

4.5. 海洋プラスチックごみの発生抑制にむけた総括

4.5.1. 漂着プラスチックごみの発生源と対策

本調査で対象とした 5 河川ごとに、プラスチックごみの発生源の推定を行った。それぞれの河川流域において、ごみやマイクロプラスチックの調査結果をもとに、河川と海岸からのごみやマイクロプラスチックの発生源を推定した。推定された発生源ごとに、想定される対策を短期的対策と長期的対策に分けて考察した。

漂着ごみの発生源の経路

- A：河川を通じた陸域(上流域)からの流出物
- B：海岸周辺の陸域で発生したごみ(レクリエーションごみ等)
- C：海域由来のごみ(漁業由来、海外由来、国内の他自治体から漂着)

漂着マイクロプラスチックの発生源の経路

- D：河川からの流下後、海岸への堆積
- E：海岸域に堆積したごみの風化・劣化
- F：海域由来のマイクロプラスチックの漂着
- G：生活排水由来の糸くず状のマイクロプラスチックの放出
- H：下水処理場に起因するマイクロプラスチックの放出
- I：堰に堆積しているマイクロプラスチックの放出
- H：流域面積・人口増加に伴う面源負荷

この経路を考慮した際に、想定される対策を短期的・長期的な解決策にわけて、表 4-11 及び表 4-12 に列挙した。

短期的な解決策について考察する。最も根本的な解決策は、河川ごみと漂着ごみを発生させない、もしくは発生してもすぐさま取り除く方法である。先行研究により、2 か月以上ごみが放置されると、マイクロプラスチックになる可能性が高くなることが示されているため、プラスチックの劣化速度から考えると、ごみの清掃頻度は 2 か月以内が有効であると考えられる。ごみを捨てさせないための直接的な対策としては、ごみの投棄を防止するための条例の制定やパトロール等の監視活動、警告看板の設置等が考えられる。また、ごみの清掃頻度をあげることで、ごみの少ない環境を創出し、ごみの投棄等が行われにくい環境づくりも大切となる。

マイクロプラスチックに限定した対策としては、マイクロファイバー汚染対策が考えられる。これは、化学繊維の衣類を選択することによって、ポリエチレンテレフタレート(PET)をはじめとする微細な糸くず状の繊維が下水に放出される現象が生じており、本調査においても市街地の下流において糸くず状のマイクロプラスチックが多く確認された。対策としては、洗濯の際に洗濯ネットを用いることで微細な化学繊維の放出を防ぐ、また化学繊維の使用をとりやめ、綿や麻、絹などの天然繊維を用いることも考えられる。本調査により、とりわけ陸域のドリフトラインに多くのマイクロプラスチックが残存していることが判明した。現状、海洋に放出されたマイクロプラスチックの有効な削減対策は存在しない。そのため、砂浜のドリフトラインにマイクロプラスチックが集積していることに着目して、表面の砂を定期的に回収することで

効率的にマイクロプラスチックを回収できる可能性が考えられる。しかしながら、この手法も現実的な実現性は低いため、砂浜におけるマイクロプラスチックの流入負荷源を取り除くことが大切になる。

現在、我々の周りには便利な一過性のプラスチック製品が溢れており、ビニール袋や食品容器などの使い捨て製品を使用・廃棄している。そのため、廃棄されるごみの量が減らず、プラスチックごみとして排出されてしまう。長期的な解決策としては、繰り返し使用できる製品などを選択的に利用することによって、一過的に利用されるプラスチックを減らすことがあげられる。また、ごみ等は風等でも散乱してしまうため、ごみの散乱を防ぐためには個人個人の努力が欠かせない。これらの長期的な解決策を行うためには、環境教育や意識啓発により、リデュース・リユースの推進や、ごみの投棄等に対する意識改革を行うことが必要である。環境教育や意識改革を行うためのツールとして、インターネットやパンフレットなどの広報手段は有効である。

本調査において、下水処理場や堰周辺におけるマイクロプラスチックの挙動が確認できなかった。挙動を確認できれば、今後の対策の立案にも寄与できると考えられるため、長期的な解決策の一つとして、下水処理場や堰におけるマイクロプラスチックの挙動の確認も列挙した。

表 4-11 漂着プラスチックごみの発生源の概要

漂着プラスチックごみの発生源	短期的解決策	長期的解決策
A: 河川ごみの海岸への漂着 B: 海岸域での生活系ごみの散乱等(レクリエーションごみ等) C: 海岸域への漁業・海外ごみの漂着	<ul style="list-style-type: none"> ・河川・海岸ごみの回収 ・河川・海岸ごみの投棄等散乱防止対策 ・ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・意識啓発 ・環境教育の推進 ・リユース容器・製品の利用促進

表 4-12 海岸マイクロプラスチックの発生源の概要

海岸マイクロプラスチックの発生源	短期的解決策	長期的解決策
D: 河川域のマイクロプラスチックが漂着 E: 海岸のごみが風化・劣化して発生 F: 海域由来のマイクロプラスチックが漂着 G: 市街地からの糸くず状のMPの流入 H: 下水処理場に関連したMPの流入 I: 堰に堆積しているMPの放出 J: 流域面積・人口密度の増加に伴う面源負荷	<ul style="list-style-type: none"> ・河川・海岸ごみの回収 ・河川・海岸ごみの投棄等散乱防止対策 ・ごみの回収運動の実施 ・ドリフトライン周辺の海岸清掃 ・南町堰直上の浚渫 	<ul style="list-style-type: none"> ・意識啓発 ・環境教育の推進 ・リユース容器・製品の利用促進 ・下水処理場に着目したMPの挙動の確認 ・堰に着目したMPの挙動の確認 ・洗濯時の洗濯ネットの使用等

以上の結果の総括として、表 4-13 に流域ごとのプラスチックごみに関する短期的解決策と長期的解決策を示した。

表 4-13 流域ごとのプラスチックごみに関する短期的解決策と長期的解決策

流域	削減対象	短期的解決策	長期的解決策
後志利別川	河川ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 環境教育の推進 リユース容器・製品の利用促進
	漂着ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 海岸ごみの回収 海岸ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 リユース容器・製品の利用促進
石狩川	河川ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 環境教育の推進 リユース容器・製品の利用促進 洗濯時の洗濯ネットの使用等
	漂着ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 リユース容器・製品の利用促進
天塩川	河川ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 環境教育の推進 リユース容器・製品の利用促進 洗濯時の洗濯ネットの使用等
	漂着ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 リユース容器・製品の利用促進
常呂川	河川ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 南町堰直上の浚渫 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 環境教育の推進 リユース容器・製品の利用促進 洗濯時の洗濯ネットの使用等 南町堰開放時(ゲート操作時)の MP の流下対策の検討 下水処理場に着目した MP の挙動確認
	漂着ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 リユース容器・製品の利用促進
十勝川	河川ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 環境教育の推進 リユース容器・製品の利用促進 洗濯時の洗濯ネットの使用等
	漂着ごみ	<ul style="list-style-type: none"> 河川ごみの回収 河川ごみの投棄等散乱防止対策 ごみの回収運動の実施 	<ul style="list-style-type: none"> 意識啓発 リユース容器・製品の利用促進 下水処理場に着目した MP の挙動確認

4.5.2. 今後の課題

本調査により、解明できていない問題が明らかになった。更なる検討が必要な課題は下記の5つである(表 4-14)。

- a：漂着ごみの堆積速度が不明である。
- b：下水処理場とマイクロプラスチックの関係が不明である。
- c：河川中に堆積しているマイクロプラスチックの存在量が不明である。堰の上流側にも堆積していると考えられる。
- d：出水時に大量のマイクロプラスチックが放出される可能性の検討が不十分である。
- e：降雨時等の面源によるマイクロプラスチックへの影響を整理できていない。

a についての提案

→同一調査地点での海岸漂着ごみモニタリング、これにより年間の堆積速度の把握

b についての提案

→下水処理水を対象にしたマイクロプラスチック調査

c,d についての提案

→堰や淵の底泥を対象にしたマイクロプラスチック調査の実施

e についての提案

→都市部の排水路等における降雨時のマイクロプラスチック調査、または道路洗浄水のマイクロプラスチック調査

表 4-14 次年度に向けた調査の課題

次年度以降の課題	方法
a: 漂着ごみの堆積速度が不明	・同一調査地点での継続的な調査
b: 下水処理場とマイクロプラスチックの関係性が不明瞭	・下水処理場の上流と下流でのサンプリング
c: 河川中、とりわけ堰上流部に多数のマイクロプラスチックが存在している可能性の未検討	・エッグマンバージ採泥器による堰近傍や淵での採泥 ・中・下層のマイクロプラスチックの採取
d: 出水時に大量のマイクロプラスチックが放出される可能性の未検討	・降雨時のマイクロプラスチック調査の実施
e: 降雨時等の面源によるマイクロプラスチックへの影響が未整理	・都市部の排水路を対象にしたマイクロプラスチック調査 ・道路洗浄水を対象にしたマイクロプラスチック調査

4.6. ドローンによる漂着ごみ調査の効率化(ドローン撮影)

4.6.1. ドローン撮影と漂着ごみ量の定量化

(1) 目的

本調査では、5 海岸でドローン撮影を行うとともに、それらの画像からオルソ画像と三次元点群データを作成し、漂着ごみ量の推定とごみ種別判定の検討を行った。本調査における漂着ごみ量の取得方法と定量化手法を表 4-15 に示す。海岸調査では、自然ごみと人工ごみの両方(漂着ごみ)の定量化が行われたが、今回のドローン撮影では、オルソ画像から人工ごみの量を被覆面積で推定し、オルソ画像からは、自然ごみと人工ごみの種別を判定することを検討した。ただし石狩においては、回収前後の三次元点群データの差分から、自然ごみと人工ごみの合計(漂着ごみ)の容積の定量化を行った。

表 4-15 本調査における漂着ごみ量のデータ取得方法と定量化手法

データ取得方法	データ形式	定量化手法	項目	定量化作業	ツール
海岸調査	野帳	回収・分類	漂着ごみの容積、重さ、個数、種類	人間の目視	ゴミ袋、縮尺など
ドローン撮影	オルソ画像	ラベリング	人工ごみの位置、面積	人間の目視	GIS、マウス
		画像解析	人工ごみの位置、面積	コンピュータ	python3
	三次元点群データ	立体視	漂着ごみの色情報、位置、容積	人間の目視	TREND-POINTビューアー
		高さ分布	漂着ごみの容積	コンピュータ	Fortran90

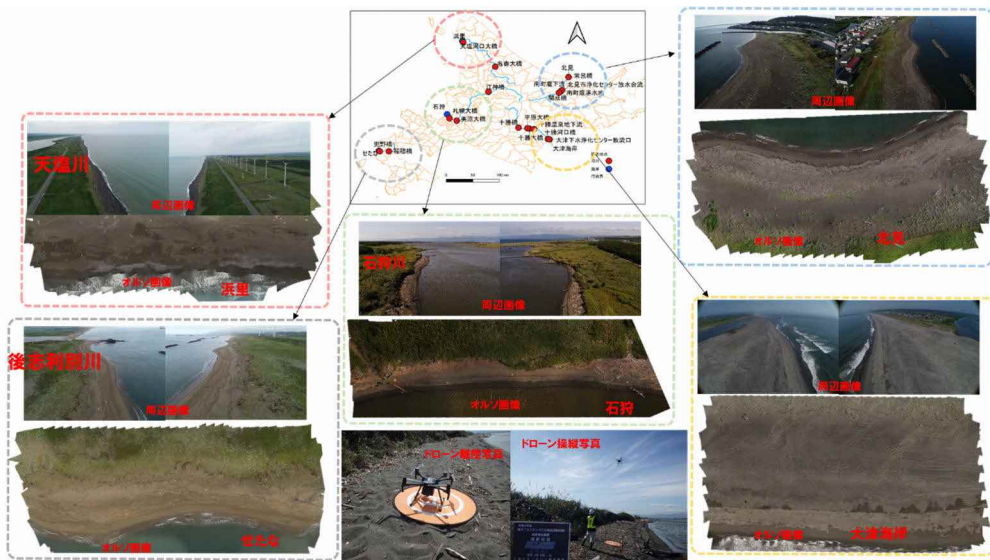


図 4-29 5 海岸の周辺画像とオルソ画像

4.6.2. オルソ画像の解析(ラベリングと画像解析)

人間の目で識別できる色の差を三次元的に規格化した CIELUV 空間を基に、人工ごみとそれ以外を区別することを考える。

まず、全画像とラベリングされた人工ごみの L と u と v のヒストグラムでは、L も u も v も概ね正規分布に従っていた。そこで、L と u と v の最頻値から標準偏差の範囲内を背景色と考えて除去することを試みた。ただし、背景には砂や流木だけでなく、流れ藻や草など何種類もの背景が存在するため、最頻値を繰り返し除去しながら、複数の種類の背景を除去する。そのフロー図を図 4-30 に示す。

今回は閾値を最頻値 $\pm\sigma$ で設定した。その結果を図 4-31 に示す。繰り返し回数を増やすにつれて背景が一つ一つ消えている様子が分かる。n=5 ではほぼ完全に人工ごみまで消えてしまっているため n=3~4 あたりが最も的確に検出できていると考えられる。σを 0.5~1.0 で n=5~10 で調整すればもっと的確に検出可能と考えられるが、今後の課題である。

最後に背景色の閾値を最頻値 $\pm\sigma$ とした場合の繰り返し回数 n=4 と n=5 の背景除去を行った場合の漂着ごみの被覆率を現地回収量(人工ごみ量)と漂着ごみ量(自然ごみ+人工ごみ)と比較した結果を図 4-32 に示す。また、本調査で RGB 等の色情報を基に抽出された画像解析結果と現地調査結果の比較を表 4-16 に示す。人工ごみの被覆率は、ラベリング同様の 0~0.8%程度で収まり、比較的良好な正の相関も認められた。

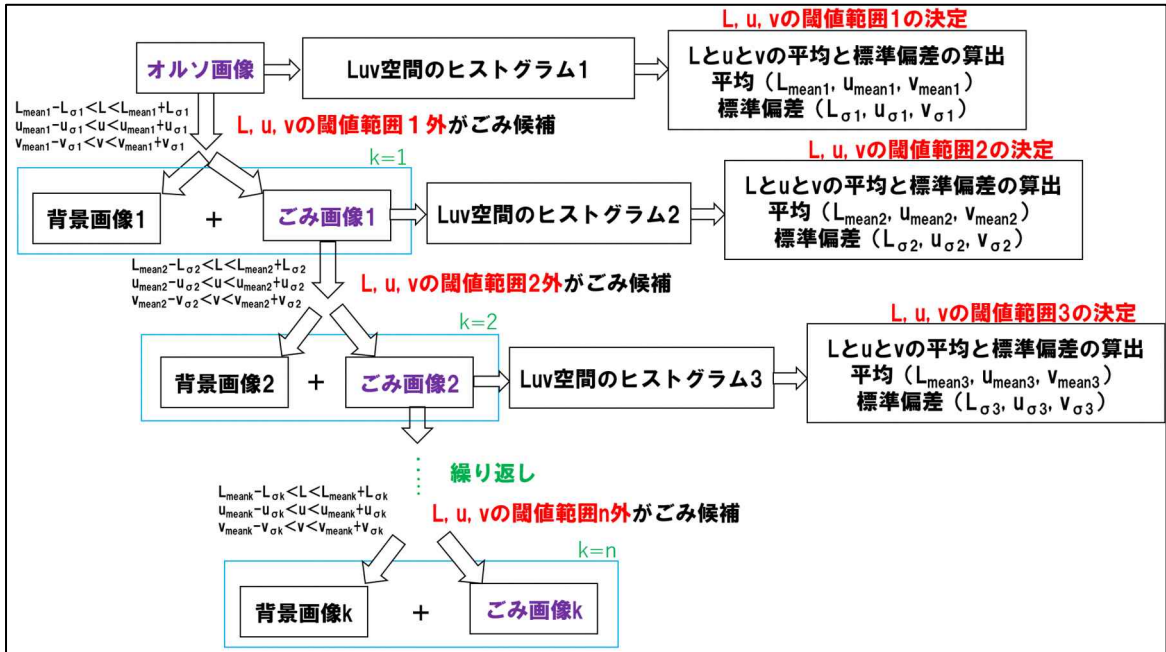
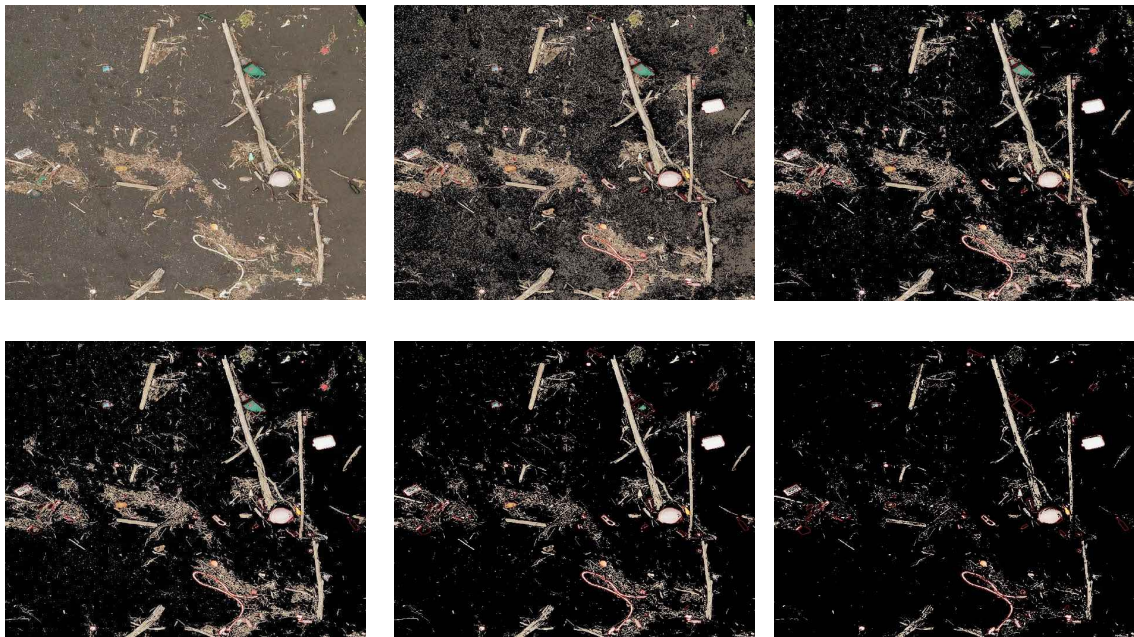


図 4-30 CIE Luv 空間における繰り返し背景除去方法のフロー図



※赤線はラベリングで検出された人工ごみ

(左上 : 元画像、中上 : n=1、右上 : n=2 左下 : n=3、中下 : n=4、右下 : n=5)

図 4-31 浜里における繰り返し背景除去の例

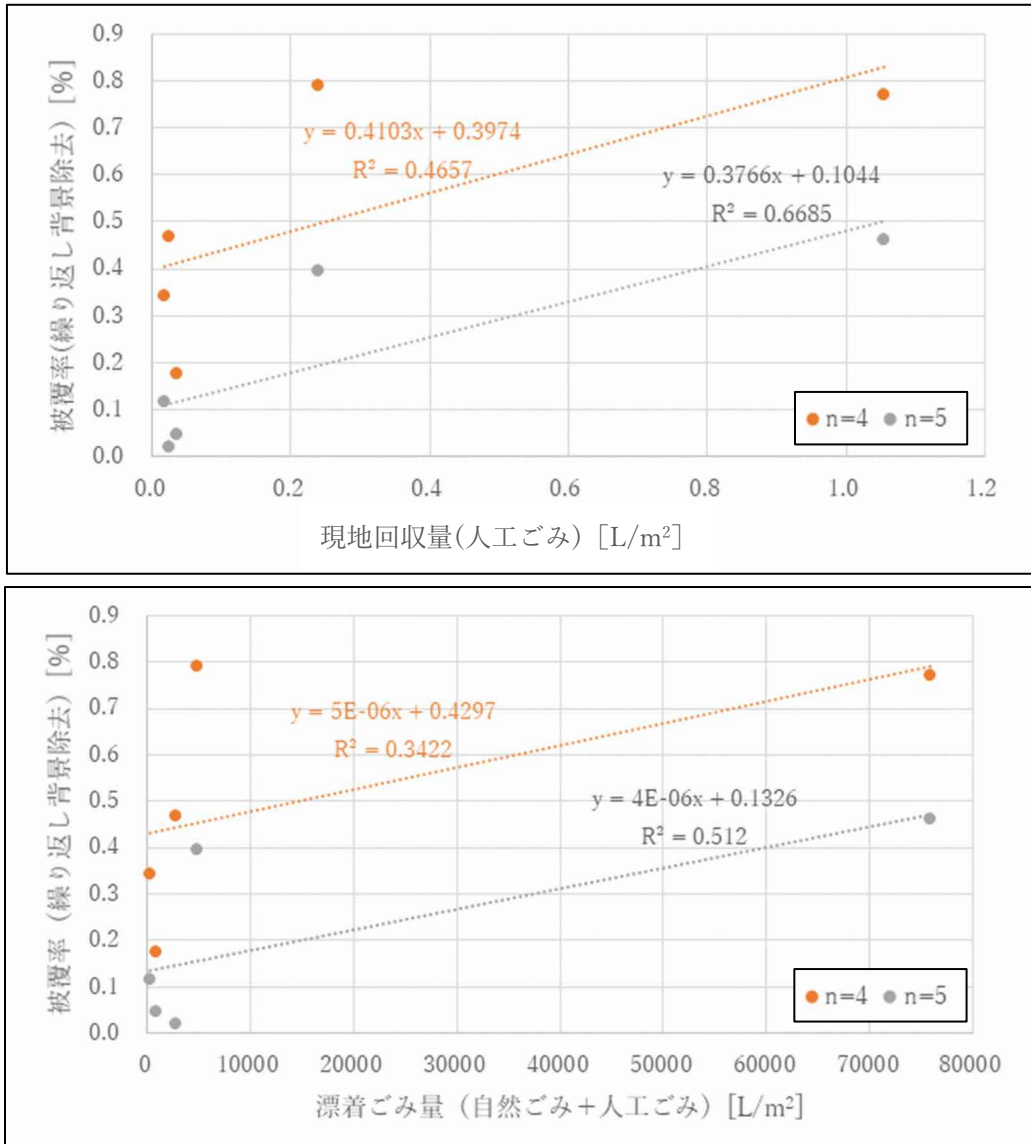


図 4-32 繰り返し背景除去で検出された漂着ごみの被覆面積と現地回収量(人工ごみ)と漂着ごみ量(自然ごみ+人工ごみ)の関係(繰り返し回数 n=4~5)

表 4-16 漂着ごみの現地回収量とラベリングと画像解析結果の被覆率

自然ごみ		現地回収量	ラベリング	輝度			明度			繰り返し背景除去	
				平均+σ	平均+2σ	平均+3σ	平均+σ	平均+2σ	平均+3σ	n=4	n=5
河川名	海岸名	容積[L/m²]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]	被覆率[%]
後志利別川	せたな	0.0366	0.13	9.810	1.046	0.440	11.531	1.169	0.456	0.1764	0.0471
石狩川	石狩	1.0553	0.71	12.390	4.629	1.601	12.686	4.497	1.405	0.7713	0.4610
天塩川	天塩	0.2391	0.22	9.654	2.720	1.926	8.589	2.823	2.065	0.7906	0.3956
常呂川	北見	0.0254	0.02	11.404	3.660	1.138	11.338	3.913	1.389	0.4686	0.0205
十勝川	大津海岸	0.0181	0.01	12.743	2.147	0.597	12.457	2.237	0.646	0.3440	0.1156

4.6.3. 三次元点群データ

ドローン画像より、5 海岸を対象に三次元点群データを作成した(図 4-33)。これにより、5 海岸の漂着ごみの状況を立体的に把握することができた。また、石狩では、回収前と回収後の点群データを作成し、その高さ情報の差分をとることで、回収量の算出を試みた。

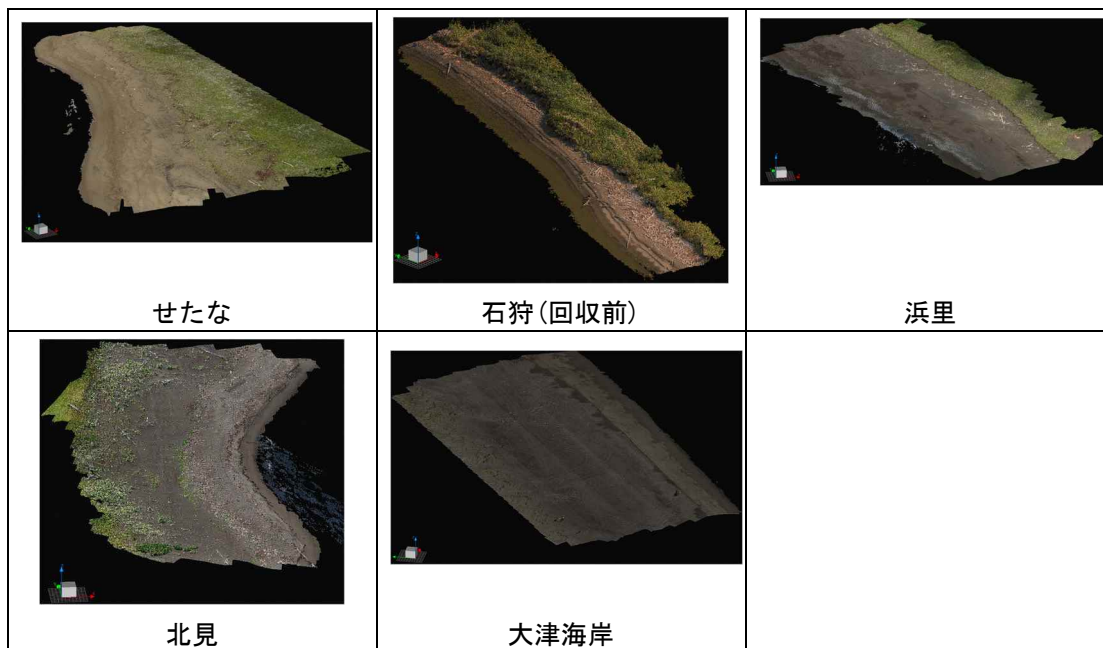


図 4-33 三次元点群データ

石狩における三次元点群データを基に算出された高さの差分の水平分布を図 4-34 に示す。回収前後の写真と高さの差分を見比べると、明らかに、流木や漂着ごみが除去された場所で高さが減っていることが分かった。また、全領域の「面積×高さの差分」を合計すると、約 8.8m^3 であった。

石狩における人工ごみの回収量は約 0.39m^3 であり、自然ごみについては、現地で積み上げられた流木等から、野帳には目視でかさ容積として約 22m^3 と記入されていた。しかし、積み上げられた場所の地面や縮尺の傾斜や、流木の複雑な形状、流木の隙間の空間などを考慮すると、目視での算定は難しく、過大評価であった可能性もある。したがって、残りの約 8.4m^3 が、回収・移動された自然ごみの量をかさ容積よりも良い精度で算定できている可能性がある。

もしそうであれば、回収前後の三次元点群データを取得することで、回収量を概ね把握できる可能性が高い。また、長期的な海浜変形がなければ、回収後の高さ情報は不変であるため、三次元点群データさえ取得すれば、海岸ごみを回収しなくても、ある程度の精度で(自然ごみを含む)漂着ごみの量を定期的に長期モニタリングすることが可能であることを示唆している。

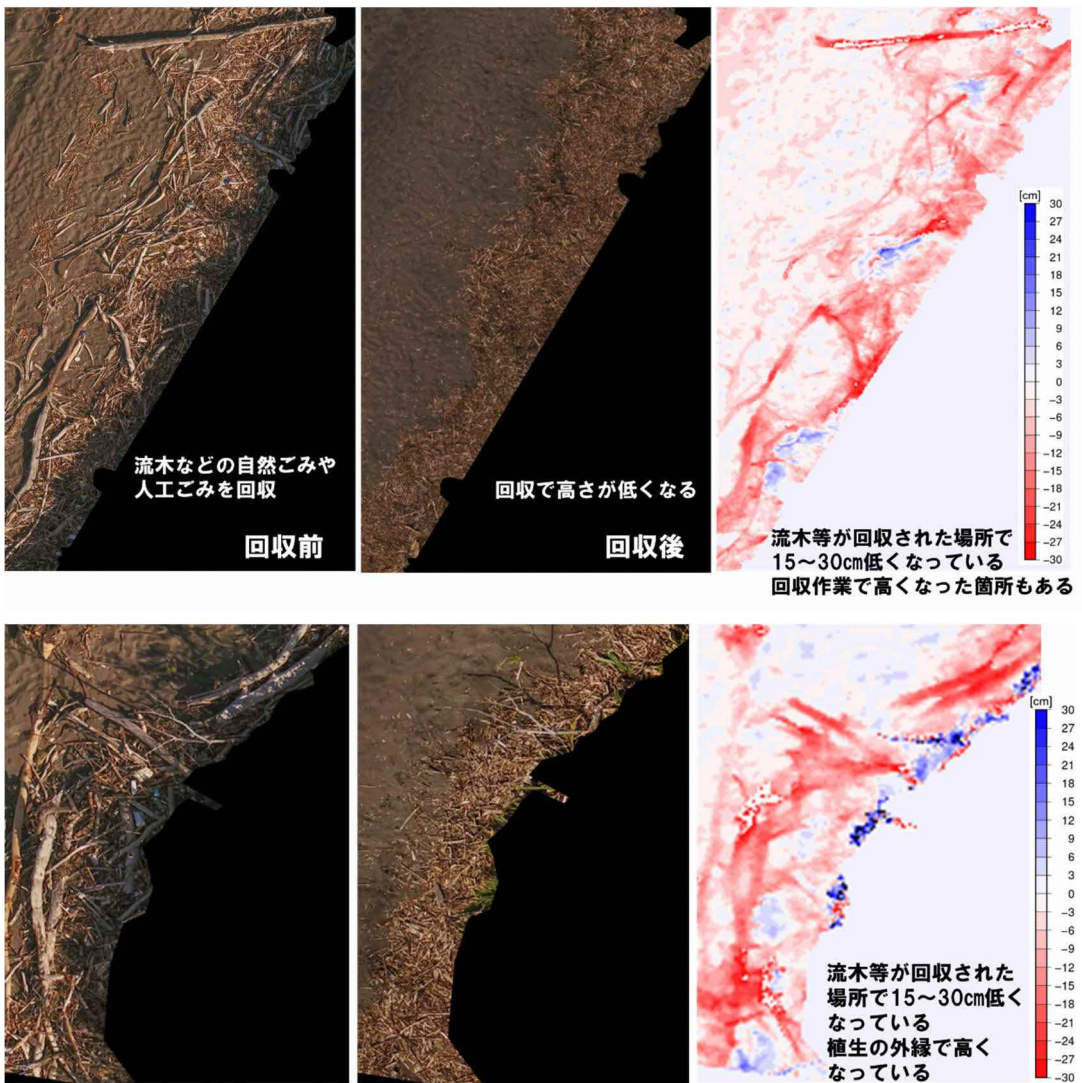
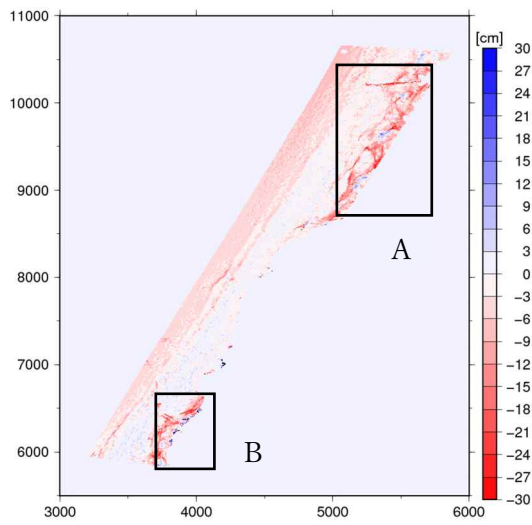


図 4-34 石狩における回収前後の高さの差
(漂着ごみが特に多かったA、Bの領域についてはオルソ画像と共に拡大図を示した)

4.6.4. ごみの定量化手法に関する現状と今後の課題・展望

ごみの定量化手法に関する現状と今後の課題・展望について、鹿児島大学の加古先生にヒアリングを行い、以下のコメントを頂いた。

海岸の漂着ごみや洋上の漂流ごみ、河川の漂流・漂着ごみなどの調査は古くから人の手によって行われていたものの、それらを客観的に定量化する手法は、2010年頃までは世の中には全く存在しなかった。その後の約10年間で、WEBカメラ、バルーン、ドローンなどで撮影された画像から、輝度やRGBなどの情報を基に、それらを定量化する手法の開発が試みられてきた。しかし、天気や撮影時刻などの撮影条件や海岸の性状、ごみの種類などによって、どうしても主観的な閾値の作成や学習データの調整が必要であり、現在においても完全に自動化された手法、誤検出や誤差のない手法は、いかなる時空間スケールにおいても存在しない。

近年、ドローンを用いた海岸の航空測量と、ディープラーニングを基盤とした画像解析手法を組み合わせることで、漂着プラスチックごみの定量化を行う手法が開発されている。たとえば畳み込みニューラルネットワークを用いて、砂浜海岸における個々の漂着ごみの検出や、その被覆面積の算出が試みられているが、影や足跡をごみと誤認識するなどの課題が残されている。ドローン観測から得られた海岸の高さ情報を用いることで、影や足跡をごみと誤認識する問題も克服され、砂浜では5%程度の誤差でプラスチックごみの体積を検出することに成功している。しかし、礫浜での検出精度は低く、汎化性能に課題が残されている。

ディープラーニングによる特徴検出は、計算時間そのものは短縮できるものの、その事前準備と言える慎重なラベリング作業に多くの時間を要する(教師データ、学習データの作成)。プラごみ定量化へのディープラーニングの利用は、現段階では研究者による取り組みに限られている。しかし、近い将来、GPU等による計算の高速化や、漂流漂着ごみのラベリングデータの蓄積で、計算速度や検出精度が向上し、ディープラーニングがより身近なものとなれば、広く自治体・民間等にも普及し、海岸漂着ごみ問題等様々な環境問題の解決に貢献するであろう。今回の北海道による調査結果は、その意味で、自治体・民間企業等における取組みの貴重な第一歩となるであろう。

4.6.5. 漂着ごみの定量化に関するまとめ

本調査では、ドローン画像から、オルソ画像と三次元点群データを作成した。オルソ画像のラベリング作業と画像解析では被覆面積を算出し、現地調査で確認された人工ごみの量の海岸別の傾向を概ね再現した。三次元点群データでは、海岸と漂着ごみの状況を視覚的・立体的に把握するとともに、回収前後の地盤の高さの変化から、自然ごみを含む漂着ごみの分布や全体容積を算出し、回収場所周辺が陥没していることや、回収された流木の全体容積を現実的な量で再現できることが確認された。精度の確認にはまだ課題があるものの、今後は海岸清掃で多大な労力や時間をかけなくても、漂着ごみの量や分布を効率的に把握できることが示された。

海岸の漂着ごみは、プラスチックごみなどの人工ごみと、流木などの自然ごみに分けられた。人工ごみは自然ごみと比べれば量が少なかった。しかし、そのまま放置すれば紫外線等で劣化し、悪天候などで再漂流すれば、海洋の生態系や環境への悪影響も懸念される。また、海を利用する様々な人々の景観を損ない、一部の危険なごみは子供達の安全を脅かし、結果的に海岸の価値を低下させる。一方、自然ごみは、そのまま放置しても海洋の生態系や環境への悪影響は考えにくい、その莫大な容積と重さ・強度により、漁船の航行や定置網の操業等を阻害する可能性がある。

人工ごみと自然ごみの量や分布の現状把握と将来予測は、長期的・持続的に海岸の価値や安全性を維持する海岸管理のために重要と考えられる。例えば、海岸清掃の必要性の判断、効果的な海岸清掃の時期・場所の計画、そして回収・運搬に必要なトラックの容積の検討等で有益な情報になると考えられる。

近年、効率面や生産性の改善を目指した ICT の観点から、ドローン撮影や画像解析による定量化手法が注目されており、海岸ごみ量の把握においても、その手法の構築が求められており、有識者ヒアリングでも指摘があった通り、今回のようなドローン撮影と海岸ごみの定量化手法の検証は意義深いものと考えられる。

海岸の漂着ごみ量の定量化手法は、表 4-17 の通り、それぞれ一長一短があるが、これらの手法を組み合わせながらデータを蓄積することで、将来的には、より効率良く海岸ごみの量を把握しながら、適切な管理を行うことが可能になると考えられる。

表 4-17 海ごみの定量化手法のコストと精度

	コスト	種類の精度	量の精度	
現地回収	×	◎	◎	海岸清掃
ラベリング作業	△	○	○	手動
画像解析	○	△	△	半自動
3D点群データ	◎	×	○	自動

漂着ごみの定量化に関する今後の課題としては、例えば、以下があげられる。

- ・ 効率的・効果的な海岸管理・海岸清掃のための ICT の促進
- ・ ドローン画像の効率的な撮影スケジュール・撮影場所の検討
- ・ 各定量化手法の組み合わせ(高さ情報と色情報など)による相補的な定量化の検討
- ・ 定期的・継続的なドローン画像の取得による時間変化のモニタリング
- ・ 他海岸における三次元点群データの取得による海岸間の比較と適用性の確認
- ・ ディープラーニングなどの AI の適用による画像解析の高精度化
- ・ ラベリングデータの蓄積(教師データ、学習データ)による画像解析の高精度化
- ・ 効果的な漂着ごみの検出のためのパラメータの検討