

# ドローンとAIを用いた海岸漂着 プラスチックごみ定量化手法の構築

加古真一郎<sup>1</sup>・種田哲也<sup>2</sup>・森田翔平<sup>1</sup>・西部留奈<sup>3</sup>

1.鹿児島大学大学院理工学研究科 海洋土木工学専攻

2.鹿児島大学大学院理工学研究科 技術部

3.鹿児島大学 工学部 先進工学科  
海洋土木工学プログラム

# はじめに



- ・ **海岸漂着ごみ問題**は、早急に対策が必要な地球環境問題の一つ。
  - **7 - 8割**がプラスチックごみ(Derraik, 2002)。
  - **SDGs**でも言及。
- ・ **プラごみ問題に早急な対策が必要だ**ということは、**国際的な共通認識**。



**日本の沿岸域も例外ではなく、**  
多くのごみが漂着している。

## 問題点

海岸におけるごみ量を観測・推計する**統一的手法が確立されていないため、その正確な現存量を知ることができない。**

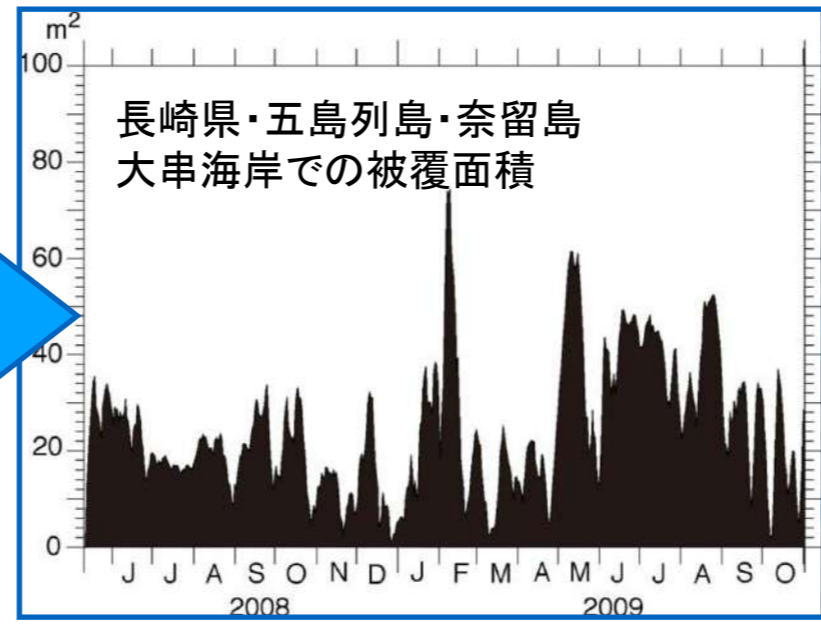
# 既存の海岸漂着ごみ計測手法

## 海岸踏査 (Derraik, 2002等):



- ・ 人による「**ごみ拾い**」のこと。
- ・ 統一的な手法が取られていない→**データ間の比較が難しい**。
- ・ アクセスが困難な海岸のデータは、存在しない。
- ・ 人的にも**経済的にも高コスト**。

## ウェブカメラ/バルーン+画像解析(Kako et al., 2010等) :



- ・ 漂着ごみ量の**連続観測**や**定量評価**が可能。
- ・ 画像解析によってプラごみの被覆面積を算出する手法  
→プラごみの**輝度**や**色情報**を使って、海岸を**二値分類**。

### 問題点

- ・ ウェブカメラは**画角が限定**。バルーンは**機動性が低い**。
- ・ 画像解析は、判定基準の**一部が主観**。

# 研究の目的

- ・ **重点的にごみ回収が必要な海岸の選定**や、**効率的かつ経済的なごみ回収事業の策定**に資するような、漂着プラスチックごみ量を推定可能な方法が確立できないか？



- ・ **機動性の高い観測手法と、客観的で汎用性の高い画像解析手法が必要。**

両者を組み合わせる

- ・ **広範な海岸をカバーする機動性。**

自律式マルチコプター（ドローン）による海岸観測。

- ・ **海ごみ判定の客観性。**

AIなどを基盤とした画像解析手法の開発。

- ・ **どこでも利用できる汎用性。**

全ての海岸の如何なる形状・種類のゴミに対しても適用可能な、漂着ごみ現存量の推定方法を確立を目指す。

# 観測からデータ解析までの流れ

ドローンで海岸観測

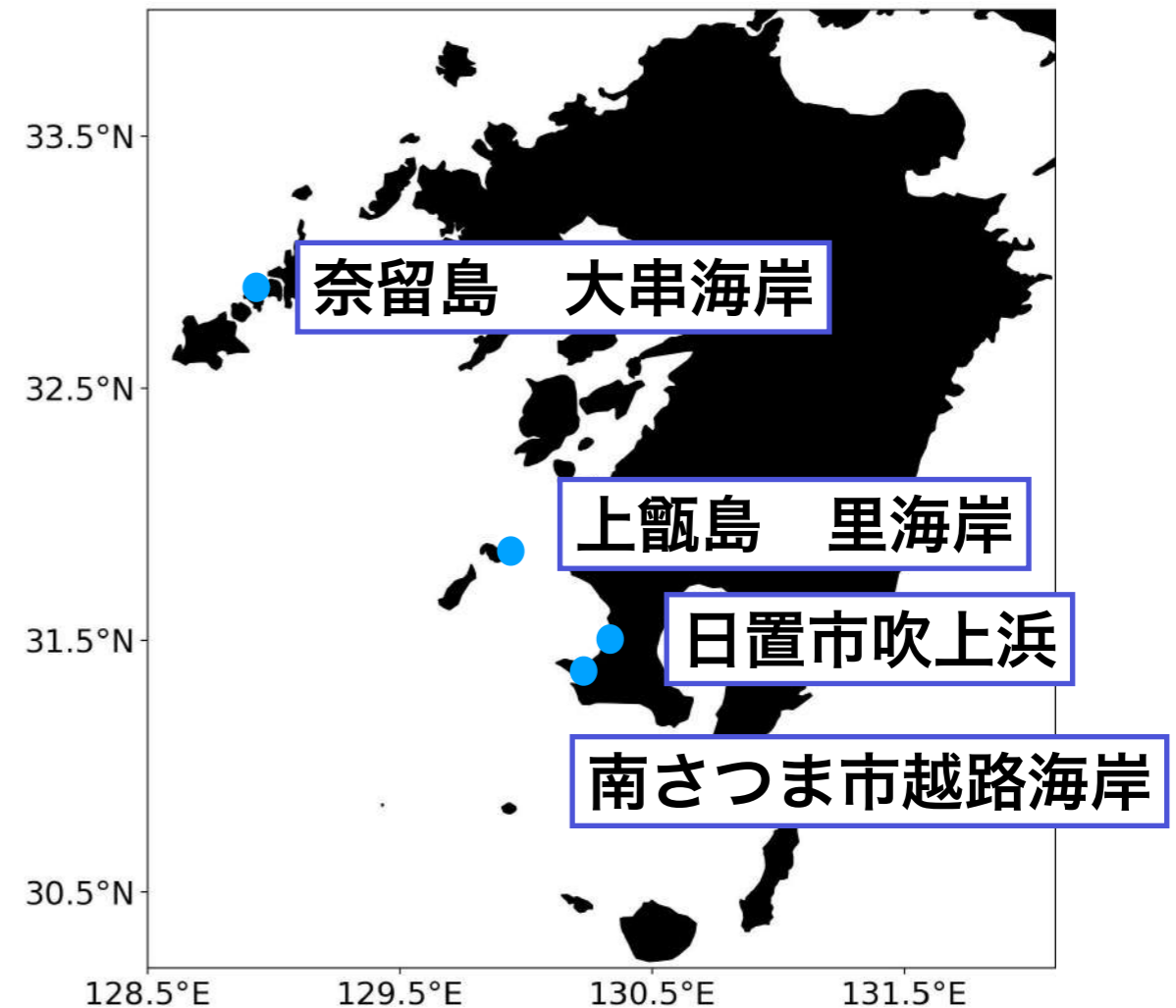
空中三角測量の原理を元に  
三次元点群を作成

海岸の立体モデルとオルソ画像の作  
成

ディープラーニング等を用いて、プラ  
ごみ情報をオルソ画像から抽出

DLの結果を海岸立体モデルに入力

海岸の漂着ごみ量を体積として推定



- 観測は、4つの海岸で実施。
- 吹上浜では、**体積既知のプラスチック**製の箱等を海岸に設置し、これを撮影 → **精度検証**。
- その他の海岸では、実際に漂着したごみを撮影。ただし、南さつま市はほとんど流木。

使用ドローン: 2種類のドローンを使用 ← 位置精度の問題



## Phantom 4 (販売終了 → Mavic 2)

- **4Kカメラ**を搭載 (2000万画素)
- iPadのアプリを使用することで、対象海岸の自動飛行・撮影が可能 ← **誰でもできる**。
- 位置データの精度が低い (数10cm程度の誤差)。



基準局

## Phantom 4 RTK

- RTK: Real Time Kinematic
- 基本性能はPhantom4 と同じ
- 位置情報を**リアルタイムに補正可** ← **誤差は、数m~cm**
- **RTK-GNSS**: 正確な位置情報を持つ基準局との差分から移動点の位置情報を補正する測位方式
- **ネットワーク型RTK-GNSS**: 国土地理院の電子基準点を元に補正したデータをネットワークを介して入手  
← **通信契約**が必要
- Phantom 4と比べて**高額**

# ドローンによる海岸観測

飛行経路・撮影範囲は、iPad用の自動撮影アプリで設定 (RTKも)



- ・ 地上画素寸法は、**5 mm/ピクセル** に設定 → 撮影高度は17m
- ・ これ以上解像度を下げる (高度を上げる) と、ペットボトル程度でも認識できない。

# 観測からデータ解析までの流れ

ドローンで海岸観測

空中三角測量の原理を元に  
**三次元点群**を作成



トータルステーションによる観測

- 三次元点群 = 各ピクセルの位置情報 (高さ含)
- 位置補正を行う場合は、**これを補正**。



- 補正を行うために、ドローン観測の前に対象物の周りに**対空標識**を設置し。
- トータルステーション(TS)を使って、任意の点からの距離と高さを測定。
- **立体対空標識**は、精度の改善のために重要。
- ただし、RTKドローンを用いる際は、TSによる測量も立体対空標識も不必要。



# 観測からデータ解析までの流れ

ドローンで海岸観測

空中三角測量の原理を元に  
三次元点群を作成

**海岸の立体モデルとオルソ画像の作成**

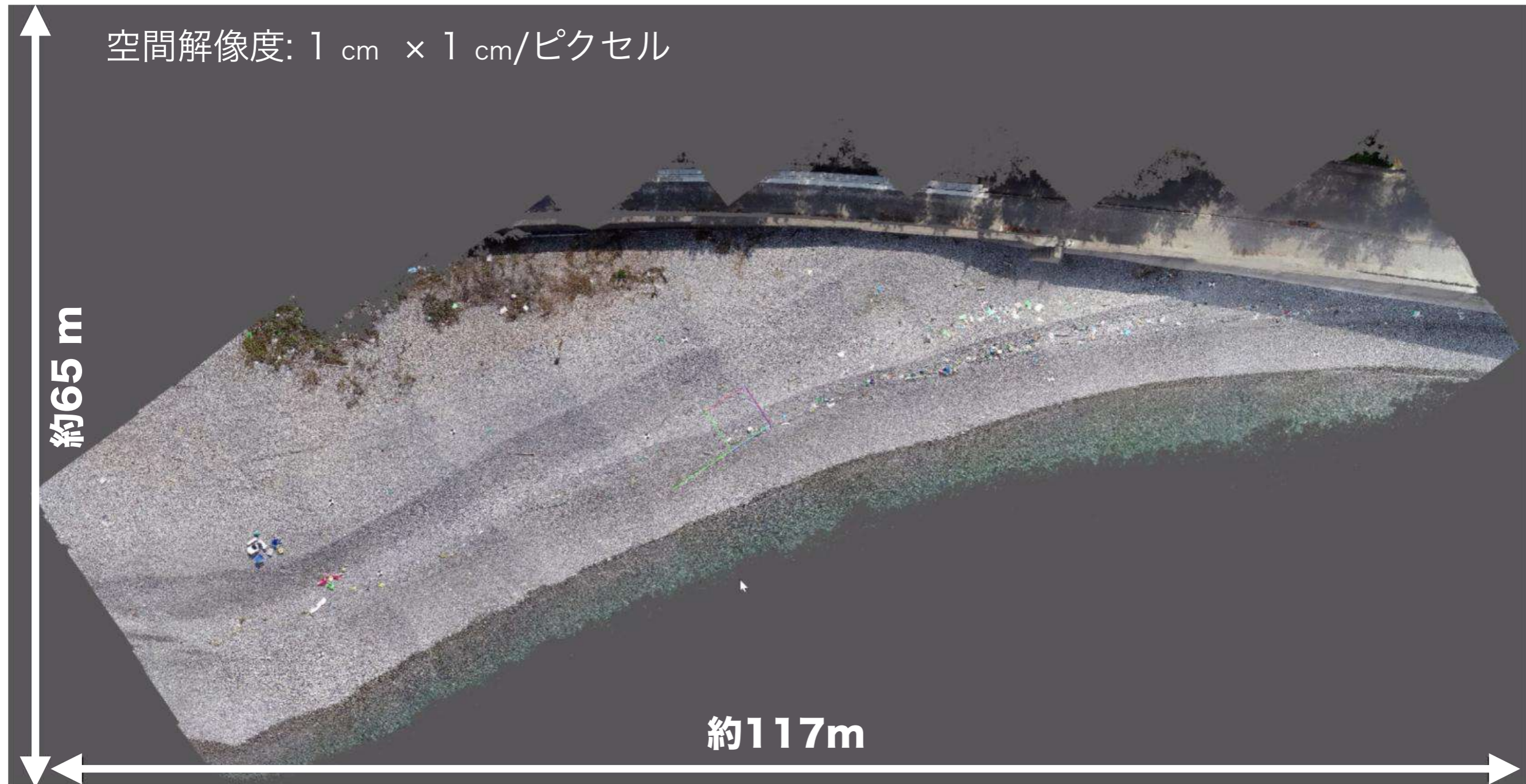
**ディープラーニング**等を用いて、プラ  
ごみ情報をオルソ画像から抽出

DLの結果を海岸立体モデルに入力

海岸の漂着ごみ量を体積として推定

- **海岸の立体モデル(Digital Surface Model: DSM):** 海岸の三次元点群に面を持たせたもの。
- **オルソ画像** (orthoはギリシャ語で”歪みのない”の意) : 真上から撮影したようなパノラママップ
- 両者とも三次元点群の副産物なので、**三次元点群作成時の精度検証が重要**

## オルソ画像 (甌島: 補正済)



- ドローンによる空撮画像**約130枚を合成して作成**した、海岸を真上から見た画像。

# 観測からデータ解析までの流れ

ドローンで海岸観測

空中三角測量の原理を元に  
三次元点群を作成

海岸の立体モデルとオルソ画像の作成

ディープラーニング等により、プラ  
ごみ情報をオルソ画像から抽出

DLの結果を海岸立体モデルに入力

海岸の漂着ごみ量を体積として推定

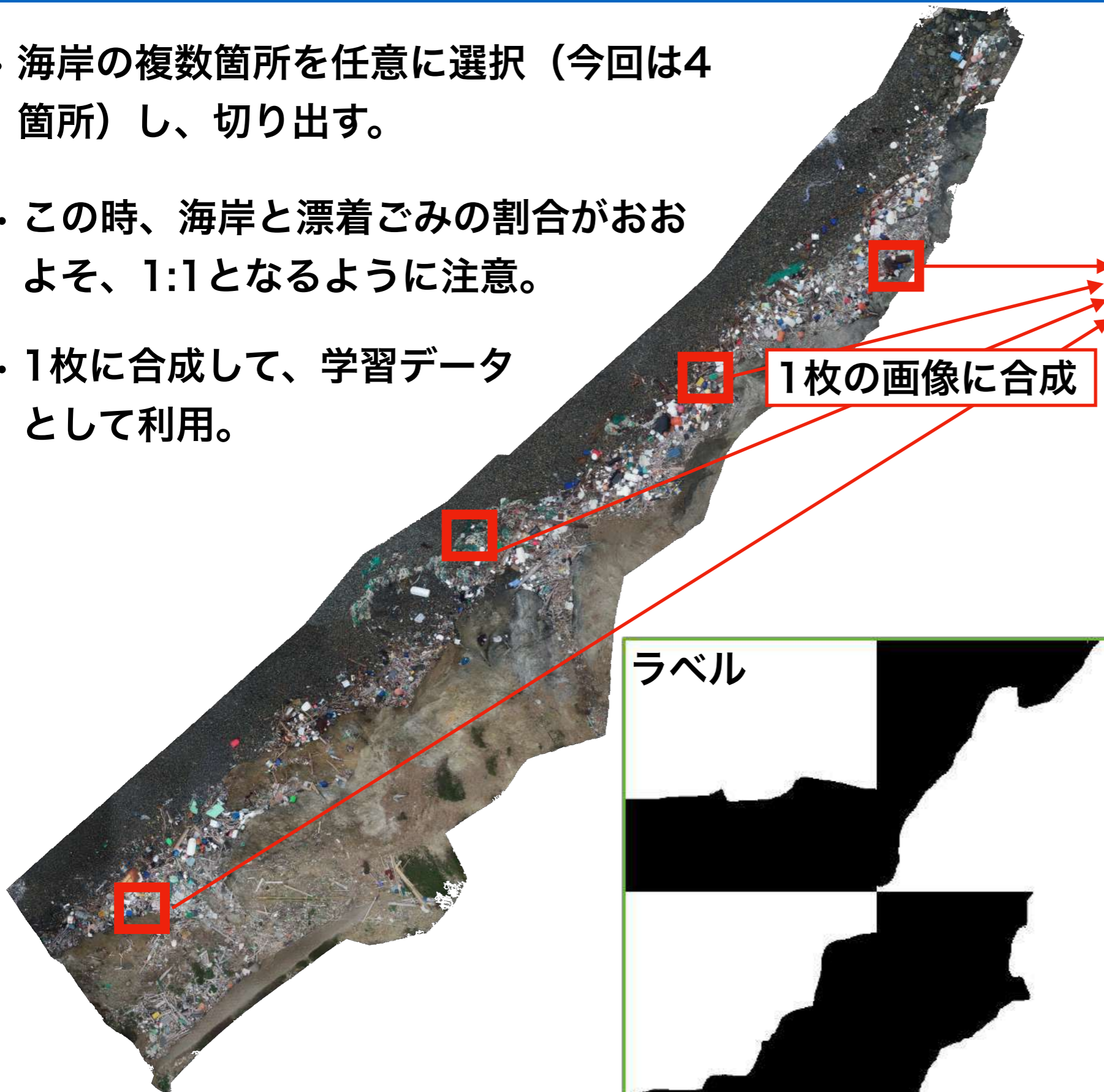
- ここでの目的は、**対象物の周りを囲むこと**



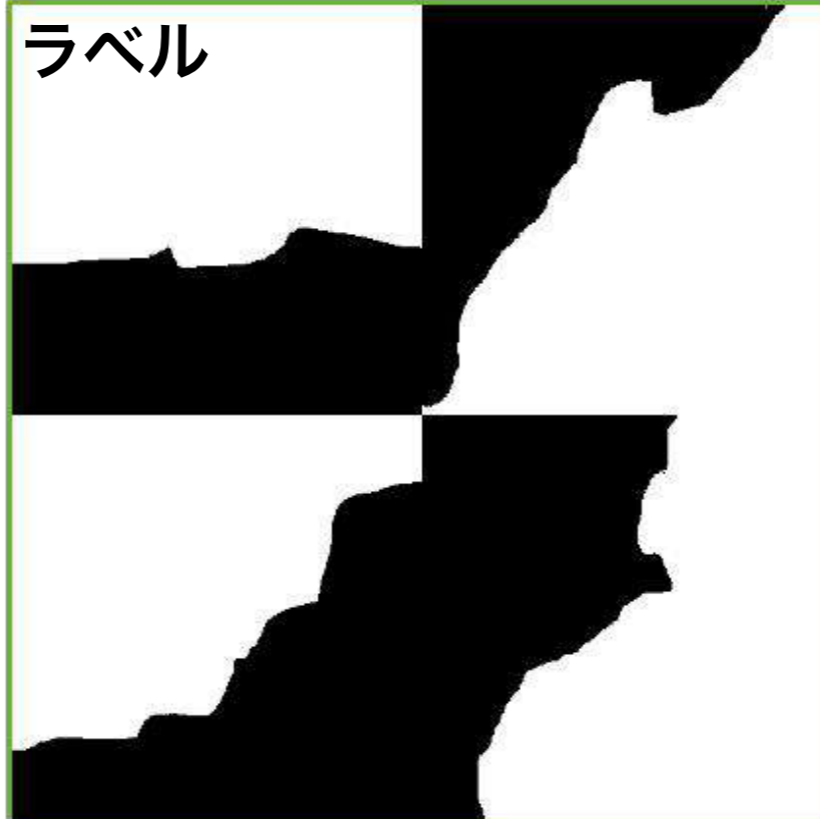
- 対象物のエッジ（輪郭）を**画像解析+ディープラーニング**で自動検出
- **厳密でなくて良い**: 最低面を定義（海岸）するので、海岸は体積計算に反映されない。
- **HSV(色相、彩度、明度)** 色情報を学習データとして、ディープラーニングによる二値分類を実施。

# 学習データの作り方 (例:大串海岸)

- ・ 海岸の複数箇所を任意に選択 (今回は4箇所) し、切り出す。
- ・ この時、海岸と漂着ごみの割合がおおよそ、1:1となるように注意。
- ・ 1枚に合成して、学習データとして利用。



1枚の画像に合成



## 学習データ



- ・ 漂着ごみと海岸を塗り分ける (手作業)。
- ・ この情報から、海岸全体を「ごみ or not」に二値分類するモデルを構築。

# 観測からデータ解析までの流れ

ドローンで海岸観測

空中三角測量の原理を元に  
三次元点群を作成

**海岸の立体モデルとオルソ画像**の作成

**ディープラーニング**等を用いて、プラ  
ごみ情報をオルソ画像から抽出

DLの結果を海岸立体モデルに入力

←  
• エッジで囲まれた領域の**底面積と高さ**  
を求めることができる

海岸の漂着ごみ量を体積として推定

# 観測からデータ解析までの流れ

ドローンで海岸観測

空中三角測量の原理を元に  
三次元点群を作成

**海岸の立体モデルとオルソ画像**の作成

**ディープラーニング**等を用いて、プラ  
ごみ情報をオルソ画像から抽出

DLの結果を海岸立体モデルに入力

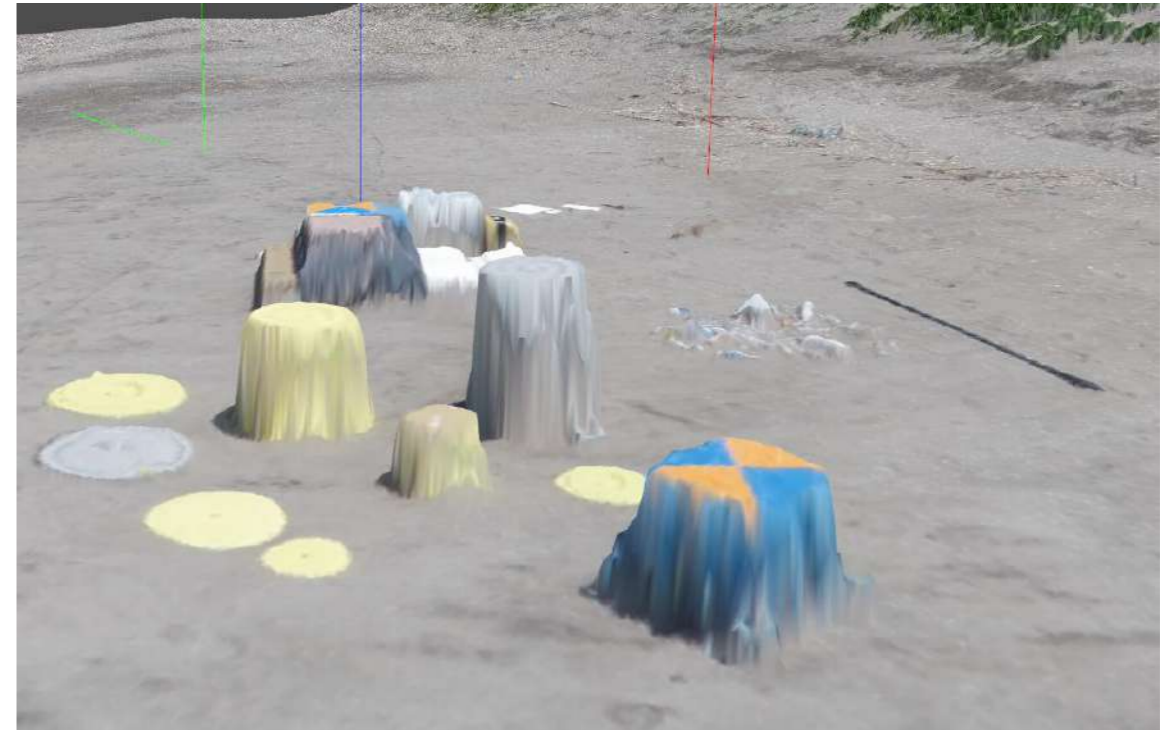
海岸の漂着ごみ量を**体積**として推定

# ディープラーニングによる画像解析の結果（疑似ごみ）

(a) 海岸で撮影した疑似ごみ



(b) DSM



(c) DSMにDLの結果を入力



- (a)と(b)を比較すれば、正確にDSMを構築できていることがわかる。
- (c)のように、DLを基盤とした画像解析で対象物を選択することができれば、その領域の底面積と高さを推定可能

# 体積推定の精度検証

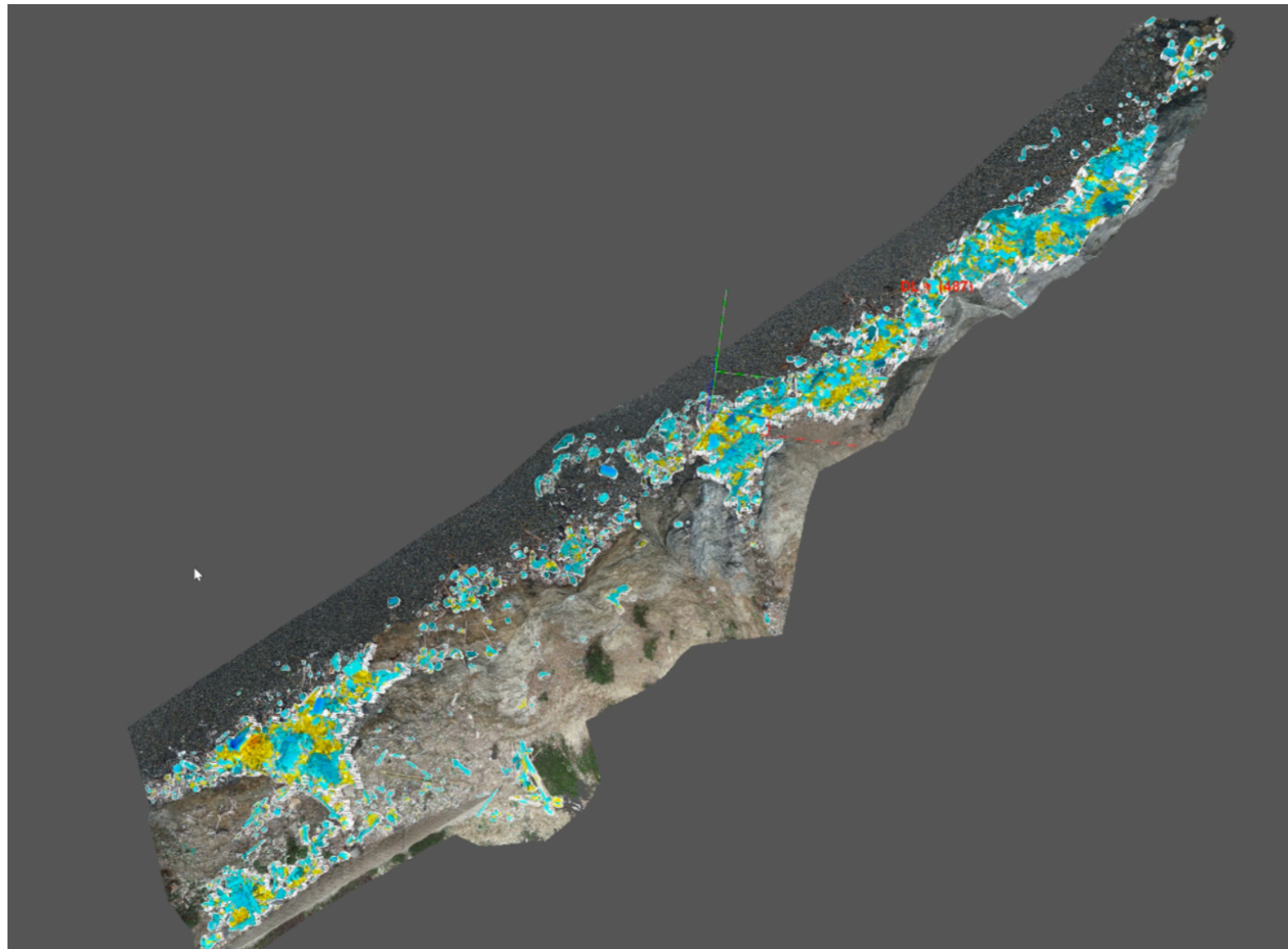
Table. 擬似ごみの体積. 単位は m<sup>3</sup>

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目
実測値	0.87	0.87	0.69	0.89	0.89	1.04	1.04	1.04	1.04
推定値	0.98	1.01	0.71	0.98	0.94	1.00	1.08	1.05	1.06
誤差	0.11 (+13%)	0.14 (+16%)	0.02 (+3%)	0.09 (+10%)	0.05 (+6%)	-0.04 (-4%)	+0.04 (+4%)	0.01 (+1%)	0.02 (+2%)

- 現時点では、観測毎に結果が異なる。誤差は、1 ~ 16%。
- 1回目と2回目は、立体対空標識を用いていないため、誤差が大。
- Nakashima et al. (2011)の手法(バルーン+ゴミ拾い; ±35%) によりも高精度。
- 実際の漂着ごみに適用できるか? → **甌島・南さつま市・奈留島での観測結果に適用**



# 画像解析の結果



- 漂着ごみの色情報をAIに学習させることで、プラスチック漂着ごみの抽出が可能。
- 左の図は、色がついている部分（青・黄色・白）がAIがごみと判断した場所（例：大串海岸）。
- 漂着ごみ個々の体積が推定可能に。
- 礫浜である里海岸（上甕島）での精度が他と比べて低い。←汎化性能に課題有。

観測海岸	主観による画像解析	体積 (m <sup>3</sup> )		誤差 (%)
		DLによる画像解析		
越路海岸	7.95	8.81	10.8%	
大串海岸	17.69	15.65	11.5%	
里海岸	1.72	1.22	29.0%	

# まとめ

- ・ドローンを使用すれば、**海岸の一括観測が可能。**
- ・100 m × 100 mの海岸で**20分程度**の観測時間。
- ・ドローンは自動撮影アプリが充実しているため、**誰でも撮影が可能。**
- ・空撮の解像度は1cm/1ピクセル。撮影高度は17m。←カメラの解像度の問題。
- ・**海岸の3次元立体モデルを構築。** → 海岸を研究室で再現可。
- ・ドローンによって得られた位置情報は、現地測量の結果orRTKで補正の必要有。
- ・ディープラーニング(DL)を使用すれば、プラスチックごみの検出が可能に。
- ・**漂着プラごみの体積を、~15% 程度の誤差で推定可能。**
- ・ただし、礫浜での精度は若干低い。← 汎化性能の向上が必要。
- ・様々な海岸でのテストが必要。← 各海岸でDLモデルを汎化。
- ・**全国の自治体へ横展開し、協働した観測を行うことができれば、精度検証・精度向上への検討が可能。**
- ・**重点的にごみ回収が必要な海岸の選定や、効率的かつ経済的なごみ回収事業の策定にも貢献できるのでは？**