

リモートセンシング技術を用いた海洋ごみモニタリングの手法調和ガイドライン 新旧対照表

ガイドライン本編		改訂後		改訂前		備考	Version																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
チャプター	項目																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
I	1.2	-	<p>表1 リモートセンシング技術を用いた海洋ごみのモニタリング技術に関する主な研究の数 (Kako et al. 2025, draft paper)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">測定場所</th> <th colspan="7">データ取得方法 (リモートセンシング技術)</th> <th colspan="4">画像解析</th> </tr> <tr> <th colspan="7">プラットフォーム</th> <th colspan="4">自動</th> </tr> <tr> <th colspan="7">固定カメラ (UAV)<sup>1)</sup></th> <th colspan="4">手動 (目視)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>ドローン (UAV)<sup>1)</sup></th> <th>気球</th> <th>航空機</th> <th>衛星</th> <th>船舶</th> <th>その他</th> <th>RGB</th> <th>RGB</th> <th>RGB</th> <th>マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR</th> <th>マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR</th> <th>RGB, LIDAR</th> <th>その他</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>海岸(砂丘)<sup>2)</sup></td> <td>3</td> <td>22(7)</td> <td>2</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>13(2)</td> <td>6(1)</td> <td>6(2)</td> <td>10(2)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>橋</td> <td></td> <td>2</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>10</td> <td></td> <td>1</td> <td>8</td> <td>1</td> <td>14</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>河口奥層</td> <td></td> </tr> <tr> <td>河口/海岸</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>河川奥層</td> <td>2</td> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>陸域</td> <td></td> </tr> <tr> <td>その他<sup>3)</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>備考：                      上記の数字は、Kako et al. (2025, draft paper)で参考文献として取り上げている論文の数である。この数字は当該論文が公表された後に変わる可能性がある。                      *1 空中ドローン (UAV, Uncrewed Aerial Vehicle) のことを指す。                      *2 本ガイドラインにおける「海岸」とは、砂や小石で覆われた部分だけでなく、砂丘や、マングロープなどの植生も含む。括弧内の数値は、測定地域における砂丘を対象とした文献の数である。                      *3 研究事例が十分に確認できていない測定場所 (河川及び海洋の水柱/水底等) を示す。</p>	測定場所	データ取得方法 (リモートセンシング技術)							画像解析				プラットフォーム							自動				固定カメラ (UAV) <sup>1)</sup>							手動 (目視)					ドローン (UAV) <sup>1)</sup>	気球	航空機	衛星	船舶	その他	RGB	RGB	RGB	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	RGB, LIDAR	その他	海岸(砂丘) <sup>2)</sup>	3	22(7)	2	2			13(2)	6(1)	6(2)	10(2)				橋		2	1	5	10		1	8	1	14				河口奥層														河口/海岸	1	1					1	1		1				河川奥層	2	6					1	4	2	1	4			陸域														その他 <sup>3)</sup>						3	3						2	<p>表1 リモートセンシング技術を用いた海洋ごみのモニタリング技術に関する主な研究の数</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">測定場所</th> <th colspan="7">データ取得方法 (リモートセンシング技術)</th> <th colspan="4">画像解析</th> </tr> <tr> <th colspan="7">プラットフォーム</th> <th colspan="4">自動</th> </tr> <tr> <th colspan="7">固定カメラ (UAV)<sup>1)</sup></th> <th colspan="4">手動 (目視)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>ドローン (UAV)<sup>1)</sup></th> <th>気球</th> <th>航空機</th> <th>衛星</th> <th>船舶</th> <th>その他</th> <th>RGB</th> <th>RGB</th> <th>RGB</th> <th>マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR</th> <th>マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR</th> <th>RGB, LIDAR</th> <th>その他</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>海岸<sup>2)</sup></td> <td>2</td> <td>13(6)</td> <td>2</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>5(2)</td> <td>5(1)</td> <td>5(3)</td> <td>9(2)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>橋</td> <td></td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>橋支柱</td> <td></td> </tr> <tr> <td>陸域<sup>3)</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>河口</td> <td></td> </tr> <tr> <td>河口/海岸</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>河川奥層</td> <td>1</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>河川支柱</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>陸域<sup>3)</sup></td> <td></td> </tr> <tr> <td>陸域</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>備考：                      上記の数字は、Kako et al. (2024)で参考文献として取り上げている論文の数である。この数字はレビューペーパーが公表された後に変わる可能性がある。                      *1 本ガイドラインにおける「海岸」とは、砂や小石で覆われた部分だけでなく、砂丘や、マングロープなどの植生も含む。括弧内の数値は、測定地域における砂丘を対象とした文献の数である。                      *2 現在の技術の水準では、リモートセンシング技術による海底や河底のごみの測定は限定的であると困難と考えられる。</p>	測定場所	データ取得方法 (リモートセンシング技術)							画像解析				プラットフォーム							自動				固定カメラ (UAV) <sup>1)</sup>							手動 (目視)					ドローン (UAV) <sup>1)</sup>	気球	航空機	衛星	船舶	その他	RGB	RGB	RGB	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	RGB, LIDAR	その他	海岸 <sup>2)</sup>	2	13(6)	2	1			5(2)	5(1)	5(3)	9(2)				橋		2	1	1			1			1				橋支柱														陸域 <sup>3)</sup>														河口														河口/海岸	1	1					1	1		1				河川奥層	1	4					1	2		4				河川支柱									2				2	陸域 <sup>3)</sup>														陸域														<ul style="list-style-type: none"> <li>この表の「ドローン」が空中ドローンを指すものであることを明記した (水中ドローンは「その他」に含まれる)。</li> <li>「測定場所」の項目を表3に合わせて修正した。</li> </ul>	1.0→2.0
測定場所	データ取得方法 (リモートセンシング技術)							画像解析																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	プラットフォーム							自動																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	固定カメラ (UAV) <sup>1)</sup>							手動 (目視)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	ドローン (UAV) <sup>1)</sup>	気球	航空機	衛星	船舶	その他	RGB	RGB	RGB	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	RGB, LIDAR	その他																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
海岸(砂丘) <sup>2)</sup>	3	22(7)	2	2			13(2)	6(1)	6(2)	10(2)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
橋		2	1	5	10		1	8	1	14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
河口奥層																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
河口/海岸	1	1					1	1		1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
河川奥層	2	6					1	4	2	1	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
陸域																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
その他 <sup>3)</sup>						3	3						2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
測定場所	データ取得方法 (リモートセンシング技術)							画像解析																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	プラットフォーム							自動																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	固定カメラ (UAV) <sup>1)</sup>							手動 (目視)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	ドローン (UAV) <sup>1)</sup>	気球	航空機	衛星	船舶	その他	RGB	RGB	RGB	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	マルチスペクトル/ハイパースペクトル/LIDAR	RGB, LIDAR	その他																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
海岸 <sup>2)</sup>	2	13(6)	2	1			5(2)	5(1)	5(3)	9(2)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
橋		2	1	1			1			1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
橋支柱																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
陸域 <sup>3)</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
河口																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
河口/海岸	1	1					1	1		1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
河川奥層	1	4					1	2		4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
河川支柱									2				2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
陸域 <sup>3)</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
陸域																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
I	1.3	-	<p>(i) リモートセンシング技術                      リモートセンシング技術は、直接物理的な接触なしに対象物に関する情報を収集し、処理するために使用される技術である (ASPRS <a href="https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html">https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html</a> 参照 2024-6-30)。プラットフォームは、遠隔計測作業を行うためにセンサーを運搬または搭載できる乗り物 (Jafarbiglu and Pourreza 2022) またはその他の静止物として定義する。本ガイドラインでは、以下のプラットフォームを用いたリモートセンシング技術を対象とする。対象は今後変更する可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定カメラ：海岸線に足場を組んで設置したり、橋梁に固定したりする等、環境中にカメラを設置し、その場所で時系列に画像データを取得するもの。航空機や船舶等の乗り物に固定したカメラは含まない。</li> <li>ドローン：本ガイドラインでは空中ドローン (Uncrewed Aerial Vehicle, UAV) のことを指す。</li> <li>航空機</li> <li>衛星</li> <li>船舶</li> </ul>	<p>(i) リモートセンシング技術                      リモートセンシング技術は、直接物理的な接触なしに対象物に関する情報を収集し、処理するために使用される技術である (ASPRS 2024)。</p> <p>本ガイドラインでは、以下のプラットフォームを用いたリモートセンシング技術を対象とする。対象は今後変更する可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>固定カメラ (海岸線に足場を組んで設置したり、橋梁に固定したりする等、環境中にカメラを設置し、その場所で時系列に画像データを取得するもの。)</li> <li>ドローン (Uncrewed Aerial Vehicle, UAV)</li> <li>航空機</li> <li>衛星</li> <li>船舶</li> </ul>		1.0→2.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														



II	1.5	1.5.2	表5-1 ガイドラインの主な利用者として想定される機関	表4-1 ガイドラインの主な利用者として想定される機関		1.0→2.0																				
II	1.5	1.5.2	表5-2 表5-1における機関を主なガイドラインの対象と想定する理由	表4-2 表4-1における機関を主なガイドラインの対象と想定する理由		1.0→2.0																				
II	2.2	-	図 3-2 各プラットフォームの一般的な画像例 (省略) 各プラットフォームの適切な測定の間隔は、Kako et al. (2025, draft paper)を参照。	図 3-2 各プラットフォームの一般的な画像例 (省略) 各プラットフォームの適切な測定の間隔は、Kako et al. (2024)を参照。		1.0→2.0																				
II	2.3	-	表6 政策課題の例	表5 政策課題の例		1.0→2.0																				
III	3.1	-	3.1 現在のモニタリング手法の技術的成熟度 (省略) 成熟度の評価に当たっては、近年海洋ごみ関連の研究でも導入が検討され始めている。TRL (Technological Readiness Level, 技術成熟度) *という手法を活用する (Bellou et al. 2021) TRLは9つのレベルに分類され、TRL 1が最も低く、TRL 9が最も高い。本ガイドラインでは、図 4の定義に従って、Kako et al. (2025, draft paper)で参照されている既存の海洋ごみ調査や研究に基づき、各技術のTRLを評価した。 その結果、比較的高いTRLで評価され、実用性も高いものとして、ドローンによる海岸モニタリング、固定カメラによる海岸及び河川(表層)モニタリングが挙げられた。そのため、これらの具体的な手法を附属書に記載した。 2025年4月時点の各プラットフォームの具体的なTRLの数字を環境省のウェブサイトを示す ( <a href="https://www.env.go.jp/water/post_76.html">https://www.env.go.jp/water/post_76.html</a> )。 画像解析技術については、現時点で一般的に使用されている用途(タスク)を表7に整理した。なお、本分野は近年研究が加速しており、各技術の成熟度も今後変化していく可能性があることに留意が必要である。  * TRLは、NASA (National Aeronautics and Space Administration) が開発した、特定の技術の成熟度を評価するために用いられる指標の一種であり、様々な技術分野に一般的に応用されている。	3.1 現在のモニタリング手法の技術的成熟度 (省略) 成熟度の評価に当たっては、近年海洋ごみ関連の研究でも導入が検討され始めている。TRL (Technological Readiness Level, 技術成熟度) *という手法を活用する (Bellou et al. 2021) TRLは9つのレベルに分類され、TRL 1が最も低く、TRL 9が最も高い。本ガイドラインでは、図 4の定義に従って、Kako et al. (2024)で参照されている既存の海洋ごみ調査や研究に基づき、各技術のTRLを評価した(表6-1)。  画像解析技術については、現時点で一般的に使用されている用途(タスク)を表6-2に整理した。なお、本分野は近年研究が加速しており、各技術の成熟度も今後変化していく可能性があることに留意が必要である。  * TRLは、NASA が開発した、特定の技術の成熟度を評価するために用いられる指標の一種であり、様々な技術分野に一般的に応用されている。	海洋ごみモニタリングのためのリモートセンシング技術については、技術の進捗めざましい分野であることから、TRLの評価値は固定された値ではなく、時とともに頻繁にアップデートされるものである。 そのため、各プラットフォームのTRLの評価値については、ガイドライン本体に掲載するのではなく、ガイドラインを紹介するウェブサイトに参加情報として別途掲載し、ガイドライン本体にはそのURLのみ記載することとした。 これにより、ガイドラインの利用者からTRLが固定の値であると誤解される可能性が低くなり、アップデートもより容易になる。	1.0→2.0																				
III	3.1	-	(削除) ※付録資料として環境省HPに掲載。 ■海洋プラスチックごみのモニタリング手法調和とデータ整備 <a href="https://www.env.go.jp/water/post_76.html">https://www.env.go.jp/water/post_76.html</a>	表6-1 各プラットフォームの技術成熟度 (TRL) <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ドローン</th> <th>固定カメラ</th> <th>航空機</th> <th>衛星</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>海岸/河岸/湖岸/陸域</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>TBD (To Be Discussed)</td> </tr> <tr> <td>海面/河口</td> <td>6</td> <td>N/A (Not applicable)</td> <td>TBD</td> <td>TBD</td> </tr> <tr> <td>河川表層</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>N/A</td> <td>TBD</td> </tr> </tbody> </table> 備考: TRLの評価はKako et al. (2024)で参照されている既存の海洋ごみ調査や研究、その他確認された事例に基づいて行った。		ドローン	固定カメラ	航空機	衛星	海岸/河岸/湖岸/陸域	8	7	7	TBD (To Be Discussed)	海面/河口	6	N/A (Not applicable)	TBD	TBD	河川表層	6	7	N/A	TBD		1.0→2.0
	ドローン	固定カメラ	航空機	衛星																						
海岸/河岸/湖岸/陸域	8	7	7	TBD (To Be Discussed)																						
海面/河口	6	N/A (Not applicable)	TBD	TBD																						
河川表層	6	7	N/A	TBD																						
III	3.1	-	表7 タスクと画像解析技術の対応表 備考: *2 人工ごみと自然物の分類は行われているが、現時点ではそれ以上の詳細な分類はできない(Kako et al. 2025, draft paper)。	表7 タスクと画像解析技術の対応表 備考: *2 人工ごみと自然物の分類は行われているが、現時点ではそれ以上の詳細な分類はできない(Kako et al. 2024)。		1.0→2.0																				

III	3.1	-	<p>3.2.1 リモートセンシング技術のプラットフォーム</p> <p>リモートセンシング技術については、図 3-1 に示したとおり、画像解像度と調査可能な範囲は一般的に反比例する。リモートセンシング技術は画像解像度の問題から手動調査のように詳細なごみの分類は困難であるが、手動では現実的に不可能な短期間の連続観測や広域の一括観測が可能なが大きな利点である。さらに、複数のプラットフォームを組み合わせることで、さまざまな時空間スケールのプラスチックごみを観測できる (Kako et al. 2025, draft paper)。</p> <p>リモートセンシング技術の典型的な技術的課題と、これらを踏まえた将来の展望を表 8 に示す。</p>	<p>3.2.1 リモートセンシング技術のプラットフォーム</p> <p>リモートセンシング技術については、図 3-1 に示したとおり、画像解像度と調査可能な範囲は一般的に反比例する。リモートセンシング技術は手動調査と比較して広範囲のごみのデータを手でできるが、画像解像度が低い手動調査のように詳細なごみの分類は困難である。</p> <p>その他、リモートセンシング技術の典型的な技術的課題と、これらを踏まえた将来の展望を表 7 に示す。</p>		1.0→2.0																								
III	3.1	-	<p>表 8 リモートセンシング技術の典型的な技術的課題と将来の展望 (Kako et al. 2025, draft paper)</p>	<p>表 7 リモートセンシング技術の典型的な技術的課題と将来の展望 (Kako et al. 2024)</p>		1.0→2.0																								
III	3.1	-	<table border="1" data-bbox="405 453 869 778"> <thead> <tr> <th></th> <th>典型的な技術的課題</th> <th>将来の展望</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>固定カメラ</td> <td>固定カメラは画角が限られており、海岸全体を捉えることができない。また、経路上の制約があるため、海辺や河川など、観測の対象となる海域で観測の設置可能な場所に限定される。</td> <td>固定カメラでは、ごみ量の時間的変動を得るためのリアルタイム観測が可能であり、UAV では、ごみ量の空間分布を記録するための一定間隔のスナップショットの取得が可能である。両プラットフォームを組み合わせることで、互いの欠点を補完し、砂浜全体のような広域の時空間変動に関する新たな情報を得ることが可能である。</td> </tr> <tr> <td>ドローン</td> <td>ドローンによる観測には通常、各観測にパイロットとアシスタントの少なくとも 2 人のオペレーターが必要となるため、数日おきなど頻繁な観測の実施は困難である。</td> <td>両プラットフォームが広域の一括観測が可能であることは明らかであるため、UAV を使用して Ground truth (真値) のデータを収集し、航空機や衛星システムで撮影された画像を確認された、ごみが複雑したすい複数の場所での精度を評価するアプローチが提案されている。</td> </tr> <tr> <td>航空機、衛星</td> <td>RGB カメラなどを使った広範囲のごみ測定の手法がまだ確立されていない。</td> <td>両プラットフォームとも広域を一括で測定するには非常に優れているので、ドローンでより詳細な測定を行うとともに、航空機や衛星を使ってごみが溜まりやすい場所の精度を評価することも有効であると考えられる。</td> </tr> </tbody> </table> <p>参考: Kako et al. 2025</p>		典型的な技術的課題	将来の展望	固定カメラ	固定カメラは画角が限られており、海岸全体を捉えることができない。また、経路上の制約があるため、海辺や河川など、観測の対象となる海域で観測の設置可能な場所に限定される。	固定カメラでは、ごみ量の時間的変動を得るためのリアルタイム観測が可能であり、UAV では、ごみ量の空間分布を記録するための一定間隔のスナップショットの取得が可能である。両プラットフォームを組み合わせることで、互いの欠点を補完し、砂浜全体のような広域の時空間変動に関する新たな情報を得ることが可能である。	ドローン	ドローンによる観測には通常、各観測にパイロットとアシスタントの少なくとも 2 人のオペレーターが必要となるため、数日おきなど頻繁な観測の実施は困難である。	両プラットフォームが広域の一括観測が可能であることは明らかであるため、UAV を使用して Ground truth (真値) のデータを収集し、航空機や衛星システムで撮影された画像を確認された、ごみが複雑したすい複数の場所での精度を評価するアプローチが提案されている。	航空機、衛星	RGB カメラなどを使った広範囲のごみ測定の手法がまだ確立されていない。	両プラットフォームとも広域を一括で測定するには非常に優れているので、ドローンでより詳細な測定を行うとともに、航空機や衛星を使ってごみが溜まりやすい場所の精度を評価することも有効であると考えられる。	<table border="1" data-bbox="1034 453 1621 778"> <thead> <tr> <th></th> <th>典型的な技術的課題</th> <th>将来の展望</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>固定カメラ</td> <td>固定カメラは画角が限られており、海岸全体を捉えることができない。</td> <td>固定カメラとドローンを組み合わせ、それぞれごみの量の時間的変化を得るためのリアルタイム観測と、量の空間分布を記録するための一定間隔でのスナップショットを撮影することが有効であると考えられる。</td> </tr> <tr> <td>ドローン</td> <td>ドローンによる測定は、10,000 m<sup>2</sup> オーダーの範囲の海岸でも準備開始から測定完了まで半日程度かかる。撮影後のデータ処理にも時間を要する。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>航空機、衛星</td> <td>RGB カメラなどを使った広範囲のごみ測定の手法がまだ確立されていない。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		典型的な技術的課題	将来の展望	固定カメラ	固定カメラは画角が限られており、海岸全体を捉えることができない。	固定カメラとドローンを組み合わせ、それぞれごみの量の時間的変化を得るためのリアルタイム観測と、量の空間分布を記録するための一定間隔でのスナップショットを撮影することが有効であると考えられる。	ドローン	ドローンによる測定は、10,000 m <sup>2</sup> オーダーの範囲の海岸でも準備開始から測定完了まで半日程度かかる。撮影後のデータ処理にも時間を要する。		航空機、衛星	RGB カメラなどを使った広範囲のごみ測定の手法がまだ確立されていない。			1.0→2.0
	典型的な技術的課題	将来の展望																												
固定カメラ	固定カメラは画角が限られており、海岸全体を捉えることができない。また、経路上の制約があるため、海辺や河川など、観測の対象となる海域で観測の設置可能な場所に限定される。	固定カメラでは、ごみ量の時間的変動を得るためのリアルタイム観測が可能であり、UAV では、ごみ量の空間分布を記録するための一定間隔のスナップショットの取得が可能である。両プラットフォームを組み合わせることで、互いの欠点を補完し、砂浜全体のような広域の時空間変動に関する新たな情報を得ることが可能である。																												
ドローン	ドローンによる観測には通常、各観測にパイロットとアシスタントの少なくとも 2 人のオペレーターが必要となるため、数日おきなど頻繁な観測の実施は困難である。	両プラットフォームが広域の一括観測が可能であることは明らかであるため、UAV を使用して Ground truth (真値) のデータを収集し、航空機や衛星システムで撮影された画像を確認された、ごみが複雑したすい複数の場所での精度を評価するアプローチが提案されている。																												
航空機、衛星	RGB カメラなどを使った広範囲のごみ測定の手法がまだ確立されていない。	両プラットフォームとも広域を一括で測定するには非常に優れているので、ドローンでより詳細な測定を行うとともに、航空機や衛星を使ってごみが溜まりやすい場所の精度を評価することも有効であると考えられる。																												
	典型的な技術的課題	将来の展望																												
固定カメラ	固定カメラは画角が限られており、海岸全体を捉えることができない。	固定カメラとドローンを組み合わせ、それぞれごみの量の時間的変化を得るためのリアルタイム観測と、量の空間分布を記録するための一定間隔でのスナップショットを撮影することが有効であると考えられる。																												
ドローン	ドローンによる測定は、10,000 m <sup>2</sup> オーダーの範囲の海岸でも準備開始から測定完了まで半日程度かかる。撮影後のデータ処理にも時間を要する。																													
航空機、衛星	RGB カメラなどを使った広範囲のごみ測定の手法がまだ確立されていない。																													
III	3.2	3.2.1	<p>コラム 衛星による海洋ごみモニタリングの現状と将来の展望 (詳細はガイドライン本文を参照)</p>	(追加)		1.0→2.0																								
III	3.2	3.2.2	<p>3.2.2 画像解析</p> <p>機械学習とディープラーニングに基づく画像処理技術については、大規模なデータセットを活用して、画像の色や形などの複雑な特徴を検出できるモデルが開発され、より柔軟なごみの検出が可能となっている。画像解析の方法およびデータ公開に関する詳細は、本ガイドラインの附属書セクション II に記載している。</p> <p>手作業による方法ではあらゆる大きさの対象物を識別できるのに対し、画像処理による方法では、ごみの大きさが比較的小さい場合や、障害物がある場合 (ごみが他の物体に隠れるなど) は解析するのが困難であることが課題である (Kako et al. 2025, draft paper)。</p> <p>ディープラーニングに基づく画像解析技術の開発には、専門的な知識及びモデル学習に用いるデータを準備し、そのデータに海洋ごみの位置や分類などの情報を付与する作業 (アノテーション作業) が必要である。現状の画像解析手法においては、収集されたデータ全てに対し手動での確認及びアノテーションを行う必要があり、学習データの作成には多大な時間と費用を要する。そのため、リモートセンシング技術のプラットフォームを問わずこれらのデータセットを共有することが不可欠である (Kako et al. 2025, draft paper)。</p>	<p>3.2.2 画像解析</p> <p>機械学習とディープラーニングに基づく画像処理技術については、大規模なデータセットを活用して、画像の色や形などの複雑な特徴を検出できるモデルが開発され、より柔軟なごみの検出が可能となっている。しかしながら、学習データの作成には高いコストがかかるため、プラットフォームを問わず、これらのデータセットを共有することが不可欠である。また、手作業による方法では、あらゆる大きさの対象物を識別できるが、画像処理による方法では、ごみの大きさが比較的小さい場合や、障害物がある場合 (ごみが他の物体に隠れるなど) は解析するのが困難である (Kako et al. 2024)。</p>		1.0→2.0																								

III	3.2	3.2.2	<p>データセットの共有に関して、海洋生態学の研究分野では、アノテーションのクラウドコンピューティング(インターネット経由で作業やデータを共有する技術)を活用する例がある。例えば表 9に示すようなウェブアプリケーションが専門家にに対し一部無料で提供されている。</p> <p>また、アップロードされた画像の中から対象物を自動検出し、イメージセグメンテーションにより、ピクセル単位で分類するプログラムを搭載するサービスもある。サービスの利用者は、取得した画像をウェブアプリケーション上にアップロードし、自動検出された対象物に対してアノテーションを行い、オンライン上で共有することができる。共有されたラベルデータは、その分類を変更することができ、データ分類の一貫性を担保することが可能である。このようなアプリケーションは、海洋ごみ分野でも活用されている。具体的には、表 9に示すBIIGLEは、海底に蓄積したごみの空間的、時間的変動を解析する研究に使用されており、海洋ごみのラベルデータの共有がされている(Tekman et. al. 2017)。</p> <p>海洋ごみのラベルデータの共有が進めば、AIによる画像解析とごみの自動検出に必要なデータの収集及び蓄積がアプリケーションを通じて行われる。また、収集されたラベルデータの分類を変更できるため、リモートセンシング技術の異なるプラットフォーム間でデータ統合が容易になる。アプリケーションを通じて蓄積されたデータは、リモートセンシング技術で収集した画像又は動画中のごみを自動で検出、分類するAIの構築や発展に利用可能である。</p> <p>表9 アノテーションのクラウドコンピューティングサービスの例 (詳細はガイドライン本文を参照)</p>	(追加)		1.0→2.0
III	3.2	3.2.3	<p>3.2.3 スマートフォンのアプリケーションを活用した継続的な学習データの収集 (詳細はガイドライン本文を参照)</p>	(追加)		1.0→2.0
III	3.2	3.2.4	3.2.4 リモートセンシング技術による総合的なモニタリング	3.2.3 リモートセンシング技術による総合的なモニタリング		1.0→2.0
III	3.3	-	<p>3.3 ガイドラインの改訂 本ガイドラインはリモートセンシング技術の発展に伴って、随時更新していく予定である。附属書に関しても、表 3に示したとおり、ドローン及び固定カメラ以外の技術的な内容を適宜追加する予定である。</p>	<p>3.3 ガイドラインの改訂 本ガイドラインはリモートセンシング技術の発展に伴って、随時更新していく予定である。附属書に関しては、表 3 及び表 6-1 に示したとおり、固定カメラ、航空機、衛星について今後追加していく予定である。</p>		1.0→2.0

附属書						
セクション	項目	改訂後	改訂前	備考	Version	
I	1.1	1.1.2	<p>1.1.2 調査の実施 (7)海岸ごみの考察にあたり有用なデータ (詳細はガイドライン本文を参照)</p>	(追加)	1.2、1.3の項目に揃え、海岸ごみの考察にあたり有用なデータについて項目を追加した。	1.0→2.0
I	1.1	-	<p>図1.1.1 表1.1.1</p>	<p>図1 表1</p>	附属書の追加に伴い、図表番号の付け方を変更した。	1.0→2.0
I	1.2	-	<p>1.2 固定カメラを活用した海岸漂着ごみ調査手法 (詳細はガイドライン本文を参照)</p>	(追加)		1.0→2.0
I	1.3	-	<p>1.3 固定カメラを活用した河川流下ごみ調査手法 (詳細はガイドライン本文を参照)</p>	(追加)		1.0→2.0

II	2.1	2.1.1	<p>2.1.1 画像からのごみの検出 (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。また、河川にて固定カメラで撮影した動画の場合には、動画から画像を切り出して、各画像についてごみの個数やごみのピクセル数、分類を記録する。動画から画像の切り出しは、専用のアプリケーションソフトを用いる方法のほか、動画や画像の編集ソフト等を用いて手動で切り出すことも可能であるが、後者の方法は効率が悪く、作業負担が大きいと、現実的には推奨されない。</p> <p>この他にも、画像中のごみが占めている範囲からごみの占める範囲やごみの個数を手動で計測するにあたり、アノテーションツールを用いることが有効である。アノテーションツールとは、機械学習のための教師データを作成するアプリケーションのことだが、画像上の物体を手動で囲ったりタグ付けしたりすることができるため、手動検出にも活用することができる。アノテーションツールには無償で公開されているものが複数あり、アノテーションツールによりごみの占める範囲を囲った出力データからは、プログラミングを用いてピクセル数を求めることが可能な場合がある。実証試験 (Appendix 23) では、アノテーションツール Labelme (Wada, 2016 GitHub, Inc.) によりごみの範囲を囲い、その出力データ (拡張子: json) から Python によりごみのピクセル数を求めた。Labelme を用いてごみを囲った出力データから、Python でごみのピクセル数を求めるコードは環境省ウェブサイト参照されたい (BeachLitterCounter, <a href="https://www.env.go.jp/water/post_76.html">https://www.env.go.jp/water/post_76.html</a>)。</p> <p>なお、これまでの研究で様々な要素 (表 13 参照) によって手動検出の検出率にばらつきが生じることがわかっている。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>Version 1.0 では附属書のセクション I の内容がドローンによる海岸のごみのモニタリングのみであったのに対し、Version 2.0 では固定カメラによる海岸及び河川の内容が追加された。これに伴い、セクション II の画像解析についても、「ドローンによる海岸漂着物のモニタリング」に限定せず、広くりモートセンシング技術によるごみのモニタリング全般を扱うこととした。</p> <p>また、河川固定カメラで撮影した動画から画像を切り出して解析する方法や、画像からごみの個数を目視で検出する際に活用できる方法を追記した。</p>	1.0→2.0																																				
II	2.1	2.1.1	<p>表 13 検出率に関連する要素</p> <table border="1" data-bbox="405 847 1016 1262"> <thead> <tr> <th>検出率に関連する要素 (Andriolo et al. 2020a; Escobar-Sánchez et al. 2021)</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>画像解像度 (GSD)</td> <td>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。</td> </tr> <tr> <td>作業者の経験</td> <td>例えば、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)。</td> </tr> <tr> <td>画像の背景</td> <td>砂、植生、足跡等 (Andriolo et al. 2020a)</td> </tr> <tr> <td>ごみの状況</td> <td>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)</td> </tr> <tr> <td>ごみのサイズ</td> <td>大きいほど (2.5 cm 以上) 見つけやすい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。</td> </tr> <tr> <td>ごみの色</td> <td>例えば、海岸においては、白、黒、茶、透明は検出しづらい一方で、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)。</td> </tr> <tr> <td>ごみの形状</td> <td>ロープ・ひも、縋形や方形は検出しづらい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。</td> </tr> <tr> <td>環境条件</td> <td>海岸後背地の植生、天候等</td> </tr> </tbody> </table>	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	例えば、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)	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)	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)。	ごみの色	例えば、海岸においては、白、黒、茶、透明は検出しづらい一方で、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)。	ごみの形状	ロープ・ひも、縋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	<p>表 13 検出率に関連する要素</p> <table border="1" data-bbox="1034 847 1646 1262"> <thead> <tr> <th>検出率に関連する要素 (Andriolo et al. 2020a; Escobar-Sánchez et al. 2021)</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>画像解像度 (GSD)</td> <td>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 の値を下げることができる。</td> </tr> <tr> <td>作業者の経験</td> <td>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)。</td> </tr> <tr> <td>画像の背景</td> <td>砂、植生、足跡等 (Andriolo et al. 2020a)</td> </tr> <tr> <td>海岸漂着ごみの状況</td> <td>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)</td> </tr> <tr> <td>海岸漂着ごみのサイズ</td> <td>大きいほど (2.5 cm 以上) 見つけやすい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。</td> </tr> <tr> <td>海岸漂着ごみの色</td> <td>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)。</td> </tr> <tr> <td>海岸漂着ごみの形状</td> <td>ロープ・ひも、縋形や方形は検出しづらい (Escobar-Sánchez et al. 2021)。</td> </tr> <tr> <td>環境条件</td> <td>海岸後背地の植生、天候等</td> </tr> </tbody> </table>	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 の値を下げることができる。	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、縋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		1.0→2.0
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	例えば、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)																																									
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)																																									
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)。																																									
ごみの色	例えば、海岸においては、白、黒、茶、透明は検出しづらい一方で、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)。																																									
ごみの形状	ロープ・ひも、縋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																																									
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 の値を下げることができる。																																									
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、縋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																																									
II	2.1	2.1.1	<p>また、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。 (省略)</p>	<p>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。 (省略)</p>		1.0→2.0																																				

II	2.1	2.1.1	<p>(2) 自動検出 撮影データが動画の場合には、動画から静止画像を切り出してから検出を行う。画像から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。</p>	<p>(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。</p>		1.0→2.0
II	2.1	2.1.1	<p>それぞれの手法の特徴を考慮し、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、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用している。 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、ごみが集積し、個々のごみの識別が困難な場合に適用している。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。 (省略)</p> <p>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カテゴリーに分類した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、リモートセンシング技術によって得られた画像にも適用可能である。 (省略)</p>	<p>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用している。 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用している。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。 (省略)</p> <p>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カテゴリーに分類した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。 (省略)</p>		1.0→2.0
II	2.1	2.1.1	<p>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を開発した (BeachLISA: <a href="https://beach-ai.jamstec.go.jp/">https://beach-ai.jamstec.go.jp/</a>)。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&amp;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。 リモートセンシング技術により得られ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 (別添1、2、3参照)。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、リモートセンシング技術でごみを検出することは困難である。</p>	<p>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&amp;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。</p>		1.0→2.0
II	2.1	2.1.2	<p>2.1.2 ごみの定量化 (1) ドローンによる海岸漂着ごみ画像からの定量化 (省略)</p>	<p>2.1.2 海岸漂着ごみの定量化 (省略)</p>	<p>(2) 及び(3)に固定カメラによるごみの画像の定量化についての内容を追加した。これに伴い、ガイドラインVersion 1.0で記載していたドローンからのごみの画像の定量化についての内容に(1)としてタイトルを追記した。</p>	1.0→2.0

II	2.1	2.1.2	図 2.1.3 ドローンによる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	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		1.0→2.0
II	2.1	2.1.2	(2) 固定カメラによる海岸漂着ごみ画像からの定量化 (詳細はガイドライン本文を参照)	(追加)		1.0→2.0
II	2.1	2.1.2	(3) 固定カメラによる河川流下ごみ動画からの定量化 (詳細はガイドライン本文を参照)	(追加)		1.0→2.0
II	2.2	2.2.1	<p>2.2.1 データの公開における単位 ドローンの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)。</p> <p>固定カメラを用いた海岸漂着ごみ調査においては、画像中のごみのピクセル数及び被覆面積が過去の調査で用いられた(Kako et al. 2010)。また、実証試験においては、手動検出により海岸漂着ごみのピクセル数、個数、体積を、自動検出により海岸漂着ごみのピクセル数、被覆面積を算出した(別添2参照)。</p> <p>固定カメラを用いた河川流下ごみ調査の過去の事例においては、ごみの個数や被覆面積が撮影動画から求められている(Kataoka et al.2020, Lieshout et al.2020)。さらに、これらを撮影範囲の幅及び動画の撮影時間で除することで、個数や被覆面積を単位としたごみのフラックス(<math>[\text{個}/\text{m}/\text{min}] [\text{m}^2/\text{m}/\text{min}]</math>)を求めることができる(Kataoka et al.2020)。また、あらかじめごみの種類ごとの重量を現地で計測することで、重量フラックス<math>[\text{g}/\text{m}/\text{min}]</math>についても推定することが可能である(Kataoka et al.2020, 別添3)。</p> <p>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、あるいは単位時間当たり(フラックス))の単位を選択することが考えられる(Deidun et al. 2018)。</p> <p>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。</p>	<p>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)。</p> <p>固定カメラを用いた海岸漂着ごみ調査においては、画像中のごみのピクセル数及び被覆面積が過去の調査で用いられた(Kako et al. 2010)。また、実証試験においては、手動検出により海岸漂着ごみのピクセル数、個数、体積を、自動検出により海岸漂着ごみのピクセル数、被覆面積を算出した(別添2参照)。</p> <p>固定カメラを用いた河川流下ごみ調査の過去の事例においては、ごみの個数や被覆面積が撮影動画から求められている(Kataoka et al.2020, Lieshout et al.2020)。さらに、これらを撮影範囲の幅及び動画の撮影時間で除することで、個数や被覆面積を単位としたごみのフラックス(<math>[\text{個}/\text{m}/\text{min}] [\text{m}^2/\text{m}/\text{min}]</math>)を求めることができる(Kataoka et al. 2020)。また、あらかじめごみの種類ごとの重量を現地で計測することで、重量フラックス<math>[\text{g}/\text{m}/\text{min}]</math>についても推定することが可能である(Kataoka et al. 2020, 別添3)。</p> <p>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)。</p> <p>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。</p>	固定カメラを用いた海岸漂着ごみ調査及び河川流下ごみ調査における、データの単位についての記述を追加した。	1.0→2.0
II	2.2	2.2.1	表 2.2.1 アンケート調査結果におけるドローン調査におけるデータの単位	表 15 アンケート調査結果におけるデータの単位		1.0→2.0
II	2.2	2.2.1	図 2.2.1 ドローン調査において使用されたデータ単位のアンケート結果	図 12 使用されたデータ単位のアンケート結果		1.0→2.0

II	2.2	2.2.2	<p><b>2.2.2 公開するデータの内容</b> ドローン調査の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)。</p> <p>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(<a href="https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/">https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/</a>))、Coastal Marine Litter Observatory(CMLO,<a href="https://cmlo.aegean.gr/">https://cmlo.aegean.gr/</a>))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。</p> <p>海岸における固定カメラ調査においては、継続的に長期間のデータを取得することが多いことから、時系列変動のデータを公表する場合がある。Kako et al.(2010)の事例では、ごみの被覆面積の時系列変動が示されている(図14参照)。また、画像の中でごみが占めるピクセル数の時系列変動を結果として示す場合もある(別添2参照)。</p> <p>河川における固定カメラ調査においては、ごみの個数や、個数・被覆面積・重量によるごみのフラックス(〔個/m/min〕、〔m<sup>2</sup>/m/min〕、〔g/m/min〕)を結果として示した事例がある(Kataoka et al. 2020, Lieshout et al. 2020, 別添3)。さらに、河川流量を基に、調査対象の河川における年間のごみ流下個数を算出して示した例や、地域行政区分など広域な地域全体からのごみの流下量を算出して示した事例も存在する(環境省 瀬戸内海へのプラスチックごみ流入実態調査マニユアル、2024)。年間流下個数の算出の手法等については、別添3を参照。</p> <p>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。</p>	<p><b>2.2.2 データの公開</b> 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)。</p> <p>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(<a href="https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/">https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/</a>))、Coastal Marine Litter Observatory(CMLO,<a href="https://cmlo.aegean.gr/">https://cmlo.aegean.gr/</a>))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。</p> <p>(追加)</p> <p>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。</p>	固定カメラを用いた海岸漂着ごみ調査及び河川流下ごみ調査における、データの単位についての記述を追加した。	1.0→2.0
II	2.2	2.2.2	図 15 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	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		1.0→2.0
II	2.2	2.2.2	図 2.2.3 固定カメラによる海岸漂着ごみの時系列変動調査成果の例 大串海岸において、領域内の海岸漂着ごみが占める面積の時系列。背景値が30%以上のもの。各曲線の意味については左上を参照。欠損値は直線補間。(Kako et al. 2010より翻訳、加工)	(追加)		1.0→2.0

附属書別添資料					
附属書別添	項目	改訂後	改訂前	備考	Version
2	-	-	附属書別添2: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 (詳細はガイドライン本文を参照)	(追加)	1.0→2.0
3	-	-	附属書別添3:固定カメラを活用した河川流下ごみ調査の実証試験結果 (詳細はガイドライン本文を参照)	(追加)	1.0→2.0