

# 近赤外リモートセンシングによる 海洋プラスチック種分布探査の可能性

作野裕司 (広島大学)

sakuno@hiroshima-u.ac.jp

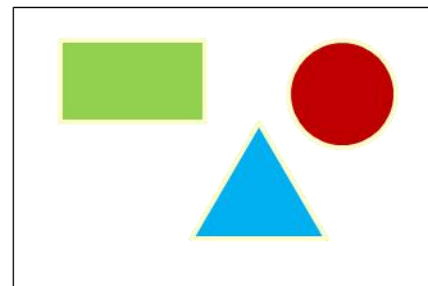
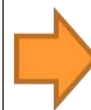
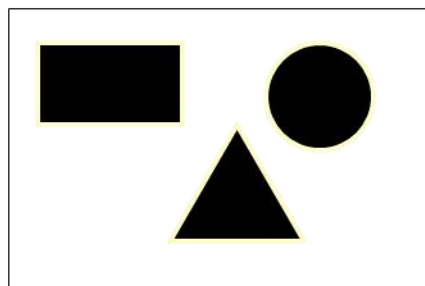


様々なプラスチックごみの例



透明なプラスチック (可視)

近赤外光で可視化したプラスチック



プラスチックごみの種類  
を判別するのは難しい

プラスチックごみの種類  
判別するのが容易!

# 研究の背景と目的



- 近年、海洋プラスチックは海洋生物に与える影響が大きいため、世界的な問題となっている。
- 従来、海洋プラスチックの発生源近くの海岸プラスチックゴミの調査は、目視や可視域のカメラによるものがほとんどである。
- 工業製品などのプラスチックの種判別には、背景の色に左右されず、プラスチックの素材特性が比較的顕著に表れる近赤外域（1-2  $\mu\text{m}$ ）のカメラが使われる。
- 近赤外域のカメラを使った海岸のプラスチックごみ検出への応用についての検討は少なく、近赤外の分光特性や野外での検出手法の問題点についてはほとんど議論されていない。
- 本研究では、可視～近赤外域の分光反射率を連続的に観測できる分光計や衛星データを使って、目視や可視のカメラでは判別のできない野外（海岸）でのプラスチックゴミ種分布探査技術の可能性と問題点を検討する



広島県の海水浴場における海岸ゴミ

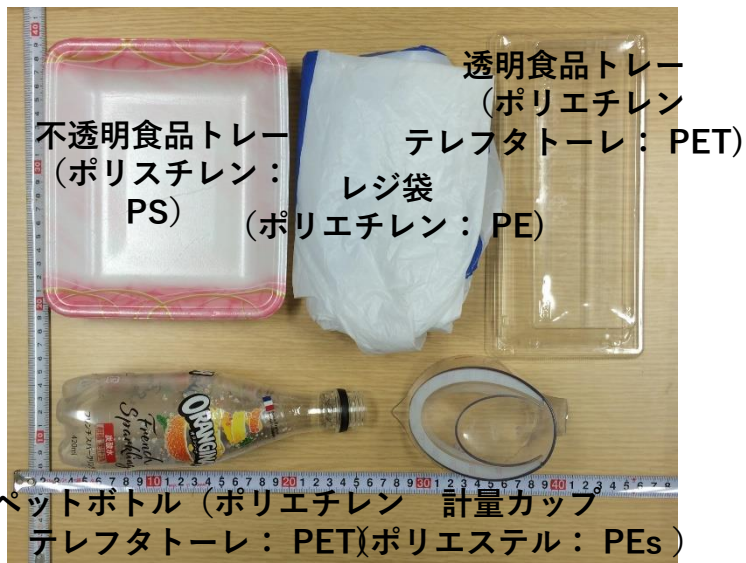


ドミニカ共和国オザマ川周辺のゴミ

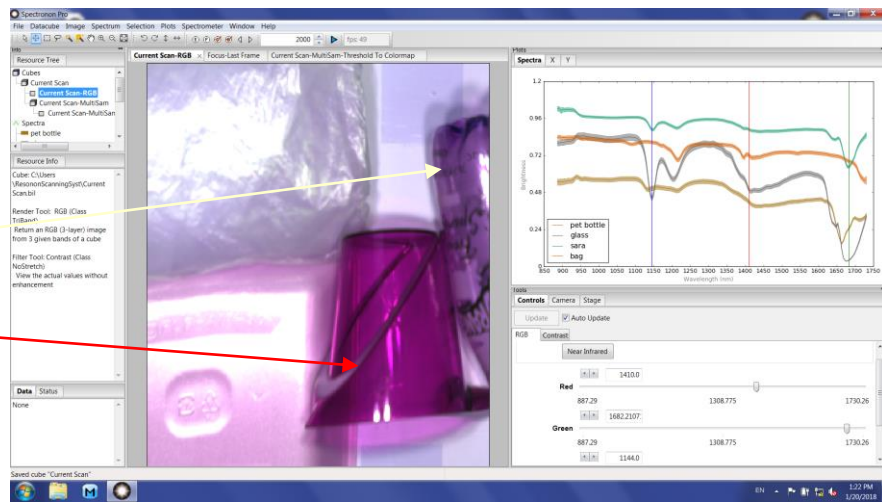
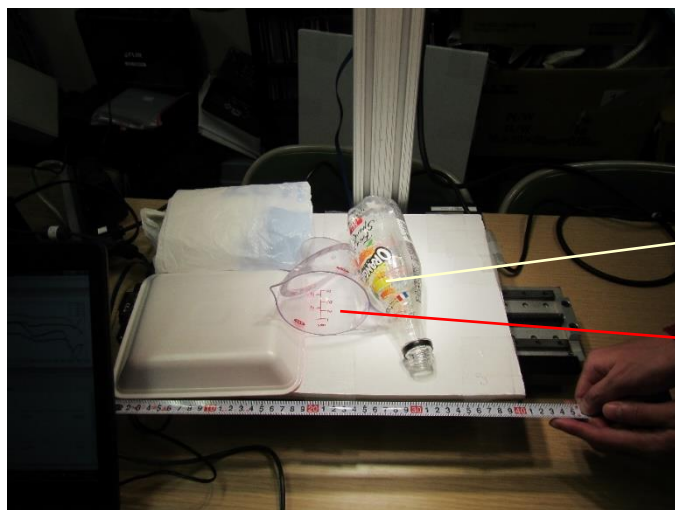
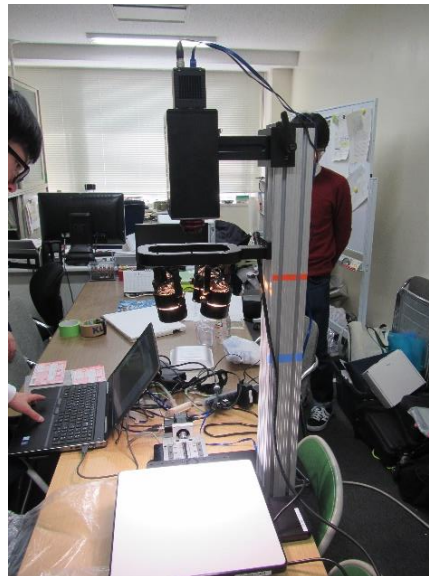
# プラスチック可視化のデモ実験



## デモ実験に使ったプラスチック素材



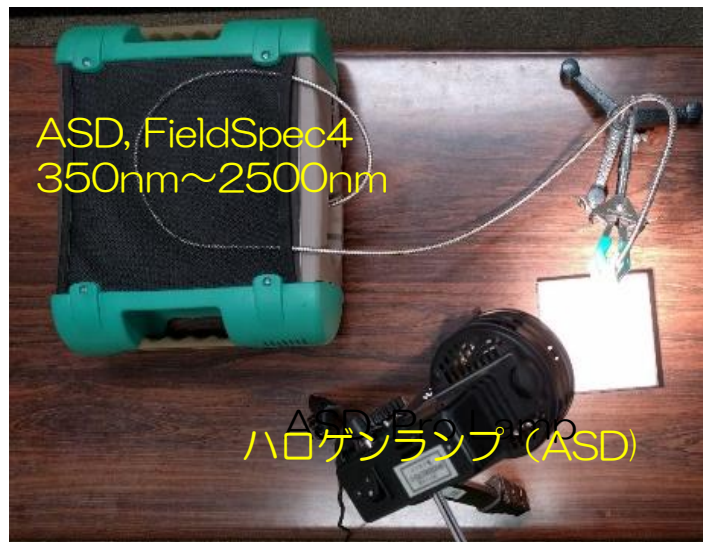
## KLV社近赤外カメラPIKAデモ例



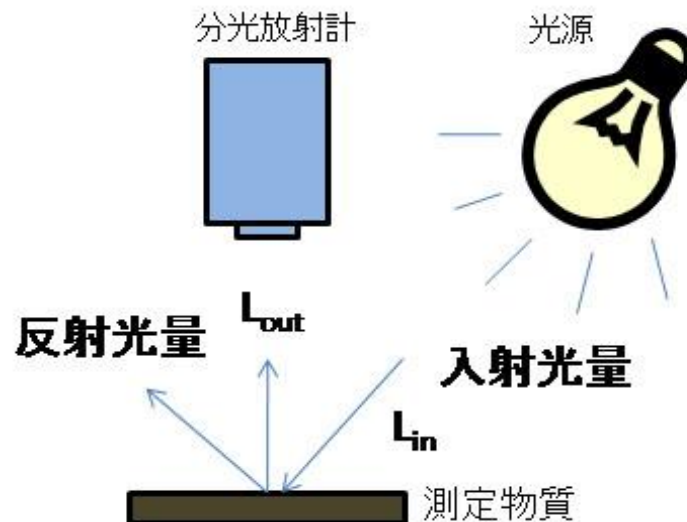
# プラスチックの分光反射率測定実験法



## 本研究での分光反射率測定実験写真



## 分光反射率測定実験模式図



## 本研究で特に注目した素材

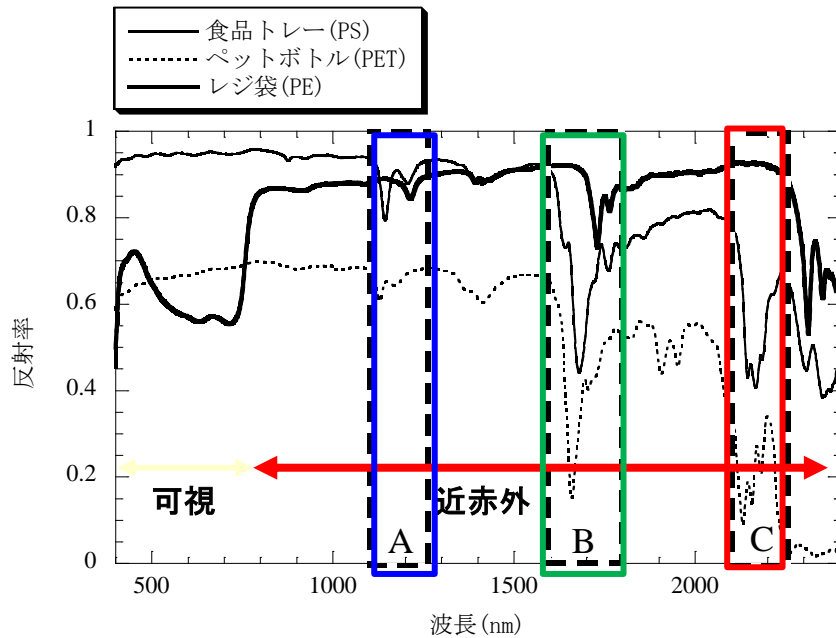
素材(プラスチック種)	略号	用途例
ポリスチレン	PS	食品トレー
ポリエチレン テレフタレート	PET	ペットボトル
ポリエチレン	PE	レジ袋



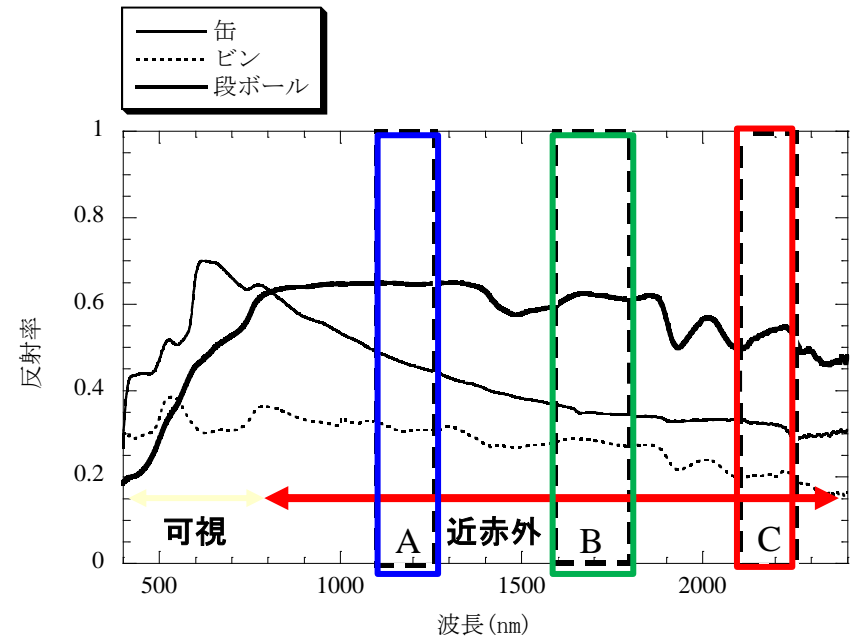
# プラスチックの分光反射率特性 (室内実験)



## プラスチック物質の分光特性



## 非プラスチック物質の分光特性



## プラスチック吸収が最大となる波長

対象物	ゾーンA	ゾーンB	ゾーンC
トレー (PS)	1144 nm	1679 nm	2350 nm
ペットボトル (PET)	1129 nm	1660 nm	2328 nm
レジ袋 (PE)	1200 nm	1731 nm	2313 nm

# プラスチックの分光反射率特性 (野外実験)

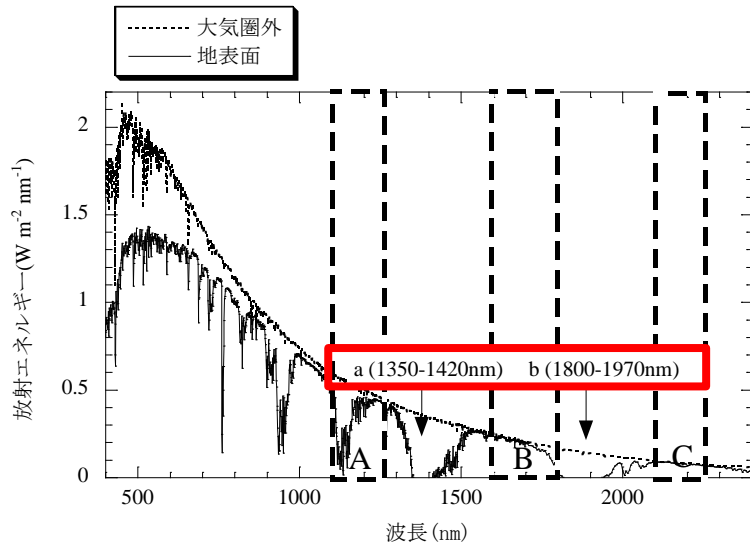


ベイサイドビーチ坂での野外実験の様子

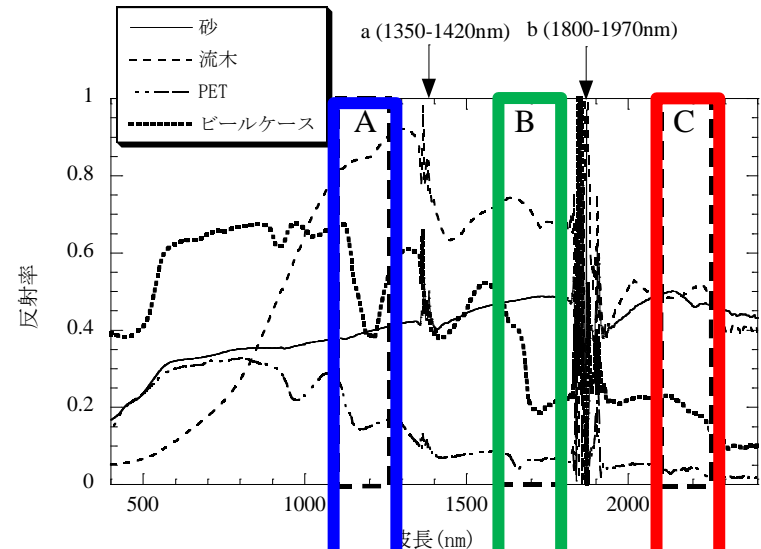


砂 流木 ペットボトル ビールケース

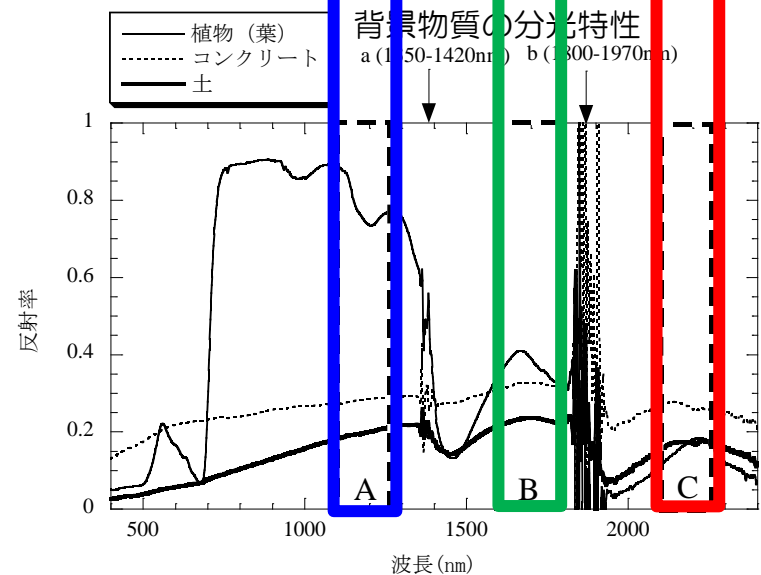
太陽光の入射スペクトル



海岸ゴミの分光特性



背景物質の分光特性

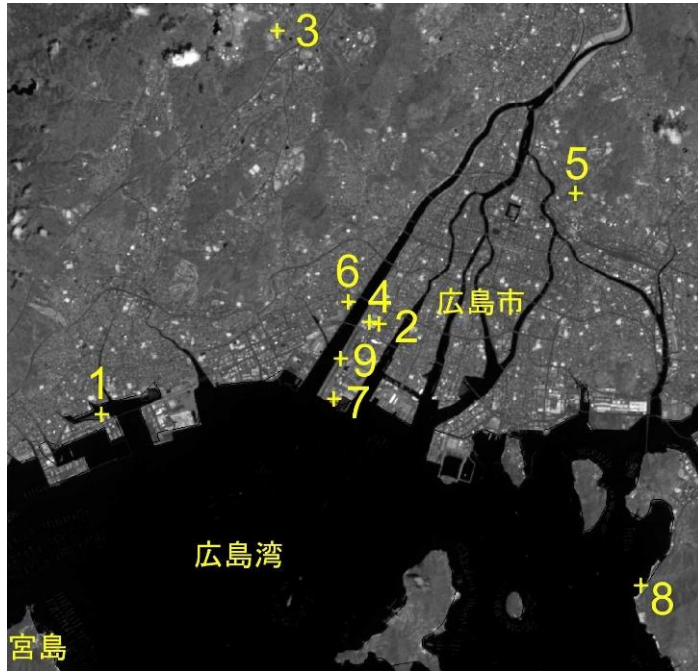


# 衛星によるプラスチック検出の試み



Sentinel-2: 観測周期5日 (2機体制), 解像度10m

## Sentinel-2バンドとプラスチック検出位置



番号	場所	素材
1	廿日市マリーナのポート	FRP
2	コカ・コーラウエスト 陸上競技場	ウレタン
3	広島広域公園 陸上競技場	ウレタン
4	コカ・コーラウエストラグビー場	芝生
5	二葉山緑地 山頂	植物(葉)
6	庚午中学校 グラウンド	土
7	観音マリーナの駐船場	コンクリート
8	ベイサイドビーチ坂	砂
9	広島西飛行場の滑走路	アスファルト

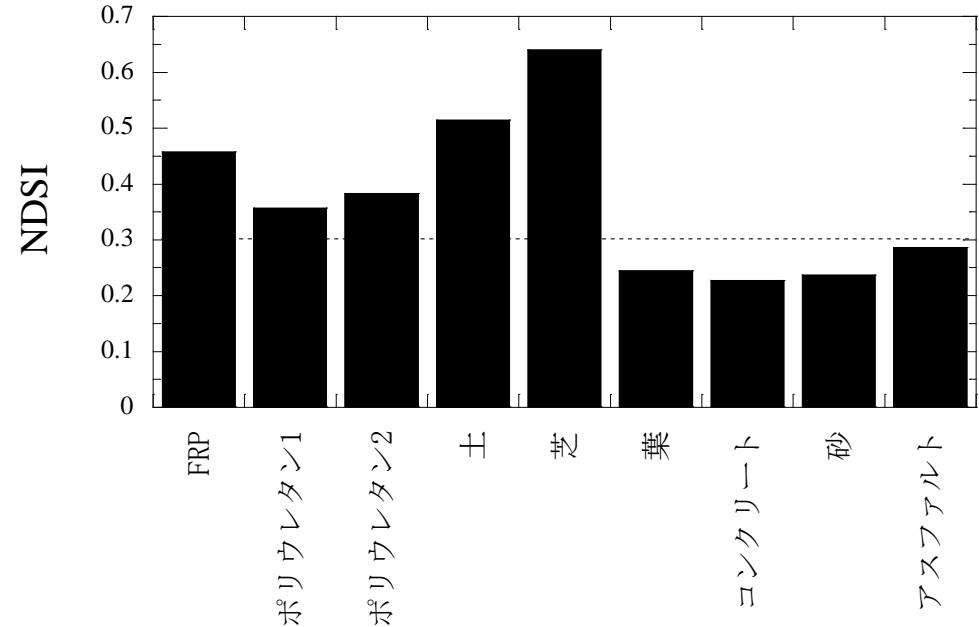
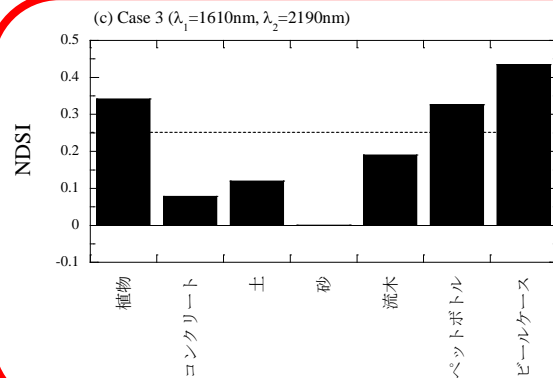
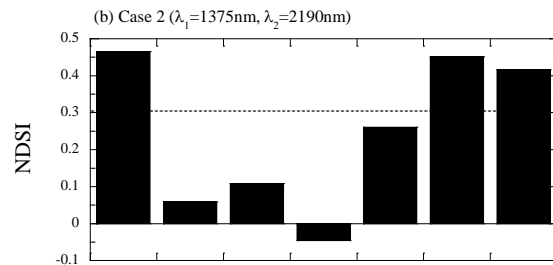
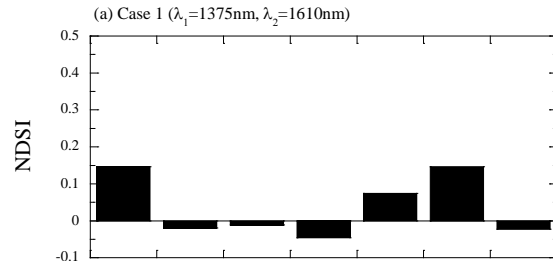
バンド	中心波長	解像度	観測項目
B1	443 nm	60 m	エアロゾル
B2	490 nm	10 m	エアロゾル
B3	560 nm	10 m	陸域情報:
B4	665 nm	10 m	土地被覆< 植生情報 (クロロフィル量、水分、LAI、fAPAR)
B5	705 nm	20 m	雪/氷/雲、鉱物検知
B6	740 nm	20 m	光合成有効放射吸収率 (fAPAR)
B7	775 nm	20 m	
B8	842 nm	10 m	水蒸気補正 / 陸域情報
B8a	865 nm	20 m	水蒸気補正 / 陸域情報
B9	940 nm	60 m	解像度が低くノイジー
B10	1375 nm	60 m	巻雲の検知
B11	1610 nm	20 m	陸域情報
B12	2190 nm	20 m	エアロゾル / 陸域情報

出典: <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b.html>

対象物	ゾーンA	ゾーンB	ゾーンC
トレー(PS)	1144 nm	1679 nm	2350 nm
ペットボトル(PET)	1129 nm	1660 nm	2328 nm
レジ袋(PE)	1200 nm	1731 nm	2313 nm

## 実測反射率によるNDSI比較

## 衛星によるNDSI比較



$$\text{NDSI} = \frac{R_{\text{real}}(\lambda_2) - R_{\text{real}}(\lambda_1)}{R_{\text{real}}(\lambda_2) + R_{\text{real}}(\lambda_1)}$$

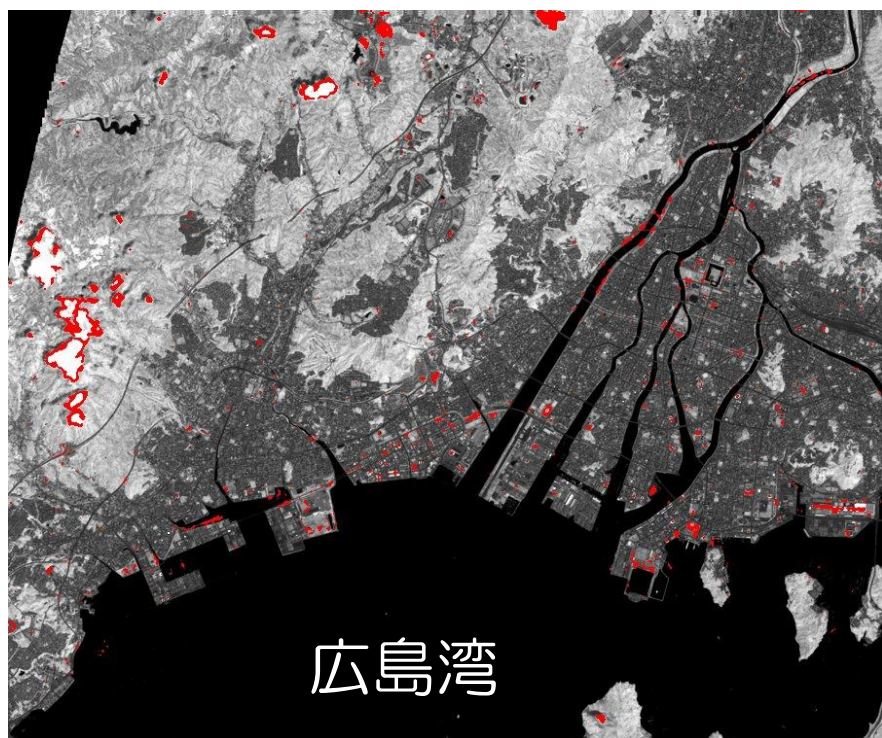
※NDSIが似ている土壌・植物は別途マスクする



# 衛星によるプラスチックの検出結果

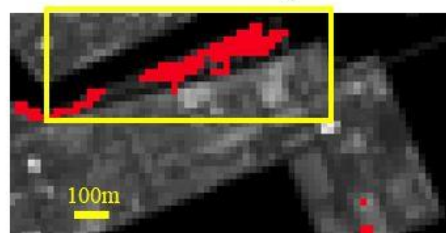


## プラスチック物質検出結果 (補正前後)

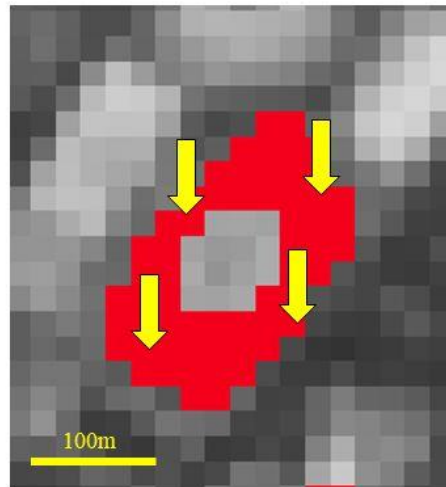


## プラスチック物質検出検証

Sentinel-2画像



Google Earth画像



# 近赤外リモートセンシングによるプラスチック種分布推定の可能性と問題点



## 最近の衛星による海洋プラスチック検出研究例

### Plastic Index (PI)

$$PI = R_{833} / (R_{833} + R_{665})$$
$$RNDVI = (R_{665} - R_{833}) / (R_{665} + R_{833})$$

ピークバンド：833nm  
ベースライン：665nm

出典：Themistocleous et al. (2020) Remote Sensing, 12, 2648

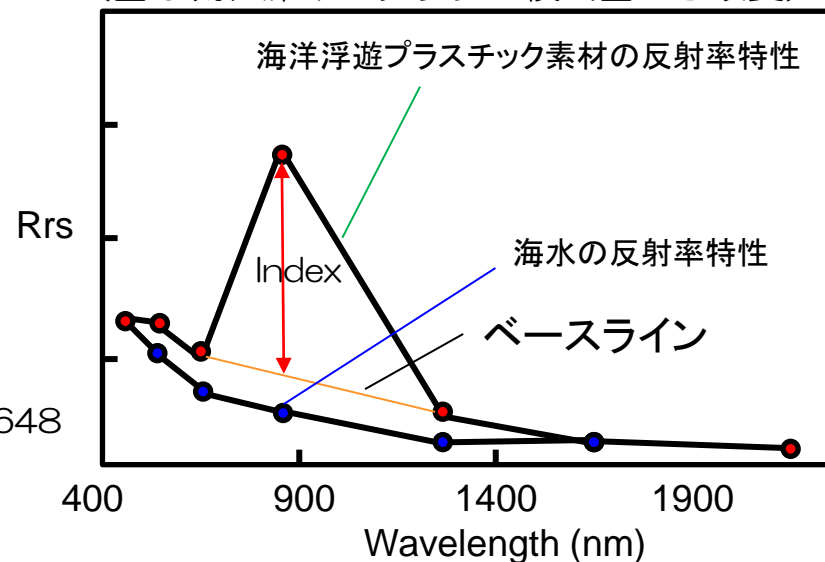
### Floating Debris Index (FDI)

$$FDI = R_{rs,NIR} - R'_{rs,NIR}$$
$$R'_{rs,NIR} = R_{rs,RE2} + (R_{rs,SWIR1} - R_{rs,RE2}) \times \frac{(\lambda_{NIR} - \lambda_{RED})}{(\lambda_{SWIR1} - \lambda_{RED})} \times 10$$

ピークバンド：833nm  
ベースライン：740nm, 1610nm

出典：Biermann et al. (2020) Scientific Reports, 10, 5364

従来海洋プラスチック検出手法の概念図  
(図は流れ藻インデックス模式図から改変)



従来の方法は「流れ藻」や「木くず」検出法とほぼ同じで、プラスチック種は検出できていない。

気球やドローンに近赤外ハイパースペクトルセンサを搭載して撮影すれば、海水浴場などの発生源に近い海岸のプラ種探査は原理的には可能。海洋浮遊のプラ種探査には、1000-2000nmの感度をあげたカメラによる撮影システムが必要。

- ✓ 室内分光反射率実験において、代表的なプラスチックゴミの吸収帯（3つのゾーン）を明らかにした。
- ✓ 屋外分光反射率実験において、室内実験の結果を支持するプラスチックごみの反射率特性を得た。また太陽光源を使用する場合の問題点も明らかにした。
- ✓ 衛星Sentinel-2の近赤外データを使った広域のプラスチックごみ検出の可能性を示したが、種別マッピングには至っていない。
- ✓ 今後はドローンや気球に搭載した近赤外カメラなどを使って、より高解像度の海洋プラスチック種分布探査技術手法の研究を実施したい（ただしセンサの重量や予算の問題で現状では研究が停滞状態）。

## <従来の衛星性能>

- 解像度・・・10m
- 波長・・・833nm（ピーク）665nm・740nm・1610nm（ベース）
- 観測周期・・・10日

## <将来めざしたい衛星性能>

- 解像度・・・1m
- 波長・・・833nm +1700nm・2300nm（ピーク）665nm・740nm・1610nm +945nm（ベース）
- 観測周期・・・1日



# ご清聴ありがとうございました！

<本日発表した内容の公表文献>

- 作野裕司, 森本雅人(2018) 海岸のプラスチックゴミ検出のための近赤外分光反射率特性と衛星からの検出可能性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 74(2), L\_1471-L\_1476.
- 作野裕司 (2021) 6.5海洋プラスチックごみ問題, 海洋へのいざない (第2版), 日本船舶海洋工学会発行, 88-89.
- 作野裕司 (2021) 2.1.2(d) 海洋プラスチック. 人工衛星を利用した海洋の可視化の推進に向けた調査報告書, 笹川平和財団. [https://www.spf.org/global-data/opri/visual/rep02\\_wvis\\_search.pdf](https://www.spf.org/global-data/opri/visual/rep02_wvis_search.pdf)
- 作野裕司 (2021) 海洋プラスチック・流れ藻に関するリモートセンシングの現状と今後の展望, シンポジウム「海洋観測におけるリモートセンシングの活用の今後」(笹川平和財団主催), 招待講演.

※その他：広島県内の高校生（安田女子高校，2018）への海洋プラ研究指導，海洋プラに関する模擬授業(依頼)実施（武田中学校・高校，2022）

