y., Corbau, C., Buoninsegni, J., Simeoni, U., Pellegrinelli, A. (2021). UAV Approach for Detecting Plastic Marine Debris on the Beach : A Case Study in the Po River Delta (Italy) 1–18. <i>Drones.</i> 5(4), 140.
Takaya, K., Shibata, A., Mizuno, Y., Ise, T. (2022). Unmanned aerial vehicles and deep learning for assessment of anthropogenic marine debris on beaches on an island in a semienclosed sea in Japan. <i>Environ. Res. Commun.</i> 4, 015003,

1.1.1 調査の計画・準備

(1) 調査目的の設定

- 調査計画は調査目的に依存するため、初めに調査目的を明確にすることが重要である。
- 調査目的、調査手法の選定方法、各種政策課題に対処するためのモニタリング手法の例は、本体ガイドライン「**CHAPTER II モニタリングの目的と調査方法の選定**」参照

(2) 調査の流れ

- 調査計画の立案から画像解析までのおおまかな流れを以下に示す。ステージ 1 及び 2 はガイドライン附属書のセクション I、ステージ 3 及び 4 は附属書のセクション II に該当している。

ステージ 1 調査の計画・準備

- ・ 調査対象ごみの決定
- ・ 飛行規制等の法規制を考慮した調査地の選定
- ・ 調査時期の決定
- ・ 法的要件の確認及び必要な手続きの実施
- ・ 作業員の確保
- ・ 機材準備
- ・ ドローンの設定



ステージ 2 ドローンによる現地調査の実施

- ・ 調査範囲の確定
- ・ 天候の確認
- ・ 調査機材の設置（対空標識、RTK 機材等）
- ・ 安全確認
- ・ 計測
- ・ データの記録



ステージ 3 画像処理・解析

- ・ デジタルサーフェスモデルとオルソ画像の作成
- ・ オルソ画像や単一画像からのごみの検出（手動・自動）



ステージ 4 結果の評価

- ・ 環境中のごみ特性の把握（個数、種類、素材、大きさ等の分析）
- ・ マッピング等による空間分布把握（分布面積、密度、集積場所等）

(3) 調査対象

(A) ごみの大きさ

- 調査目的を考慮して、どのような大きさのごみを対象とするか決定する。過去の研究事例における調査目的ごとのごみの対象サイズの事例を表 2 に示す。
- EU（European Commission 2013）、NOAA（Burgess et al. 2021）、GESAMP（GESAMP 2019）、日本（環境省 2023）にて公開している既存の海岸漂着ごみ調査ガイドラインにおいては、一般的にマクロごみに該当する 2.5 cm 以上のごみが調査対象となっていることから、既存の調査との比較可能性を考慮すると 2.5 cm 以上のごみを対象とすることが推奨される。
- ただし、調査対象サイズの下限值について、ドローンの飛行高度と調査範囲の広さに関係する点は、あらかじめ留意が必要である。一般的に、より低い飛行高度で画像撮影を行えばより高解像度の画像を得ることができ、それによってより小さなごみを見分けることが可能となる。しかし、飛行高度が低くなれば画像 1 枚当たりの撮影範囲が狭くなるため、ドローンのバッテリー 1 セット当たりの飛行可能範囲も狭くなる。

表 2 調査目的ごとのごみの対象サイズ範囲の例

調査目的	ごみの対象サイズ (cm)	備考
海岸漂着ごみ量の把握（個数、体積、密度）	2.5-25	対象サイズの下限値が小さいほど、精度の高い推定が可能。
海岸漂着ごみ種類の把握	2.5-5	対象サイズの下限値が大きいと、種類の把握は困難
海岸漂着ごみの挙動（特に空間分布）の把握	2.5-25	対象サイズが小さいほど、精度の高い推定が可能。ただし、ごみが集積している場所については、ごみが隣接して塊のように見えることもあるため、対象サイズの下限値が大きくても特定できる可能性がある。
海岸漂着ごみの挙動（特に時間分布）の把握	2.5-5	対象サイズが小さいほど、精度の高い推定が可能

■ポイント

既存の調査との比較可能性を考慮すると、調査対象とすることごみは 2.5 cm 以上であることが推奨される。

(B) 調査対象の種類

- 海岸漂着物の調査では、人工ごみだけでなく自然物も調査対象とする場合がある。
- 例えば日本では、流木等が船の航行や海岸の景観に影響を与えることがあるため、漂着ごみ組成調査の対象品目となっている。
- 別添 1 に示す実証試験においても、流木等の自然物を対象とした。詳細は別添 1 を参照されたい。

(C) 分類

- 人工ごみの種類の特定が調査目的に含まれる場合には、どのようなごみを分類したいかあらかじめ整理することが推奨される。
- 表 3 では、本ガイドライン・附属書を用いたドローン調査で基本とする人工ごみの分類と、各品目における EU (European Commission 2013)、OSPAR (OSPAR Commission 2010)、UNEP (Cheshire et al. 2009)、NOAA (Burgess et al. 2021)、日本 (環境省 2023) のガイドラインとの対応を示している。
- 表 3 の品目は、上記の各種海岸漂着ごみ調査のガイドラインにて分類品目となっているごみであり、世界的にも頻出であることから、他調査との比較の観点からも調査を行うことが推奨される。ただし、食品包装、ライター、たばこは、サイズが小さく現時点では判別が難しいおそれがあるため、必ず分類する必要がある品目ではない。また、その他にも画像解像度の関係で分類できないものがある場合には、分類可能な品目のみ分類を行うこと。
- その他、調査地域で課題となっているごみや、調査地域で行われている既存調査との比較可能性を考慮して、最終的なごみの分類を決定する。

表3 分類品目案及び他のガイドラインとの対応

分類品目案		他のガイドラインとの対応				
レベル1	レベル2	EU_海岸での調査品目 (品目コード及び品目名)	OSPAR (品目コード及び品目名)	UNEP (品目コード及び品目名)	NOAA (品目名)	日本 (品目名)
プラスチック	キャップ、ふた	G21-G24 (Plastic caps/lids drinks, Plastic caps/lids chemicals, detergents (non-food), Plastic caps/lids unidentified, Plastic rings from bottle caps/lids)	15 (Caps/lids)	PL01 (Bottle caps & lids)	Bottle or container caps	ボトルのキャップ、ふた
	飲料用ボトル	G7-G8 (Drink bottles <=0.5L, Drink bottles >0.5L)	4 (Drinks (bottles, containers and drums))	PL02 (Bottles < 2 L)	Beverage bottles	飲料用 (ペットボトル) < 1L、 飲料用 (ペットボトル) ≥ 1L
	レジ袋	G3 (Shopping Bags incl. pieces)	2 (Bags (e.g. shopping))	PL07 (Plastic bags (opaque & clear))	Bags	レジ袋
	フロート、ブイ	G62, G63 (Floats for fishing nets, Buoys)	37 (Floats/Buoys)	PL14 (Plastic buoys)	Buoys and floats	プラスチック製浮子 (ブイ) (漁具), 発泡スチロール製フロート、浮子 (ブイ)
	漁網、ロープ、ひも (漁具以外のロープ、ひもも含む)	G49, G50, G52-G54, G56 (Rope (diameter more than 1cm), String and cord (diameter less than 1cm), Nets and pieces of net, Nets and pieces of net < 50 cm, Nets and pieces of net > 50 cm, Tangled nets/cord)	31, 32, 33, 115, 116 (Rope (diameter more than 1 cm), String and cord (diameter less than 1 cm), Tangled nets/cord/rope and string, Nets and pieces of net < 50 cm, Nets and pieces of net > 50 cm)	PL19, PL20 (Rope, Fishing net)	Rope and nets	ロープ、ひも (漁具), 漁網 (漁具)
	食品包装*	G3 (Crisps packets/sweets wrappers)	—	—	Food wrappers	食品の容器包装
	ライター*	G26 (Cigarette lighters)	16 (Cigarette lighters)	PL10 (Cigarette lighters)	Disposable lighters	ライター
	たばこ*	G27 (Cigarette butts and filters)	64 (Cigarette butts)	PL11 (Cigarettes, butts & filters)	Cigarettes	たばこ吸殻 (フィルター)
ゴム	—	—	—	—	—	—
布類	—	—	—	—	—	—
紙	—	—	—	—	—	—
木材	—	—	—	—	—	—
金属	—	—	—	—	—	—
ガラス	—	—	—	—	—	—

*サイズが小さく現時点では判別が難しいおそれがあるため、必ず分類する必要がある品目ではない。ただし、今後の技術発展により判別できるようになる可能性がある。

(4) 調査地

(A) 調査地域

- 調査地域の選定に当たっては、以下の点を確認すること。
 - ・ ドローンが飛行可能な環境条件であるか（風、雨、気温、湿度、雲霞、潮汐、太陽光の状態）
 - ・ ドローンの飛行が法的に可能か（飛行の可否、飛行高度制限、無線（電波）の規程、申請の要否）
 - ・ 現地への機材搬入又は機材調達の可否
 - ・ 位置情報が受信可能な環境か
 - ・ 地域住民とのトラブル等がないか（可能であれば、地域住民の協力が得られると望ましい）
- なお、遠方で調査を行う場合にはドローンを輸送する場合があるが、大容量バッテリーの場合は空輸できないことがあるため、陸送や海上輸送する必要がある。その場合、到着まで時間がかかるため、スケジュールに余裕を持つ必要がある点に留意すること。

(B) 調査対象海岸

- 既に調査を行いたい海岸が調査目的により定まっている場合には、下の (iii) - (viii) を確認の上、調査が実施可能か確認する。
- 調査を行いたい海岸が定まっていない場合には、下の (i) - (viii) を確認の上、調査海岸を選定する。
- 事前確認の方法としては、衛星画像等から情報を得るほか、近隣の住民へのヒアリングや、事前踏査で確認することも考えられる。
 - (i) 海岸の立地が調査目的と合致しているかどうか：例えば、河川から直接流入するごみについて把握するならば河口付近である必要がある。一方で、海流による影響が知りたければ、大きな河口からは離すことが望ましい。
 - (ii) ごみの種類が調査目的に合っているかどうか：海岸の向きや傾斜により、漂着しやすいごみの種類や、漂着しやすい季節が異なる。
 - (iii) 海岸が自然保護区域であるかどうか：海岸の自然価値が高く保護区等に指定されている場合には、調査に別途許可が必要な場合や、立ち入りに注意が必要な場合がある。また、観光価値が高い海岸では人の立ち入りが多いことが予想されるため、ドローンの飛行に注意が必要である。
 - (iv) アクセス可能かどうか：ドローン調査のみを行う場合には必ずしも海岸に調査者が立ち入る必要はないが、調査前に目視で海岸の安全確認ができることが望ましい。
 - (v) 調査可能な地形かどうか：後背地に崖がある海岸は、GPS 等の電波が遮断される可能性や、機体が崖と接触する危険があるため、適切な場所ではない。やむを得ずそのような海岸で調査を実施する場合には、安全のため崖から 10 m-20 m 以上離して飛行することを推奨する。また、調査地の真上に後背地から突き出た植物がある場合、ドローン画像から海岸が視認できなくなるため、斜め方向から撮影する必要がある。
 - (vi) 海岸基質：いずれの海岸基質でも調査可能だが、礫浜では礫と同サイズ以下のごみを画像解析において区別することが難しいことがあるため、調査対象のサイズ下限値によっては避ける必要がある。また、大きな岩が多い海岸では、ごみが岩の陰に隠れてしまい、ドローンの画像から見つけるのが難しい場合があるため、事前にテスト飛行等により調査目的を達成できるか確認することが考えられる。

- (vii) 清掃がなされる海岸か：清掃直後にはごみが無く、目的の結果が得られない場合もあるため、清掃の頻度や時期を事前に確認しておくが良い。
- (viii) ドローンの飛行が可能か：人口密集地の周辺や空港の近くではドローンの飛行が禁止されている場合がある。事前に調査地域の法的規制を確認しておくこと。

(C) 調査範囲

- 調査目的及び以下の点を考慮して、調査範囲を決定する。なお、既存の事例における調査目的ごとの調査範囲は表 4 に示す。
 - ・ ドローンのバッテリー1 セット当たりの飛行可能範囲と、用意可能なバッテリーセット数
 - ・ データの保存可能容量
 - ・ データ処理にかかる時間及び労力
 - ・ 既存の調査との比較可能性
 - ・ 調査スケジュール
 - ・ 回収調査等の他の調査との兼ね合い
- 調査は必ずしも海岸の全域で実施するケースだけでなく、利用頻度の高い範囲のみの調査や、過去の調査と調査範囲をそろえるケースもある。海岸の全域を調査するかどうかは調査の目的によるため、表 4 に示す過去の事例を参照して検討する。
- なお、手動でドローンの飛行操作を行う場合でも、漂着密度等を他の調査結果と比較することを想定し、あらかじめ調査範囲の広さは定めておくこと。
- また、ドローンの離着陸地点を事前に想定し、離着陸地点から調査地点までの往復飛行時間を含めて十分な飛行時間を確保できるよう計画する。特に離着陸地点から調査地までが離れている場合、ドローンが海上等に墜落する危険性もある。例えば、飛行可能時間が 30 分のドローンであれば、離着陸地点から調査地までの距離が 15 分以上離れていれば調査を行うことは不可能である(Kako et al. 2024)。

表 4 調査の目的と調査範囲の例

調査目的	調査範囲			備考
	海岸全体かどうか	汀線水平方向の長さ (m)	汀線垂直方向の長さ (m)	
海岸漂着ごみの把握 (個数、体積、密度)	海岸の一部のみ	100-1,000	20-800	ある海岸の漂着ごみを把握したい場合、海岸の全域を調査する手法と、海岸の中でも漂着量が代表的な場所のみを調査し、全体の漂着量を概算する手法が考えられる。
	海岸全体	200-5,000	20-2,500	
海岸漂着ごみの種類の把握	海岸の一部のみ	50-500	50-202	ある海岸の漂着ごみの種類を把握したい場合には、海岸の一部のみを調査することでその海岸の漂着ごみの種類をほとんど網羅できる。この場合に必要な調査範囲の長さは海流等の影響から地域により異なるため、各地域で用いられている既存の海岸漂着ごみ組成調査の調査範囲と統一することが考えられる。
海岸漂着ごみの挙動（特に空間分布）の把握	海岸の一部のみ	95-1000	20-800	海岸漂着ごみの空間分布の把握に当たっては、分布を知りたい範囲全域を調査する必要がある。
	海岸全体	60-5000	20-2500	
海岸漂着ごみの挙動（特に時間分布）の把握	海岸の一部のみ	100-1000	15-120	海岸漂着ごみの時間変動の把握に当たっては必ずしも広い調査範囲を設ける必要はなく、高頻度で調査可能な範囲を選択することが考えられる。

(5) 調査の時期、時間

(A) 調査頻度

- 調査目的を踏まえて調査頻度を決定する。過去の文献及びアンケートでの調査目的ごとの調査頻度の事例を表5に示す。

表5 文献及びアンケート調査における調査頻度

目的	調査頻度			備考
	ランダム (1年に13回程度)	季節ごと (34か月に1回程度)	高頻度 (12週間に1回程度)	
海岸漂着ごみの種類の把握				どのような頻度でも実施することができるが、定期的に行うことで時間変動も把握することができる。
海岸漂着ごみの挙動（特に空間分布）の把握				
海岸漂着ごみ空間分布の把握				
海岸漂着ごみの挙動（特に時間分布）の把握				海岸漂着ごみの時間分布を把握するためには、統計分析を行うために多くのデータが必要となる。そのため、できるだけ高頻度での調査が推奨される。

■過去の文献及びアンケート調査にて、調査が実施された実績のある調査頻度を示す。

(B) 調査時期

- 以下の点を考慮して調査時期を決定する。
 - 調査目的に合致しているか
 - 季節：季節風の影響により、海岸漂着ごみの量には季節変動がある場合がある。そのような場合において、年間漂着量の最大値を知るには、漂着量が最も多くなる季節を選択する必要がある。どの季節に漂着量が多くなるかは、海岸の向きや季節風の変動により各海岸で異なるため、事前に文献や現地踏査で確認することが望ましい。
 - 波浪：台風等による波浪後は海岸漂着ごみの量や組成が大きく変化する。例えば年間漂着量の最大値や波浪による影響を知りたいのであれば波浪後の調査が推奨されるが、海岸漂着ごみの定常状態を知りたいのであれば波浪直後は調査を控えることが望ましい。
 - 清掃：清掃が行われる海岸の場合、清掃直後はごみが少なくなる。清掃の効果検証が目的であれば清掃の前後に調査を行うことも可能だが、漂着ごみの定常状態を知ることが目的であれば清掃直後は控えることが望ましい。単位時間当たりのごみの蓄積及び流出量をあらかじめ調査し、清掃後に定常状態となるまでの期間を確認することも考えられる。
 - ドローンの飛行が可能かどうか
 - 他の海岸利用者がいない：調査範囲内に第三者がいる場合には、安全のためドローンの飛行を控えることが望ましい。そのため、他の海岸利用者がいない時期、あるいは時間を選択する必要がある。
 - 調査可能な天候が存在する季節：雨天時や強風時はドローンの飛行が行えないことから、ドローンの飛行が可能な天候が存在する季節を選択する必

要がある。

- なお、既存研究事例における調査月及びアンケート調査における調査季節を図 1 及び図 2 に示す。図 1 の調査は全て北半球で行われたものであり、国により若干季節が異なるが、初夏及び秋から冬頃にかけての調査が多い。図 2 を見ると、どの季節でもほぼ偏りなく調査が行われている。冬季の調査が他の季節より若干少ないが、積雪や強風等の気候の影響等が考えられる。

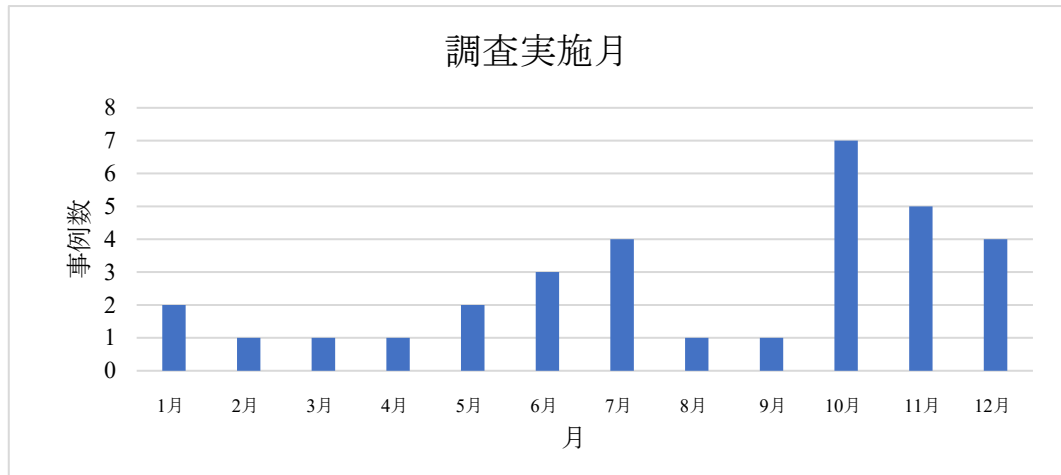


図 1 既存研究事例における調査月

備考：1 つの研究事例において複数の月に調査が実施されていた場合には、両方の月に計上した（文献数：16 件、総事例数：32 件）

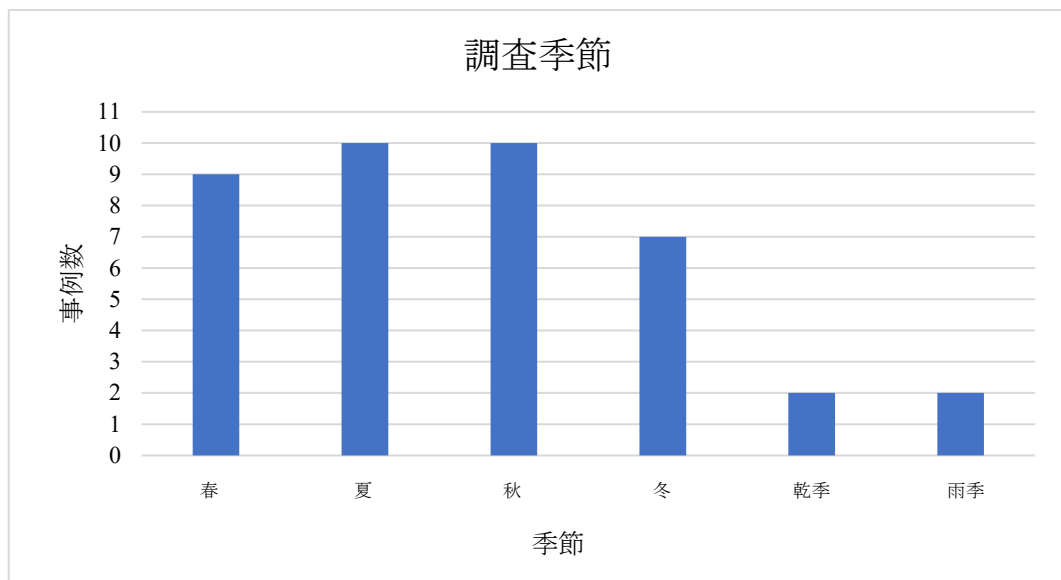


図 2 アンケート調査結果における調査季節

備考：1 つの回答に複数の季節が含まれる場合には、両方の季節に計上した（アンケート回答数：16 人、総事例数：40 件）。

(C) 調査時間帯

- ドローンで撮影した画像からごみが識別できるよう、撮影は昼間の明るい時間帯に行う必要がある。
- ただし、海岸の後背地の樹木等による影がある場合や、日差しが強くごみが太陽光

を反射して白く光ってしまう場合には、ごみの識別に影響が出る可能性がある。過去の事例では、影を減らすために正午に撮影を行っている事例や、太陽光の反射の影響を抑えるために朝や夕方に撮影を行う事例もあるが、どの時間帯が適しているかは環境条件により異なるため事前に調査地を確認すること。

- なお、満潮・干潮の時間や、潮汐の幅については、調査機材の設置場所や調査範囲に係るため事前に確認しておくこと。例えば干潮から満潮にかけての時間帯に調査を行う場合、水際に調査機材を置くと調査中に潮が満ちて水没してしまう可能性がある。また、調査目的によっては、干潮又は満潮にあわせて調査を行うことも考えられる。
- 調査時刻及び潮汐に関するアンケートの結果は表 6 に示す。

表 6 アンケート調査結果における調査時間帯

事例番号	調査時刻とその時刻を選択した理由	潮汐
1	影を最小にするために太陽高度を最大にし、調査範囲の面積を最大にするために干潮時を組み合わせる。	干潮時
2	満潮時の調査を避けたかったため、干潮時であることを基準に時間を決定した。	干潮時
3	優先順位なし	考慮しない
4	画像の明るさや、作業許可の都合上、10時-14時に実施した。	考慮しない
5	午前 8 時か 9 時頃が多い。同時並行で実施する小学生の調査は 9-10 時頃から始まるので、子どものいない時間帯を選んでいく。	考慮しない
6	終日	考慮しない
7	-	干潮時
8	影ができにくい正午前後を選択した。	考慮しない
9	影ができにくい正午前後を選択した。	考慮しない
10	影ができにくい正午前後を選択した。	干潮時
11	太陽光の入射角の関係で真昼ではない時間帯を選択した。	干潮時
12	干潮時や、太陽光の反射を避けられるような時間を選択した。	干潮時
13	-	考慮しない
14	入射日射量を最大にし、良好な SNR ^{*1} を得るために真昼とした。	干潮時
15	クリアな EMR ^{*2} スペクトルを得るために午前 10 時から午後 3 時まで実施した。	満潮時、干潮時
16	-	考慮しない

*1 Signal to noise ratio, 信号対雑音比

*2 Electromagnetic Radiation, 電磁放射

(6) 必要な行政手続きの実施

- ドローンの飛行や、海岸の利用に関する許可申請を行う。国や地方公共団体等により異なる法規制が存在することや、使用するドローンの重量や飛行方法、飛行場所（海の上か、陸の上か）により必要な申請が異なるため、あらかじめ確認の上で必要な申請を行い、法規制に則り調査を行うこと。また、ドローンの機体登録等が必要な場合には、あらかじめ登録すること。
- 過去に行われた許可申請の事例については表 7 に示す。
- なお、国や地域で定められた申請以外にも、漁業関係者等の地域住民へあらかじめ調査の周知を行うことで、円滑に調査を行える場合もある。

表7 アンケート調査結果における許可申請等の事例 (1/2)

事例番号	手続きの目的	手続き先機関	左記で「公的機関」と回答した場合の具体的な機関名	許可申請の際に注意した点、注意すべきと考えられる点
1	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	公的機関	University of Coimbra and Institute for Engineering Systems and Computers at Coimbra (INESC-Coimbra)	ドローンの重量と飛行クラス。現在の EU 認証では、研究目的での使用に多くの制限が設けられる可能性がある。クラス A1-A1-A3 クラス ^{*1} 以外での飛行は、研究目的では事実上不可能かもしれない。
2	手法を確立するため	公的機関、科学機関	INESC Coimbra, University of Coimbra, Portugal	ドローンのセットアップの専門家に回答を委ねたい。
3	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	公的機関	University of the Aegean	通常の国内規制
4	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため、関係者への作業周知	公的機関、漁業団体	町役場	通常の手続きに加え、特に漁協組合はドローンなどに関する知識や過去の類似の対応経験がなく、どのようなことをするのかの説明や当日の作業時間、作業箇所の詳細な情報提供が重要であるというところに注意が必要であった。海岸を対象とする場合、海の上を飛行させるのか、陸地のみを対象とするのかによって関係者が異なることがあるため留意が必要である。また、漁業関係施設付近を飛行させることにもなるので、地元住民（漁業関係者）への周知徹底を行うことが円滑な作業においては重要であると考えられる。
5	ドローンの飛行許可を得るため	公的機関	大阪航空局	DIPS2.0 ² では目視外飛行の承認書の取得に苦労した。当団体はレンタルドローンを使用しているため、所有者であるレンタル会社「機体情報の共有手続き」を行ってもらわないと DIPS2.0 の申請手続きを進めることができなかった。
6	ドローンの飛行許可を得るため	公的機関	Research in Svalbard portal	鳥類やその他の動物との接触を避ける。
7	-	-	-	-
8	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	公的機関	Istituto di Scienze Marine e Istituto di Fisiologia Clinica, both of CNR (Italian Council of Research)	無人航空機の運航に関する飛行規則と手順を遵守する（ENAC ³ は 2021 年 1 月 4 日、加盟国の責任となる事項を規定した 2020 年 12 月 31 日から適用される UAS-IT 規則を発表した）。市街地までの距離を考慮し、それに基づいて（許可される）飛行高度を決定する。その地域に機密性の高い活動（軍事基地など）があるかどうかを確認する。
9	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	公的機関	国土交通省	国土交通省のガイドラインがあるので、それに従った。 https://www.mlit.go.jp/koku/drone/ https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/
10	ドローンの飛行許可を得るため、画像収集のためのドローンの使用許可を得るため	公的機関、研究開発ユニット、EU プロジェクト	Universidade da Madeira, Regional Directorate of Environment and Climate Change, MARE-Madeira R&D unit	パイロットの資格証明書、保険証書、ドローン登録証などを提出する。
11	ドローンの飛行許可を得るため	公的機関	ANN - Autoridade Aeronáutica Nacional	調査を依頼する場所が飛行禁止区域ではないことに留意すること

表7 アンケート調査結果における許可申請等の事例 (2/2)

事例番号	手続きの目的	手続き先機関	左記で「公的機関」と回答した場合の具体的な機関名	許可申請の際に注意した点、注意すべきと考えられる点
12	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	公的機関	Government、Research entities	-
13	-	-	-	-
14	ドローンの飛行許可を得るため	地権者、地方空港当局	-	通常、リスクアセスメントが必要である。
15	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	政府研究機関	-	国家の安全を守るため、DGCA ^{*4} -民間航空のガイドラインに従った。
16	ドローンの飛行許可を得るため、海岸の使用許可を得るため	公的機関	NASA、USGS、UoG	-

*1 EU 規則 2019/947 及び 2019/945 は、欧州の空における民間ドローンの安全な運用の枠組みを定めている。民間ドローンの運用には、「オープン」、「特定」、「認定」の3つのカテゴリーが定義されている。「オープン」カテゴリーは、民間ドローンの運航者がその意図する運航に関連する要件を遵守していれば安全が確保されるような、より低リスクの民間ドローン運航に対応するものである。このカテゴリーは、A1、A2、A3の3つのサブカテゴリーに細分化される。(European Union Aviation Safety Agency ウェブサイト「Operating a drone」
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone> より引用)

*2 ドローン情報基盤システム 2.0

*3 イタリア民間航空局

*4 インド民間航空総局

(7) 作業員

- 調査には以下のような役割分担が必要である。同一の者が複数の役割を担うことも可能だが、各作業者に過度な負担がかからないよう配慮する。なお安全のためドローン機体を常時監視する必要があることから、最低2名の調査員が必要となる。
 - ・ 現場班長：調査における作業責任者。現場の作業員の作業内容や配置状況について把握・管理し、状況に応じた指示や対応を行う。
 - ・ ドローン操縦者：現場班長の指示に従いドローンの操縦を行う。
 - ・ 整備者：ドローンの飛行前後の機体の整備や、必要に応じた部品の交換等の作業を行う。
 - ・ モニター監視者：ドローン飛行中にモニターによりドローンの状態を常に監視する。ドローンの飛行位置、回転翼の状態、バッテリー残量、GPS 信号の受信状況等について異常がないか確認する。
 - ・ 機体監視者：ドローンの飛行中に機体及び天候を監視する。
 - ・ 保安員：ドローンの飛行ルート及び周辺に第三者がいないか監視する。もし第三者が飛行範囲内に侵入しようとした場合、それを阻止する必要がある。
- 国や地方公共団体の規程により操縦許可証や飛行免許が必要な場合には、事前に取得すること。
- なお、操縦に免許等が不要であっても、事前にドローン操縦の訓練や、自律飛行設定方法の習得、安全管理についての確認を行うことが推奨される。
- 表8は、作業員の人数と役割分担に関するアンケート結果を示している。調査人数は最少1名、最大10名であった。

表 8 アンケート調査結果における作業員の人数と役割分担

事例番号	作業員数 (人)	役割
1	1-2	(1) ドローン操縦者、(2) 検証のための海岸漂着ごみ回収者
2	2	(1) ドローン整備・操縦、GPS 取得、(2) 補助、現場視察、GPS 取得
3	1	准教授
4	4	(1) ドローン操縦者、(2) 操縦補助・監視、(3) 地上測量・監視
5	2	(1) ドローン操縦者、(2) 周囲の安全を目視で確認する補助者
6	3	(1) ドローン操縦者、(2) データ・映像解析者、(3) 調査責任者、 (4) 現場班長
7	-	-
8	2	(1) ドローン操縦者、(2) サポート役(研究責任者)
9	3-5	(1) ドローン操縦者、(2) 周辺監視、(3) 標定点設置、(4) 現地調査
10	1-2	(1) ドローン操縦・計画者、(2) 計画・飛行操作補助
11	最低 2 名	(1) ドローン操縦者、(2) 副ドローン操縦者(機体監視)
12	2-4	(1) ドローン操縦者、(2) 副ドローン操縦者、(3) 周辺の警備
13	1	ドローン操縦者
14	最低 2 名、 理想は 3 名 以上	(1) ドローン操縦者、(2) 副ドローン操縦者、(3) オブザーバー
15	10	(1) ドローン操縦者、(2) 海岸漂着ごみの回収・分類・計測者
16	10	-

(8) 調査機材

(A) ドローン及びカメラ

- 画像撮影に用いるドローン及びカメラを用意する。ドローンに搭載されたカメラから画像撮影を行うため、あらかじめドローンにカメラが付属している機種か、あるいはカメラが搭載可能な機種を選択する必要がある。ドローン及びカメラは、以下の表 9 の点を考慮して決定する。
- 既存の調査事例にて用いられた実績のあるドローンを表 10 に示す。

表9 ドローン及びカメラの選択の留意点

項目	選択の留意点
センサーの種類	本ガイドラインに従って海岸漂着ごみドローン調査をする場合は、RGB カメラを使用する。マルチスペクトルカメラやハイパースペクトルカメラを使用したごみの判別は現在研究段階だが、将来的には波長の特性からプラスチックごみ等の分類ができるようになる可能性がある。
画像解像度	一般的に、解像度が高いほど同高度からの撮影で鮮明な画像が得られるが、1枚当たりの画像容量が大きくなる。調査対象のサイズと解像度の関係については、1.1.1の(9)(A) GSDを参照
飛行可能時間と調査範囲	現在一般的に入手可能かつ調査に適したドローンの標準的なモデルは、バッテリー1セットにつきおよそ 15-30 分間の飛行が可能であり、 10^4 m^2 程度撮影できる (Kako et al. 2024)。広範囲の撮影を行う場合、1回の飛行時間が長い機体の方が撮影が容易である。調査範囲が 10^4 m^2 より広い場合には、バッテリーを複数セット用意する必要がある。
ドローンの大きさ	ドローンを調査地まで運搬できるかどうか確認する必要がある。遠方で調査を行う際にはドローンを輸送する場合もあるが、ドローンのリチウムイオンバッテリーは空輸できないため、陸送や海上輸送となる点は注意すること。 また、調査地まで徒歩でのアクセスが必要な場合、大型のドローンは持ち運びが困難となることもあるため、調査地へのアクセス性は事前に確認の上、機材を選択することが推奨される。
自動操縦機能	ドローンが機体に搭載された GPS 受信機 を利用して位置情報等を把握し、あらかじめ計画されたルートに従って、自律的に飛行を行う機能を指す。自動操縦機能を用いることで、広範囲を正確かつ安全に撮影することができることから、自動操縦機能を用いたドローン飛行を推奨する。

表 10 既存調査事例及びアンケート調査結果において使用されていたドローン

ドローン機種	製造会社
Inspire	DJI
Matrice 210 RTK	DJI
Matrice 210 RTK V2	DJI
Matrice 210 RTK V2	DJI
Matrice 300 RTK	DJI
Mavic 2 Zoom	DJI
Phantom 2 Vision	DJI
Phantom 3 Advanced	DJI
Phantom 3 Professional	DJI
Phantom 4	DJI
Phantom 4 Pro	DJI
Phantom 4 Pro V2.0	DJI
Phantom 4 RTK	DJI
WingtraOne Rededge MX	Wingtra

(B) 位置情報測量

- ごみの体積を正確に推定するためには、より正確な位置情報の測量を行う必要がある。
- 多くのドローンは、技術的な仕様として、取得する位置情報に数十 m から数 m 程度の誤差が生じる。過去の調査では、20 m 当たり 1 m の誤差が確認されている (Kako et al. 2024)。ごみの体積推定のためにはこの誤差を解消することが必要であり、そのためには以下の 2 つの方法が考えられる。なお、他の調査目的の場合には、このような正確な位置情報測量は必須ではない。
 - (i) 標定点とトータルステーションを用いて位置情報測量を行う。トータルステーションの詳細や標定点の設置については(C)その他の測量機器の項目で紹介する。なお、この手法は(ii)と比較すると、トータルステーションの設置等の準備に時間を要するため、調査時間が 1-2 時間程度長くなる。
 - (ii) リアルタイムキネマティック (RTK) 方式で位置情報取得を行うドローンを使用し、より正確な位置情報を取得する。RTK は GPS 測定 (より一般的には全球測位衛星システム (GNSS) による測定) に基づく位置測定手法であり、センチメートルのレベルの精度でリアルタイムに位置情報を測定可能である (引用: IAG ウェブサイト)。RTK 測量には 2 種類の手法がある。1 種類目は使用者が自ら RTK 基地局を設置する方式である。この手法では調査地点まで基地局を運搬する必要があるが、GNSS 情報を取得することでより多くの地点で利用可能である。2 種類目は、位置情報の補正情報を提供するような民間事業者のサービスを利用する、ネットワーク方式である。この手法は民間事業者のデータに依存するため、1 分当たり約 150 円程度の通信料が発生するが、利用者は基地局を運搬・設置する必要はない。ただし、この手法は周辺のネットワーク環境がなければ実施不可能であるため、事前に調査地の電波状況を確認する必要がある。

(C) その他の調査機材

- ドローン及びカメラ以外に必ず使用しなければならない機材は無いが、環境条件や画像処理等の関係から使用する可能性がある機材としては表 11 の機材が考えられる。
- 標定点を設置する場合には、調査範囲内に偏りがないよう複数地点、最大 10 点程度設置する（図 4 参照）。別添 1 にて示す実証試験においては、20 x 4.3 m の調査範囲に対して 6 点設置した。標定点の目印としては、対空標識を使用する。この時、白黒の対空標識よりカラーの対空標識を用いた方が、画像解析が容易になる。また、画像から 3 次元モデルを作成してごみの体積推定を行う場合には、高さ補正のため他の標識よりも 2 m 程度高い位置に対空標識を設置する「立体対空標識」を 2-3 点程度設置する必要がある。
- 立体対空標識は、三脚等を用いて設置すると良い。なお、対空標識の設置場所は直線的になりすぎないように注意する。対空標識の設置場所例を図 3、立体対空標識の設置方法例を図 4 に示す。

表 11 ドローン及びカメラ以外に使用する機材の例（1/2）

機材	用途	画像
GNSS 測量機	標定点やトータルステーションの位置情報を計測する。詳細な位置情報補正を行いたい場合に用いる。	
地上撮影用カメラ	地上から現場の状況の記録等を行う。ドローンで撮影した画像と地上の様子と比較等を行いたい場合に用いる。	
偏光フィルター	画像の中の反射光を軽減する。反射光の影響で画像解析に影響が出る場合に用いる。	 引用：photoAC（https://www.photo-ac.com/）

表 11 ドローン及びカメラ以外に使用する機材の例 (2/2)

機材	用途	画像
減光フィルター	レンズから入ってくる光の量を減らし、画像の明るさを調整する。画像の明るさを補正したい場合に用いる。	 提供： João Gama Monteriov 委員
風速計	安全のため、ドローン飛行前や飛行中に風速を計測することも考えられる。ただし、地上の風速と上空の風速は異なる場合があるため注意すること。	 引用： AcuRite ウェブサイト「How Does an Anemometer Measure Wind Speed?」 (https://www.acurite.com/blog/how-does-an-anemometer-measure-wind-speed.html)
RTK 基地局	RTK ドローンを使用する際、位置情報補正の基準として用いる。	
対空標識	標定点として調査範囲内に設置する。詳細な位置情報補正を行いたい場合で RTK 対応のドローンを使用しない場合には必ず必要である。また、RTK 対応のドローンを用いる場合や、詳細な位置情報補正を必要としない場合でも、対空標識を設置することで画像処理の際の目印とすることもできる。	
トータルステーション	標定点の測量を行うための機器。測量情報に基づき、画像の位置情報補正を行う。	

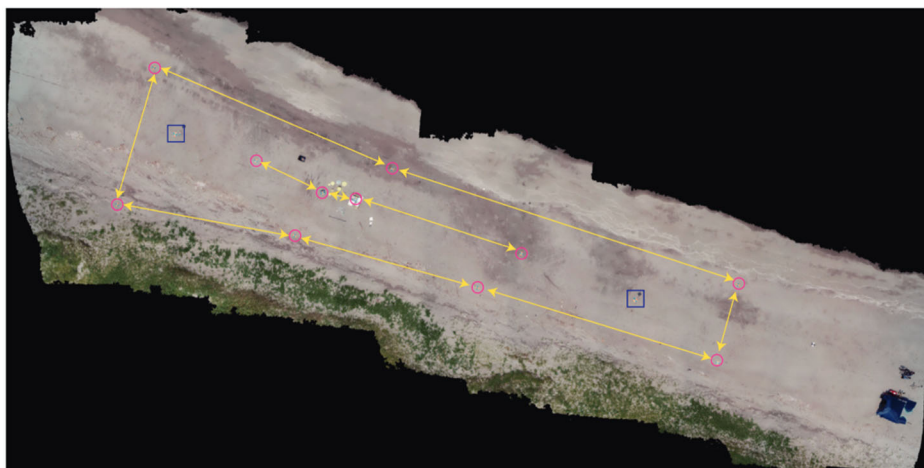


図3 標定点の配置例

吹上浜のオルソ画像。対空標識はピンクの丸で囲まれている。トータルステーションで測量した対空標識間の距離を黄色の矢印で示す。高度データの補正に使用した立体対空標識は青い四角で囲んである。9番の対空標識はトータルステーションの原点である。（この図の凡例における色の言及の解釈については、この記事のウェブ版を参照されたい）

（Kako et al. 2020 より翻訳、加工）



図4 立体対空標識の設置例

(9) ドローン設定

(A) GSD

- GSD (Ground sample distance, 地上解像度) とは、ドローンで上空から地上を撮影した写真において 1つのピクセルが該当する大きさである (Kako et al. 2024、図 5)。GSD により画像の解像度及び判別可能なごみの大きさが決定し (Andriolo et al. 2023)、GSD が小さいほど細かいごみの判別が可能となる。対象とするごみの最小サイズをもとに、図 6 を参考に必要な地上解像度を算出する。
- 図 6 の a)では、縦軸に GSD (cm/pix)、横軸にはごみの 1 辺を構成するピクセル数が示されている。青色、橙色、黄色の曲線は検出したいごみの最小サイズを示しており、それぞれ 2.5 cm、5 cm、10 cm である。ごみの 1 辺は最小 4-5 pix で構成される必要があるため、横軸が 4 及び 5 の際に青・橙色・黄色の曲線が位置している GSD が必要な最小の GSD である。例えば対象とするごみの最小サイズが 2.5 cm の場合、地上解像度は 0.5 cm/pix が推奨される。
- GSD が 0.5 cm/pix、1.25 cm/pix、1.85 cm/pix の際のごみの見え方及びごみの検出の例を図 7 に示す。
- なお、対象サイズの下限値を 2.5 cm として撮影した場合でも、AI による画像検出では下限値が 2.5 cm より大きくなってしまう場合がある。別添 1 に示す実証試験においても、AI による画像検出では 10 cm 程度以上の大きなごみしか判別できなかった。これは AI の学習データに写っていたごみの大きさによるものであるため、あらかじめ、あるいは検出後に AI で検出可能な下限値を別途確認する必要がある。ただし、AI 検出の下限値が 2.5 cm よりも大きかった場合でも、将来的により高精度の画像検出技術で判別し直せる可能性があるため、画像の GSD をより小さく設定する必要はない。

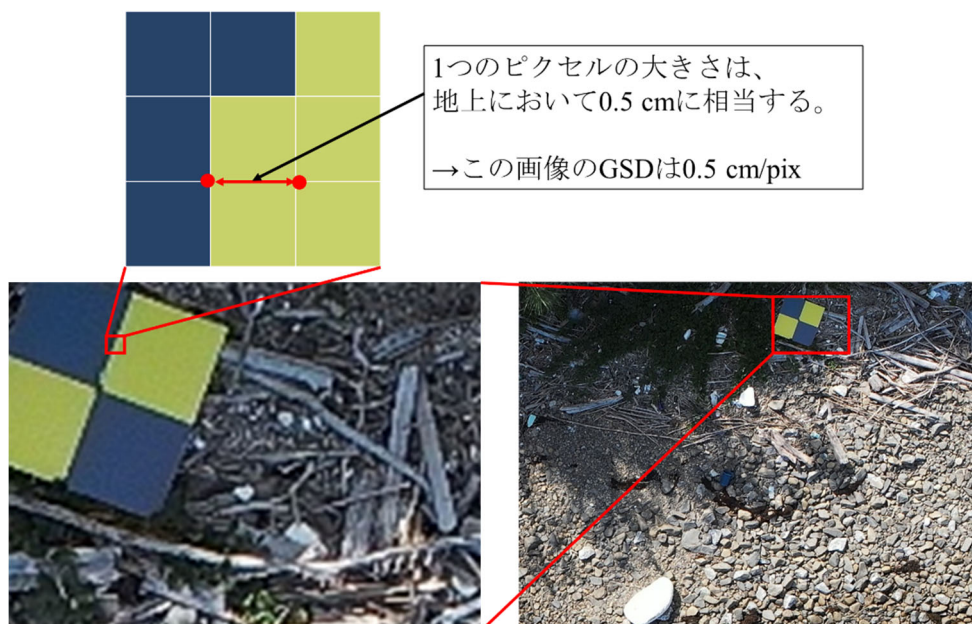


図5 GSD の考え方

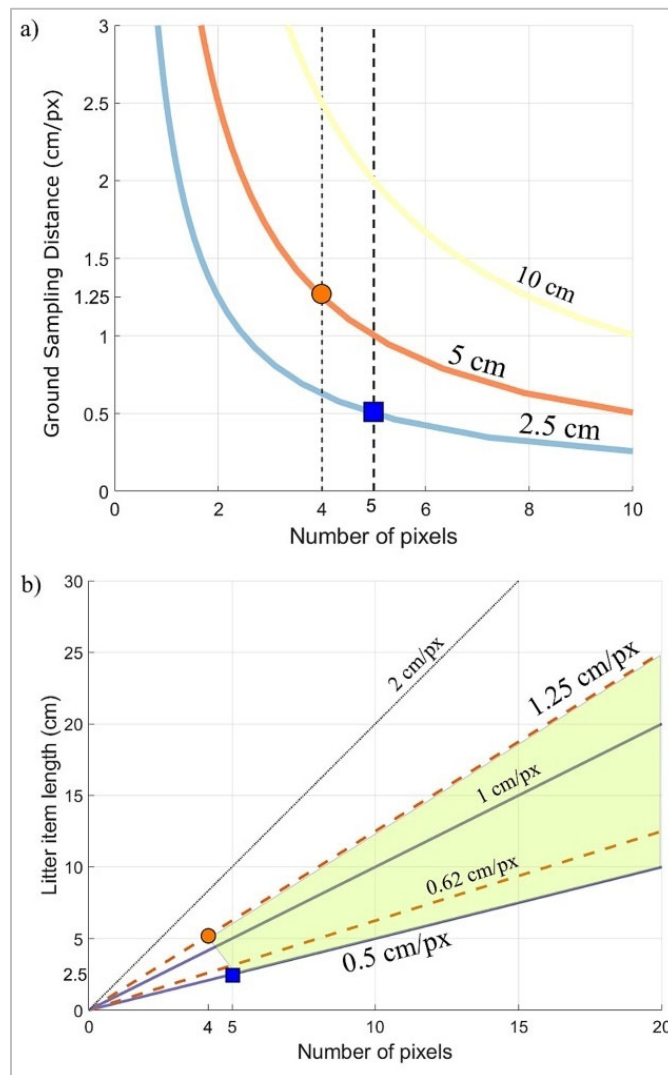


図6 GSDと識別可能なごみの関係性

a)青色と橙色の曲線は、GSD-ピクセル数のグラフにおけるごみの長さ（それぞれ 2.5 cm と 5 cm）を示す。黄色の曲線は 10 cm のごみの大きさを GSD-ピクセル数で表したもの。黒色の線は選択した限界値 4 px と 5 px を示す。

b) GSD がごみの大きさ Sz-画素数 (Npx) のグラフで表されている。青色の細線は 0.5 cm/px と 1 cm/px の GSD を、橙色の破線は 0.62 cm/px と 1.25 cm/px の GSD を示す。比較のため、黒色の線は 2 cm/px の GSD を示す。黄緑色の網掛け部分は、適切な GSD 範囲を示す。どちらのグラフでも、青い四角は横軸 5 px と縦軸 2.5 cm の交点を、橙色の丸は横軸 4 px と縦軸 5 cm の交点を示している。（Andriolo et al. 2023 より翻訳、加工）

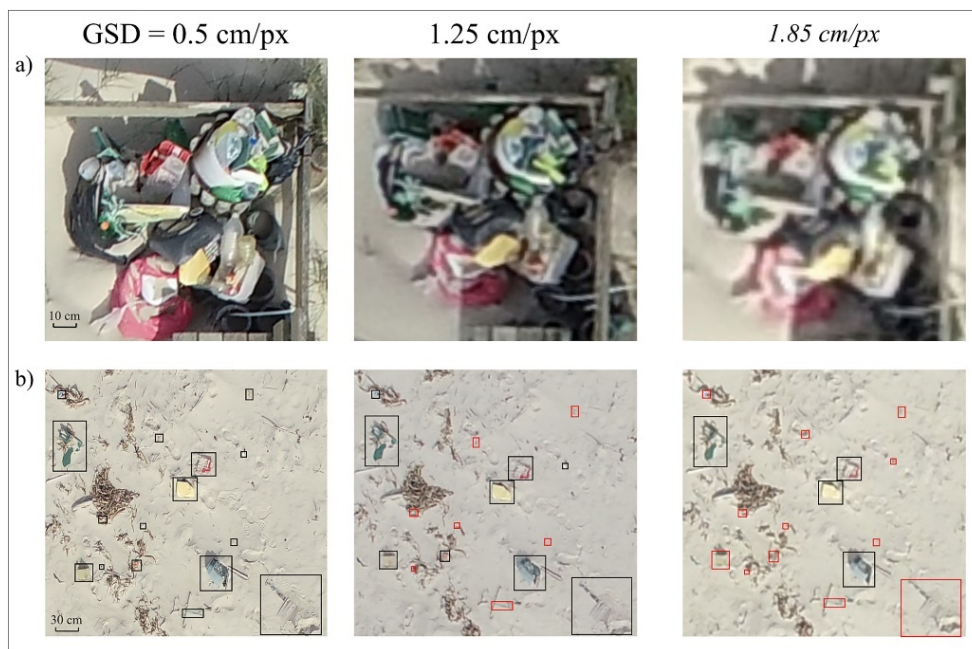


図7 GSD ごとの画像の見え方

- a) 海岸近くの集積所の空撮画像で、ビンやごみ袋がある。GSD=0.5 cm/px の画像（左）では、異なる種類のペットボトルが区別できる。GSD=1.25 cm/px の画像（中央）では、ごみは数えられるが判別できない。GSD=1.85 cm/px の画像（右）では、ごみを数えることさえ困難である。
- b) 画像上のごみをマークした場合の動作評価。GSD=0.5 cm/px の画像（左）では、いくつかのアイテムが検出され、その材質やカテゴリーが認識できる（黒枠）。GSD=1.25 cm/px の画像（中央）では、最も小さなアイテムは検出できず（赤枠）、GSD=1.85 cm/px の画像（右）では、最も大きな4つのアイテムのみが検出できた。全体として、b)では、黒いボックスは検出されたアイテムを囲み、赤いボックスは検出できなかったアイテムを囲んでいる。（Andriolo et al. 2023 より翻訳、加工）

■ポイント

既存の調査との比較可能性を考慮すると、調査対象とするごみは 2.5 cm 以上であることが推奨され、その場合の GSD は 0.5 cm/px となる。

(B) 飛行高度

- 適切な飛行高度は次の式で計算される。

$$[(\text{GSD}) / (\text{使用するデジタルカメラの1画素の大きさ}) \times (\text{焦点距離})]$$

例えば別添1に示す実証試験の場合には、GSD が 0.5 cm、デジタルカメラの1画素の大きさが 4.4 μm 、焦点距離が 35 mm であったため、

$$0.5 \text{ cm} / 4.4 \mu\text{m} \times 35 \text{ mm} \doteq 39773 \text{ mm} \doteq 40 \text{ m}$$

であり、高度 40 m での飛行を行った。ただし、ドローンに付属のアプリケーションで設定を行う場合、地上解像度を指定することで、適切な飛行高度が自動的に計算

される場合がある。

- なお、ドローンで設定する飛行高度は離陸地点からの高度になるため、離陸地点と海岸の高さが異なる場合にはその高低差を考慮してドローンの飛行高度を設定する必要がある。

(C) ジンバル角（カメラの角度）

- 適切なジンバルの角度は-90°としている事例が多い。ただし、撮影した画像からごみの体積推定を行うために 3D モデルを作成する場合等には、より正確な 3D モデル作成のために斜め方向（-70°等）からの撮影も併せて行う必要がある。

(D) 画像の重複度

- 画像の重複度は、画像の処理方法により決定する。撮影した画像からオルソ画像を作成する場合には、ドローンの進行方向における画像の重複度（オーバーラップ）は 80-90%以上、進行方向を前としたときの左右の重複度（サイドラップ）は 60%以上が推奨される。一方、オルソ画像の作成を行わない場合には、撮影時間の短縮のため、より低いオーバーラップ・サイドラップで撮影することも考えられる。
- 別添 1 に示す実証試験では、50 x 17.1 m の調査範囲を撮影する際、オーバーラップ 80%・サイドラップ 60%で撮影した場合には、オーバーラップ 20%・サイドラップ 20%で撮影した場合に比べ約 2 倍の撮影時間を要した。
- 撮影範囲が狭い、飛行高度が高い等の理由により写真の撮影枚数が少なすぎると、カメラの位置情報が少なく位置補正の精度が下がる。また重なりが少ないとオルソ画像に空白ができる。写真の撮影枚数が少なくなりそうな場合には、海岸線に平行な飛行と垂直な飛行を組み合わせることで撮影場所を増やす方が良い。

(E) 撮影方式

- ドローンには、移動しながら等秒間隔で撮影を行う方式と、撮影時に一旦移動を停止して撮影する方式の 2 つの撮影方式が存在する。それぞれの特徴は表 12 のとおりであり、いずれの撮影方式でも調査可能である。

表 12 各撮影方式の長所及び短所

撮影方式	長所	短所
移動しながら等秒間隔で撮影	撮影にかかる時間が短い。	撮影中も機体が移動し続けているため、高度 10 m 以下等の低高度から撮影する場合、画像がぶれるおそれがある。
撮影時に移動を停止して撮影	撮影時は機体が一時停止しているため、低高度からの撮影でも画像がぶれにくい。	撮影に時間がかかる。

(F) 画面の明るさ（シャッタースピード、F 値、ISO 感度等の設定）

- シャッタースピード、F 値、ISO 感度等のカメラ設定は、基本的に自動で最適化されており、画像の明るさに問題がなければ変更する必要はない。
- 画像の明るさが暗く、ごみが鮮明に見えない場合には手動でこれらの設定を調整する。ただし、シャッタースピードを長くしすぎると画像がぶれやすくなるため注意が必要である。事前に予備飛行を行い、適切な設定を調整しても良い。

(G) 画像の保存形式

- 撮影した画像の保存形式に特段の定めはないが、圧縮率の高い形式で保存すると画質が低下するおそれがあるため留意が必要である。

1.1.2 調査の実施

(1) 調査範囲の確定

- 計画立案の段階で大まかな調査範囲は決定しているが、調査当日に改めて以下の観点から海岸の状況を確認したうえでドローンの飛行が安全に実施可能な調査範囲となっているか確認する。
 - ・ ごみの状態：例えば海岸の中でごみの量が平均的な場所で調査を行う場合や、ごみが集積している場所で調査を行う場合等には、実際のごみの漂着状況を確認の上、適した範囲に調整する。
 - ・ 周辺の地形：後背地に崖がある海岸では、実際の崖の状況を現地で確認の上、安全に調査が行えるよう飛行範囲が崖から 10-20 m 以上離れるように調査範囲を調整する。
 - ・ 植生の状況：後背地の樹木が海岸に突き出て真上から海岸を視認できないおそれがある場合には、樹木が無い場所への範囲の変更や、斜め方向からの撮影に変更する。
 - ・ 障害物の有無：調査範囲の周辺にドローンと接触のおそれがあるような高い構造物が無い確認する。高い構造物からは 10-20 m 以上離れるように調査範囲を調整する。

(2) 天候

- ドローンの飛行は、晴れ又は曇りの天候で、風が穏やかな時に実施する。以下の気象条件の場合は、ドローンの飛行に危険が生じる可能性や、鮮明な画像取得が行えない可能性があるため、飛行を行わないこと。
 - ・ 風速 5 m/s 以上（ドローンの機種ごとに耐風性能が異なるため、あくまでもこれは目安である。使用する機種の耐風性能をあらかじめ確認し、耐風限界よりも十分に遅い風速の際に調査を実施すること）
 - ・ 雨天、雪、霧、雷、雹等の悪天候
- なお、晴天の際には、太陽光が地面やごみに強く反射したり、周囲の植生やごみによる影が画像解析に影響する可能性があるため、必要に応じてカメラの設定を手動で調整したり、偏光レンズを使用することも考えられる。

(3) 調査機材の設置

- ドローン及びカメラ以外に使用する機材があれば飛行前に設置する。
- トータルステーションを使用する際には、基点となる座標をあらかじめ取得しておく必要がある。また、トータルステーションの三脚は測量中に動かないようしっかりと固定し、機器を水平に設置する。
- 詳しいトータルステーションの使用方法については、利用する機器の説明を参照すること
- 立体対空標識を使用する場合には、対空標識が水平になるよう注意すること。立体対空標識は、三脚等を用いて設置すると良い。立体対空標識の設置例は図 5 に示す。
- 海岸の場合、機材を固定するのが難しい場合がある。そのため、コンクリート等の安定した地面があれば、その場所に標定点や RTK 基地局等の機材を設置すると良い。

(4) 安全管理

- 調査を行う国や地域にドローン飛行の安全管理について法令等があれば、それに従って調査を行うこと
- その他の参考事例として、既存の研究事例やアンケート調査にて実施が確認された安全管理の内容は以下のとおりである。
 - ・ 飛行経路上に障害物がないか

- ・ 離着陸地点が安全か
- ・ ドローンの慣性計測ユニット（IMU）の校正（ドローンの説明書に従い、必要に応じて実施する（図 8））
- ・ 位置情報の受信環境
- ・ コントローラーやドローン機体が正常に作動するか確認
- ・ 飛行範囲内に一般の人の侵入がないかの確認
- ・ 航空安全情報の確認
- ・ 気温、風速、雲の量等の天候確認
- ・ 気象条件や調査地に適した服装の着用
- ・ 地磁気嵐指数の確認（GPS の受信状況や、ドローンとコントローラーの接続状況に関係する）



図 8 IMU の校正

(5) 計測

- － ドローンの操作は、使用機器の説明書に従うこと
- － 一般的な飛行は以下の手順となる。

【飛行手順】

- (i) 飛行ルートの安全確認を行う。飛行ルートに第三者がいないか、ルート内に障害物（木の枝等）が無いか目視で確認する。また、離着陸場所は、ドローンの故障防止のため、砂の巻き上げが起こりにくい場所（舗装された地面等）が推奨される。また、上空が開けた場所を選択すること
- (ii) ドローンの機体にカメラやプロペラ等の必要機材を取り付ける。
- (iii) ドローンのプロペラに損傷がないか確認する。また、プロペラを手で回転させ、関節部に異常がないか、モーター等に異音がないか確認する。
- (iv) 送信機、ドローン機体の順に電源を入れる（RTK 基地局を使用する場合には、ドローン機体より先に電源を入れる）。
- (v) 送信機がネットワーク及びドローン機体と正常に接続されていることを確認し、あらかじめ設定した飛行ルートを呼び出す。
- (vi) 飛行準備のため、以下の点を確認する。
 - ・ 送信機及びドローン機体のバッテリー残量が十分にあるか。
 - ・ GPS 等の位置情報取得が正常に行われているか。

- ・ カメラが正常に映っているか。
- ・ エラー表示が出ていないか。
- (vii) 機体の設定確認を以下のとおり行う。
 - ・ 自動帰還の高度が障害物の無い高度に設定されているか。
 - ・ 高度上限が規程の範囲内であるか。
 - ・ 送信機との信号が失われた際の設定が問題ないか（ホバリング）。
 - ・ 飛行経路が正しいか。
- (viii) コンパスの校正を行う。校正方法は各ドローンのマニュアルに従い飛行直前に必ず実施する。また、必要に応じて IMU の校正も行う。
- (ix) 送信機と接続して使用するドローン以外の機材（RTK 基地局等）の接続を確認する。RTK 基地局を使用する場合、以下の点を確認する。
 - ・ 座標が正常に表示されているか（表示されていない場合は、捕捉衛星が不足しているおそれがある）。
 - ・ バッテリー残量が十分にあるか。また、残量不足の際に警告されるよう設定されているか。
 - ・ 衛星、システム制御ソフトウェア、送信機、RTK 基地局が全て正常に接続されているか。
- (x) 飛行準備が完了し、ドローン及び送信機等に異常がないこと、画面にエラーが表示されていないことを再度確認し、飛行を開始する。
- (xi) 離陸後、ドローン機が安定してホバリングしていること、プロペラ音やモーター音に異常がないことを確認する。また、手動操作でドローン機が正常に前後左右に移動、旋回できるか確認する。異常がないことが確認できれば、所定の飛行計画を開始する。
- (xii) バッテリーが 25%程度になったら、安全のため飛行を終了する。
- (xiii) 飛行後には、安全のためすぐにドローン機体の電源を落とす。

(6) 記録

- － 調査後には、画像の保管状況等に異常がないか確認すること。

セクション II 調査データの解析及び公開

2.1 データ解析

2.1.1 画像からの海岸漂着ごみの検出

(1) 手動検出

手動による画像からの海岸漂着ごみの検出は、自動検出と比較して技術や専門性を要しない手法である。これまでの研究事例（Deidun et al. 2018; Andriolo et al. 2020a; Escobar-Sánchez et al. 2021; Andriolo et al. 2021; Taddia et al. 2021）では、モニター画面に映された画像を拡大し、例えば左から右、上から下という規則性を持って目視で海岸漂着ごみの個数や位置、分類を記録する。これまでの研究で様々な要素（表 13 参照）によって検出率にばらつきがあることがわかっている。

表 13 検出率に関連する要素

検出率に関連する要素 (Andriolo et al. 2020a; Escobar-Sánchez et al. 2021)	備考
画像解像度 (GSD)	プラスチックごみをマッピングするには 200 pix/m (GSD = 0.5 cm) が良い解像度である (Taddia et al. 2021)。できる限り解像度の高い RGB カメラにより GSD の値を下げるができる。
作業者の経験	ドローンを使ったマッピングの信頼性を高めるためには、作業者の訓練が必要である (Taddia et al. 2021)。
画像の背景	砂、植生、足跡等 (Andriolo et al. 2020a)
海岸漂着ごみの状況	完全に見える、一部埋没、壊れている、ごみ同士が密接して漂着等 (Andriolo et al. 2020a; Escobar-Sánchez et al. 2021)
海岸漂着ごみのサイズ	大きいほど (2.5 cm 以上) 見つけやすい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。
海岸漂着ごみの色	白、黒、茶、透明は検出しづらい一方で、海岸において不自然な色 (黄、青、桃、橙、赤、鮮やかな緑) は検出しやすい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。
海岸漂着ごみの形状	ロープ・ひも、線形や方形は検出しづらい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。
環境条件	海岸後背地の植生、天候等

また、海岸漂着ごみ検出のため、他の情報（マルチスペクトルデータ（近赤外 (NIR) や正規化植生指数 (NDVI)）を活用している研究事例がある。NDVI は人工ごみと植生を区別するために使われる (Taddia et al. 2021)。そのほか、手動による画像スクリーニングでは分類などが明らかでなかったごみの情報（分類、素材、色）を、GIS モバイルアプリを使用して、海岸の現地調査により更新する研究事例も確認された (Andriolo et al. 2020)。

これらの既存研究事例では、手動による海岸漂着ごみ調査マニュアルの分類表（例：OSPAR 品目リスト (OSPAR Commission 2010)、ごみ分類のマスターリスト (European Commission 2013) が海岸漂着ごみの分類のために使用されていた。

(2) 自動検出

画像から海岸漂着ごみを検出する自動データ解析手法には、画像内の目的の物体を検出してバウンディングボックスと呼ばれる矩形で囲む物体検出と、画像のピクセル単位で物体を分類するイメージセグメンテーションの大きく2つがある。

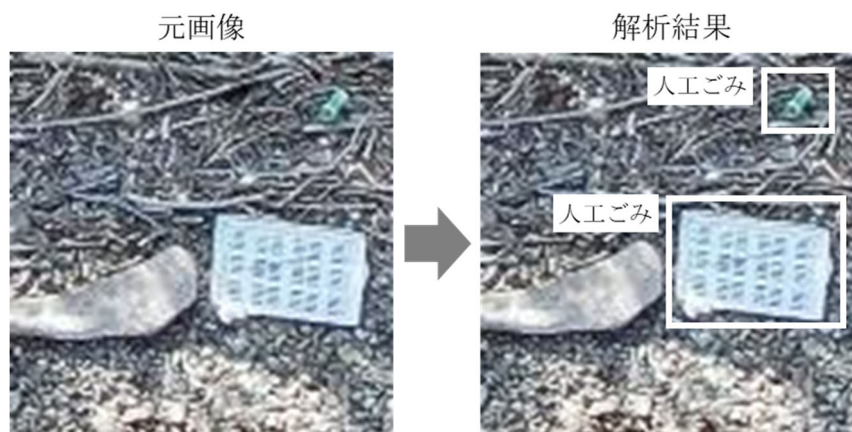


図9 物体検出

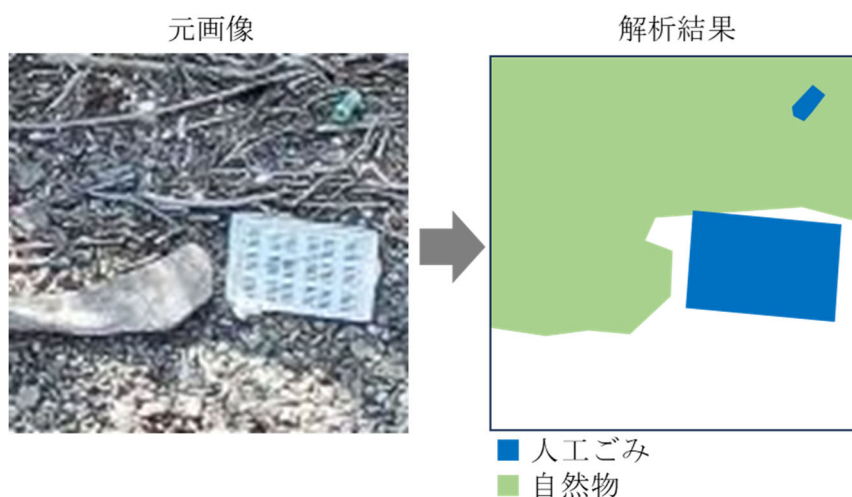


図10 イメージセグメンテーション

それぞれの手法の特徴を考慮し、海岸漂着ごみの状況に応じてデータ解析方法を選択する必要がある。物体検出は、個々のごみを検出することで、海岸漂着ごみの総数を推定することができる。ごみ同士が重なっておらず、境界が明確である場合に適している。

イメージセグメンテーションの一種であるセマンティックセグメンテーションは、ピクセルレベルでごみを検出できるため、オルソ補正されたドローンの空撮画像を用いることで、その面積と体積を推定することができる。この方法は、海岸漂着ごみが集積し、個々のごみの識別が困難な場合に適している。同じくイメージセグメンテーションの一種であるインスタンスセグメンテーションは、物体検出のように海岸漂着ごみの個数をカウントすることと、セマンティックセグメンテーションのようにピクセルレベルでごみを検出し面積と体積を推定することの両方が可能である。

物体検出とセマンティックセグメンテーションのいずれにおいても、近年、ディープラーニングに基づく画像解析技術が用いられている（例えば、Kako et al. 2024; Hidaka et al. 2022; Martin et al. 2021）。ディープラーニングモデルの開発には、専門知識、高性能な

GPU 搭載コンピュータ、モデルの学習に必要な学習データの準備（アノテーション作業）が必要となる。特に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 か月を要した例もある（Sugiyama et al. 2022）。

Beach Litter Dataset の他にも、地上撮影した海岸の画像からプラスチックごみを抽出した Beach Plastic Litter Dataset（Hidaka et al. 2023）や海岸漂着ごみを抽出して空き缶やビニール袋など 28 カテゴリに分類した TACO Dataset（Proença and Simões 2020）が公開されている。上記のデータセットは地上で撮影された写真から作成されているが、ドローンで撮影された空撮画像にも適用可能である。作業量を考慮すると、教師データにはこれら既存の公開データを活用することが現実的である。しかし、これらのデータセットは、海岸漂着ごみ画像が撮影された地域や海岸基質の状態によってバイアスがかかる可能性があり、特定のタスクに合わせたカスタムデータセットも不可欠である。

画像解析モデルのプログラムソースコードは、例えば以下のような無償かつオープンソースで公開されているものが利用できる。

表 14 画像解析モデルのソースコードの例

手法	名称	URL
物体検出	Torchvision	https://github.com/pytorch/vision
	HRNet	https://github.com/HRNet/HRNet-Object-Detection
	YOLOv5	https://github.com/ultralytics/yolov5
イメージセグメンテーション	Segmentation Models	https://github.com/qubvel/segmentation_models.pytorch
	HRNet	https://github.com/HRNet/HRNet-Semantic-Segmentation

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、Hidaka et al（2022）で開発されたセマンティックセグメンテーションモデルを用いたウェブアプリケーションの開発を進めている（2024 年一般公開予定）。事前に学習されたモデルを用いるため、学習データやモデルのコーディングや学習が不要であり、ウェブブラウザ上でドラッグ＆ドロップ操作で画像を読み込むだけで画像中のごみを検出できるため、ディープラーニングモデルの専門知識がなくても画像解析が可能である。このようなアプリケーションは、目視による画像解析（画像から海岸漂着ごみを手作業で検出する作業）に比べ、作業コストを大幅に削減できる可能性がある。

ドローンで撮影した画像からディープラーニングモデルが検出できる対象物の解像度は、目視で検出する場合とは異なる。また、モデルの学習に使用する学習データにも依存し、例えば Hidaka et al（2022）で開発されたセマンティックセグメンテーションモデルでは、ドローンで撮影した画像の GSD が約 1 cm の場合、解像度は約 30 pix（5 x 6 cm）となる。高さ方向については、実証試験の調査範囲における検証点の誤差を考慮すると 2-3 cm 以上であれば概ね検出が可能であると考えられる（別添 1 参照）。解像度に関係なく、ごみが積み重なって見えない場合は、ドローンで海岸漂着ごみを検出することは困難である。

2.1.2 海岸漂着ごみの定量化

画像解析の結果から海岸漂着ごみの個数や分布を求めることが可能であるが、オルソ補正された画像（以下、「オルソ画像」という）を用いることによって、さらに海岸漂着ごみの密度[個/m²]、面積、体積を推定することができる。オルソ補正を行うには、セクション I の調査機材に記載した標定点（Ground Control Points、GCP）や RTK 機器を用いて撮影する必要がある。

オルソ補正は Pix4Dmapper（<https://www.pix4d.com/jp/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>）や Agisoft Metashape（<https://oakcorp.net/agisoft/>）、OpenDroneMap（<https://www.>

opendronemap.org/)などのソフトウェアを用いて行うことができる。テラドローン株式会社が提供する総合プラットフォームソフトウェア Terra Mapper (<https://mapper.terra-drone.net/>) はオルソ補正に加え、海岸漂着ごみの体積推計を行うことができる。リモートセンシング技術と AI による調査方法は、手動による調査よりも定量化の精度は落ちるが、より広範囲をカバーし、半定量化を達成することが可能である。

画像の撮影と測量から海岸漂着ごみの検出、定量化までの流れをフロー図にまとめると以下のとおりである。フロー図の実線の矩形はデータ解析を、破線は出力されるデータを表す。

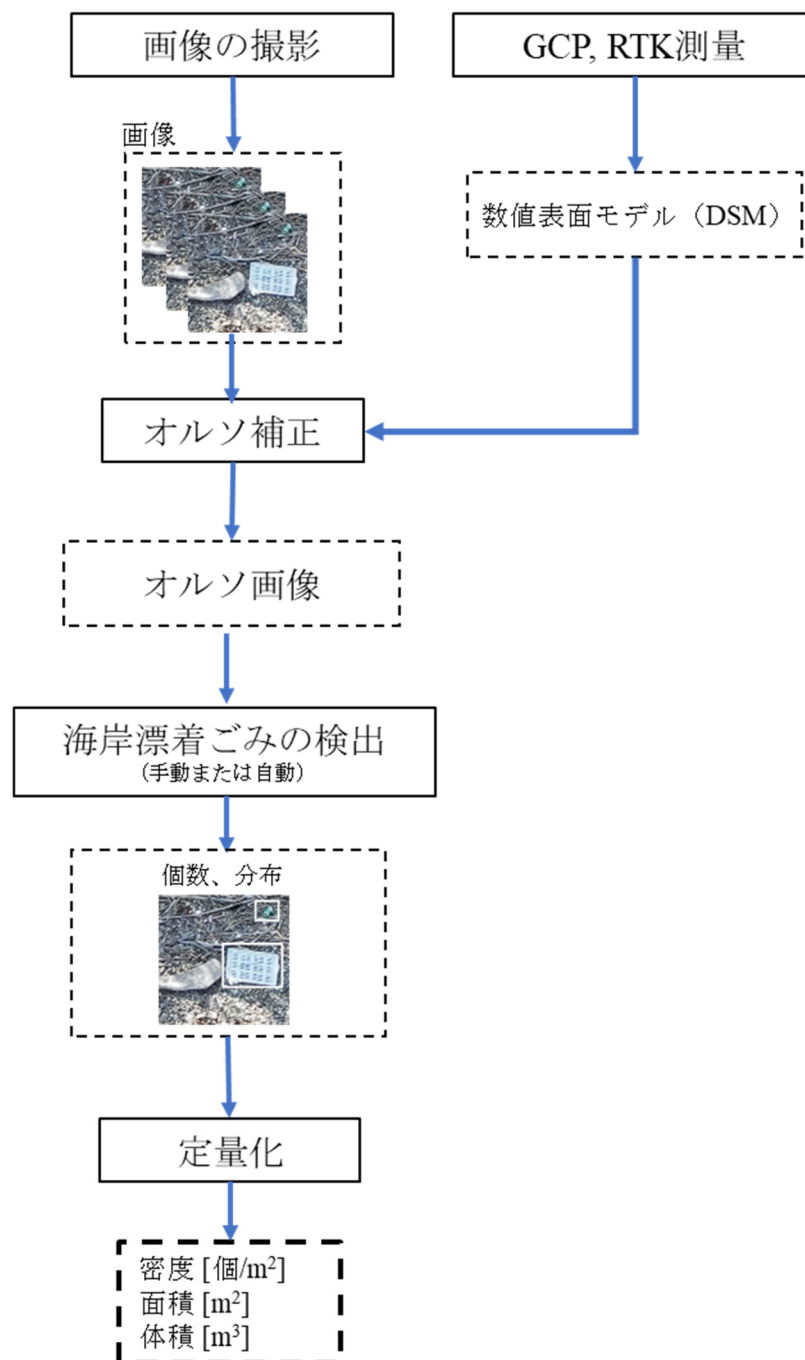


図 11 画像撮影と測量から海岸漂着ごみ定量化までの作業フロー

2.2 データの公開

2.2.1 データの単位

データの単位に関するアンケート調査の結果は表 15 のとおりである。これによると、良く使用されている単位は、ごみの個数（調査単位）、ごみの被覆面積、個数密度であった（図 12 参照）。ごみの個数密度はごみの個数と調査面積から求めることができる。被覆面積はイメージセグメンテーションにより得られたごみの被覆面積や矩形で検出した物体のピクセルを数えることにより求めることができる。また、ごみの体積も実証試験により推定できることが確認された（別添 1 参照）。しかし、3 次元情報を正確に得ることができるのはドローンのみであり、プラスチックごみの流出フローを把握するためには、様々な場所から得られた情報をリンクさせるためのアプローチとしては、ごみの被覆面積とごみの個数密度（単位面積当たり）の単位を選択することが考えられる（Deidun et al. 2018）。

また、今後の技術発展によりほかの単位も選択可能になることを考慮すると、将来的な再解析が可能となるようオルソ画像のような生データを保管していくことも重要である。

■ ポイント

データ調和の観点から、個数密度及び被覆面積の単位を推奨する。また、その他のデータ単位の選択肢としては体積がある。

表 15 アンケート調査結果におけるデータの単位

事例番号	ごみの定量化に当たりどの単位を用いているか	左記の単位を用いた理由
1	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	海洋ごみの豊富さ、ごみの集積している場所、海岸の清潔度指標、清掃作業のため。
2	ごみの個数、ごみの被覆面積、ごみの大きさ	従来からごみの個数、ごみの大きさ、ごみの被覆面積を用いている。ドローンによる調査によりごみの体積や重量の計算も必要であり、また実現可能性がある（研究中）。
3	ごみの個数、ごみの個数密度	最も代表的であるため。
4	ごみの体積、ごみの被覆面積	シミュレーションでの利用のため。
5	ごみの体積、ごみの個数	-
6	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	ごみの重量と体積は計測できないため。
7	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	-
8	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	現地調査で得られた実測値と比較できる単位を選択した。回収物の体積や重量を総合的に考慮した場合、我々が関心のある種類に基づく分類はできない。
9	ごみの体積、ごみの被覆面積	計算しやすいから。
10	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	ごみの集積場所や全体的なごみ汚染の把握という目的に最も関連するものであるため。
11	ごみの個数、ごみの個数密度	-
12	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	-
13	ごみの個数、ごみの個数密度	検証データと同じ単位のため
14	ごみの被覆面積	実験で使った人工のターゲットとの適合
15	ごみの個数、ごみの被覆面積	空間的・時間的にごみを定量化及び分類するため。
16	ごみの個数、ごみの個数密度、ごみの被覆面積	-

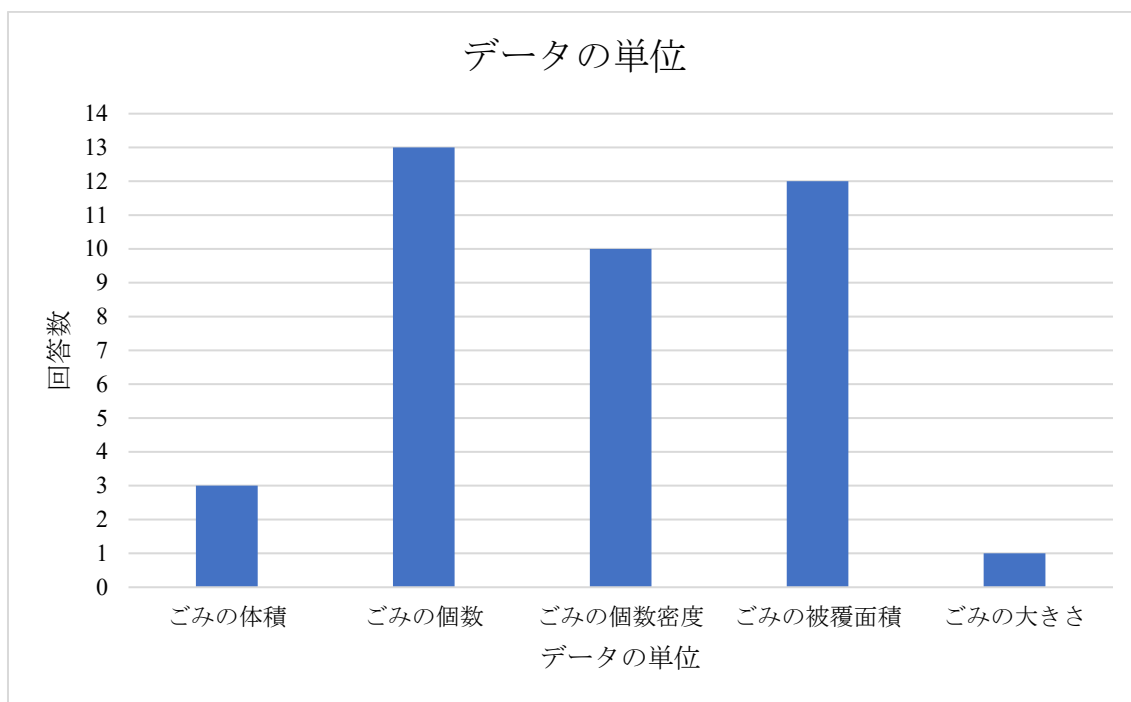


図 12 使用されたデータ単位のアンケート結果

2.2.2 データの公開

調査結果として公表される情報には、ごみの量、ごみの構成比、ごみの量の分布図、ごみの種類の分布図（別添 1 参照）、DSM（数値表層モデル）などが含まれる（表 16）。これらの情報の重要性については一概に優劣をつけるのではなく、目的に応じて情報を適切に数値化することが重要である（表 17 参照）。

データの公開に当たっては、他地域とのデータ比較や一般の人々による理解のしやすさ等の観点から、調査結果を視覚化することが望ましい。Gonçalves et al.(2022)の事例では、グリッドマップを用いてごみの個数密度やごみの被覆面積が視覚化されている（図 13 参照）。グリッドマップの公開に当たっては、ウェブ GIS サービス（例：INSPIRE (<https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>)、Coastal Marine Litter Observatory (CMLO, <https://cmlo.aegean.gr/>)）が便利である。グローバルな量を評価するために単位を統一するという観点では、そのような画像解析ができるように、データを共有するシステムを構築することが重要であると思われる。グリッドサイズについては、5 x 5 m, 10 x 10 m 等の様々なサイズが確認されているが、縮尺の変更により比較可能である限りは、どのようなサイズを選択しても問題はないものと考えられる。

データの公開に当たっては、データ比較に資する情報（ごみの検出下限値等）を付け加えることが推奨される。

表 16 アンケート調査結果における調査結果の公開方法

事例番号	調査結果として公開する情報
1	ごみの個数密度 (個/m ²)
2	ごみの量に関しては、個数と割合を表で整理した。 ごみ量の分布マップに関しては、5 x 5 m のグリッドを使い、1つのマスにおける占有率 (または個数) を示した。しかし、この方法はあくまでテスト・例であり、より明確に定義されるべきである。
3	ごみの個数密度 (単位面積は 10 x 10 m)
4	-
5	ごみの重量密度 (g/100 m ²)
6	ごみの個数密度 (個/m ²)
7	ごみの量、ごみの組成割合、ごみ量の分布マップ、ごみの種類ごとの分布マップ、DSM
8	ごみの量については、通常、調査範囲のごみの個数/m ² (あるいは海岸の長さを考慮して個数/m も可能) を用いる。分布図については、地域をグリッドで小さな正方形に分割し、その小領域で見つかったごみの数を計算する。その後、この値の各区間に色のスケールを割り当て、ごみの密度の目盛りを定義する。最終的な地図は、色の強さ/濃さで密度を視覚化する。ごみの種類や素材の種類を 1 つに限定することも可能なので、ごみの種類や素材による密度分布の違いを視覚化することができる。
9	ごみの体積と被覆面積
10	これらの調査結果は、各海岸の平均ごみ密度と、ヒートマップを用いた集積場所として報告書に記載されている。ごみの特性と組成は、より小さなエリアの実地調査 (サブサンプリングと外挿) から作成される。この特性評価は、EU の規制やプログラムを遵守するために必須であるため、実地で行われる。フライトは、より広いエリアを調査し、海洋ごみ汚染の蓄積、量、密度に関する知見を提供するために使用される。
11	ごみの量、ごみ量の分布マップ
12	ごみ量の分布マップ、ごみの種類ごとの分布マップ
13	表層のごみの個数密度 (個/m ²)
14	ごみの組成割合
15	ごみの組成割合、ごみの種類ごとの分布マップ、DSM
16	ごみの量、ごみの組成割合、ごみの種類ごとの分布マップ、DSM

表 17 調査結果の活用例

調査結果の情報	情報の活用 (Deidun et al. 2018)
品目ごとのごみの個数	例えば、特定の製品の使用を制限するなど、プラスチックごみの削減に寄与する政策の策定促進に活用
ごみの空間分布	重点的な清掃活動が必要な場所の特定に活用
体積や重量の推定値	ごみ処理費用の見積もりに活用

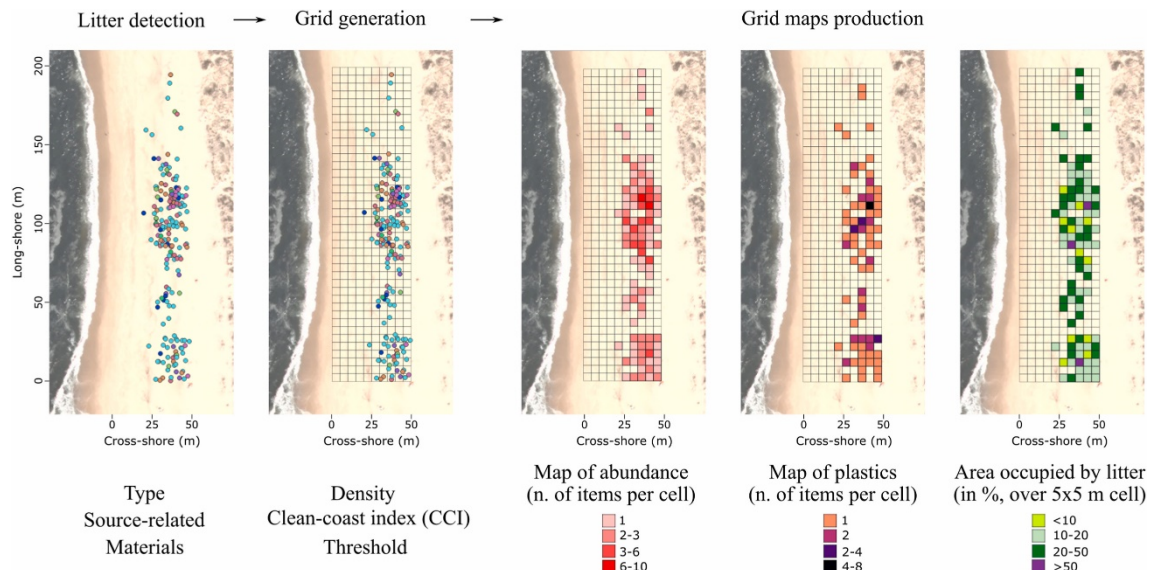


図 13 グリッドマップに基づくドローンによるごみ調査成果の例

(a)オルソ画像上で検出されたごみ。色で種類、発生源、素材の違いを示すことができる；
 (b)グリッド（例では5 x 5 m）の生成により、各マス内で希望のカテゴリーをカウントできる。例えば、ごみの多さの傾向マップ(c)、プラスチックのような種類や素材のマップ(d)、ごみの大きさの分布やごみの占める面積の分布(e)などが、これらのデータセットから作成できる。（この図の凡例における色に関する言及の解釈については、この記事のウェブ版を参照されたい）（Gonçalves et al. 2022 より翻訳、加工）

引用文献

- Andriolo, U., Gonçalves, G., Bessa, F., Sobral, P. (2020a). Mapping marine litter on coastal dunes with unmanned aerial systems: a showcase on the Atlantic Coast. *Sci. Total Environ.* 736.
- Andriolo, U., Gonçalves, G., Sobral, P., Font´an-Bouzas, ´A., Bessa, F. (2020b). Beach-dune morphodynamics and marine macro-litter abundance: an integrated approach with Unmanned Aerial System. *Sci. Total Environ.* 749, 141474.
- Andriolo, U., Gonçalves, G., Sobral, P., Bessa, F. (2021). Spatial and size distribution of macro-litter on coastal dunes from drone images : a case study on the Atlantic coast. *Mar. Pollut. Bull.* 169, 112490.
- Andriolo, U., Topouzelis, K., Tim H.M. van Emmerik, Papakonstantinou, A., João Gama Monteiro, Isobe, A., Hidaka, M., Kako S, Kataoka, T., Gonçalves, G. (2023). Drones for litter monitoring on coasts and rivers: suitable flight altitude and image resolution. *Mar. Pollut. Bull.* 195, 115521.
- Bao, Z., Sha, J., Li, X., Hanchiso, T., Shifaw, E. (2018). Monitoring of beach litter by automatic interpretation of unmanned aerial vehicle images using the segmentation threshold method. *Mar. Pollut. Bull.* 137, 388–398.
- Burgess, H.K., Herring C.E., Lippiatt S., Lowe S., & Uhrin A.V. (2021). NOAA Marine Debris Monitoring and Assessment Project Shoreline Survey Guide. *NOAA Technical Memorandum NOSOR&R* 56. 20 pp.
- Cheshire, A. C., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jeftic, L., Jung, R.T., Kinsey, S., Kusui, E.T., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M.A., Sheavly, S., Tkalin, A., Varadarajan, S., Wenneker, B., Westphalen, G. (2009). UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter. *UNEP Regional Seas Reports and Studies* 186 (IOC Technical Series No. 83): 120.
- Deidun, A., Gauci, A., Lagorio, S., Galgani, F. (2018). Optimising beached litter monitoring protocols through aerial imagery. *Mar. Pollut. Bull.* 131, 212–217.
- Escobar-S´anchez, G., Haseler, M., Oppelt, N., Schernewski, G. (2021). Efficiency of aerial drones for macrolitter monitoring on baltic sea beaches. *Front. Environ. Sci.* 8, 1–18.
- European Commission (2013). MSDF Guidance on Monitoring Marine Litter. *JRC Scientific and Policy Reports*.
- Fallati, L., Polidori, A., Salvatore, C., Saponari, L., Savini, A., Galli, P. (2019). Anthropogenic Marine Debris assessment with Unmanned Aerial Vehicle imagery and deep learning: a case study along the beaches of the Republic of Maldives. *Sci. Total Environ.* 693, 133581.
- GESAMP (2019) Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean. (P.J. Kershaw, A. Turra and F. Galgani, eds). (IMO/FAO/UNESCO IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). GESAMP Rep. Stud. No. 99.
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Gonçalves, L.M.S., Sobral, P., Bessa, F. (2022). Beach litter survey by drones: mini-review and discussion of a potential standardization. *Environ. Pollut.* 315, 120370.
- Gonçalves, G., Andriolo, U., Pinto, L., Bessa, F. (2020). Mapping marine litter using UAS on a beach-dune system: a multidisciplinary approach. *Sci. Total Environ.* 706.

- Hengstmann, E., Fischer, E.K. (2020). Anthropogenic litter in freshwater environments – study on lake beaches evaluating marine guidelines and aerial imaging. *Environ. Res.* 189.
- Hidaka, M., Matsuoka, D., Sugiyama, D., Murakami, K., Kako, S. (2022). Pixel-level image classification for detecting beach litter using a deep learning approach. *Mar. Pollut. Bull.* 175, 113371.
- Hidaka, M., Murakami, K., Koshidawa, K., Kawahara, S., Sugiyama, D., Kako, S., Matsuoka, D. (2023). BePLi Dataset v1: Beach Plastic Litter Dataset version 1 for instance segmentation of beach plastic litter. *Data Brief.* 48, 109176.
- International Association of Geodesy (IAG), Commission 4: Positioning & Applications, Sub-Commission 4.5: Next Generation RTK, Working Group 4.5.1: Network RTK (2003-2007)
<https://www.wasoft.de/e/iagwg451/intro/introduction.html> (参照 2024-6-30)
- Kako S., Kataoka, T., Matsuoka, D., Takahashi, Y., Hidaka, M., Aliani S., Andriolo, U., Dierssen, H., van Emmerik, T., Gonçalves, G., Martinez-Vicente, V., Mishra, P., Monteiro, JG., Streett, D., Konstantinos, T., Isobe, A. (2024). Advances in plastic litter diagnostics using remote sensing and image processing. (draft as of June 2024)
- Kako, S., Morita, S., Taneda, T. (2020). Estimation of plastic marine debris volumes on beaches using unmanned aerial vehicles and image processing based on deep learning. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111127.
- Martin, C., Parkes, S., Zhang, Q., Zhang, X., McCabe, M.F., Duarte, C.M. (2018). Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring. *Mar. Pollut. Bull.* 131, 662–673.
- Martin, C., Zhang, Q., Zhai, D., Zhang, X., Duarte, C.M. (2021). Enabling a large-scale assessment of litter along Saudi Arabian red sea shores by combining drones and machine learning. *Environ. Pollut.* 277, 116730.
- Merlino, S., Paterni, M., Berton, A., Massetti, L. (2020). Unmanned aerial vehicles for debris survey in coastal areas: long-term monitoring programme to study spatial and temporal accumulation of the dynamics of beached marine litter. *Rem. Sens.* 12, 1260.
- Ministry of the Environment, Government of Japan (2023). Guidelines for local governments on investigation of composition of marine litter, 3rd ed.
- OSPAR Commission (2010). Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beachs in the OSPAR Maritime Area. Edition 1.0.
- Papakonstantinou, A., Batsaris, M., Spondylidis, S., Topouzelis, K. (2021). A Citizen Science Unmanned Aerial System Data Acquisition Protocol and Deep Learning Techniques for the Automatic Detection and Mapping of Marine Litter Concentrations in the Coastal Zone. *Drones*, 5(1):6.
- Proença, P.F., Simões, p. (2020). TACO: Trash annotations in context for litter detection. *Arxiv*.
- Sugiyama, D., Hidaka, M., Matsuoka, D., Murakami, K., Kako, S. (2022). The Beach Litter dataset for image segmentation of beach litter. *Data Brief.* 42, 108072.

Taddia, Y., Corbau, C., Buoninsegni, J., Simeoni, U., Pellegrinelli, A. (2021). UAV Approach for Detecting Plastic Marine Debris on the Beach : A Case Study in the Po Riv-er Delta (Italy) 1-18. *Drones* , 5(4), 140.

Takaya, K., Shibata, A., Mizuno, Y., Ise, T. (2022). Unmanned aerial vehicles and deep learning for assessment of anthropogenic marine debris on beaches on an island in a semi-enclosed sea in Japan. *Environ. Res. Commun.* 4, 015003.