



講演5：環境分析機器開発

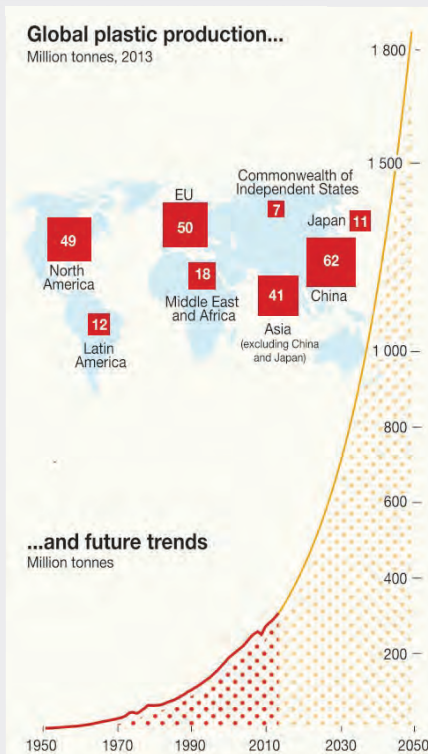
# 海洋マイクロプラスチックの 高速検出とAI自動分類

北橋倫

(海洋研究開発機構)



## プラスチックの生産量

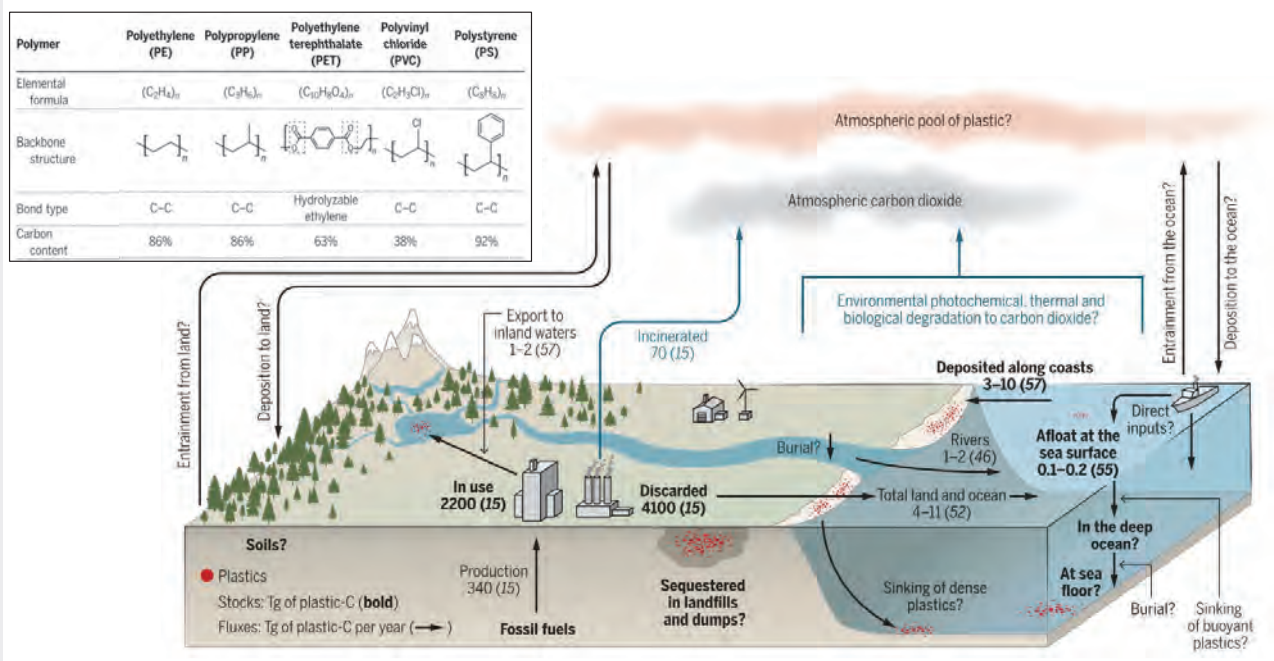


プラスチックは  
1950年代から生産され、生産量は増え続けている  
2050年には・・・



## プラスチック：主に炭素からなる合成高分子化合物

プラスチックの動態は炭素循環を考える上でも重要

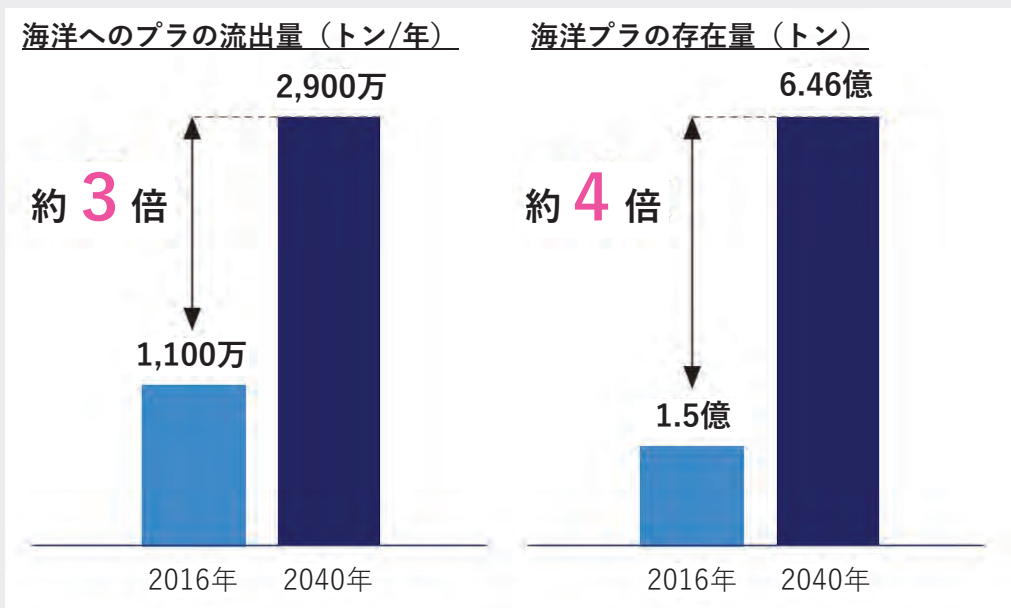


Stubbins et al. 2021, Science

## 海洋プラスチック汚染

2016年には年間1,100万トンのプラスチックが海洋に流入した

(Lau et al. 2020)



The Pew Charitable Trusts 2020

## 持続可能な開発目標 (SDGs)



**目標 14：海洋と海洋資源を持続可能な開発に向けて保全し、持続可能な形で利用する**

**ターゲット14.1：**

2025年までにあらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減する

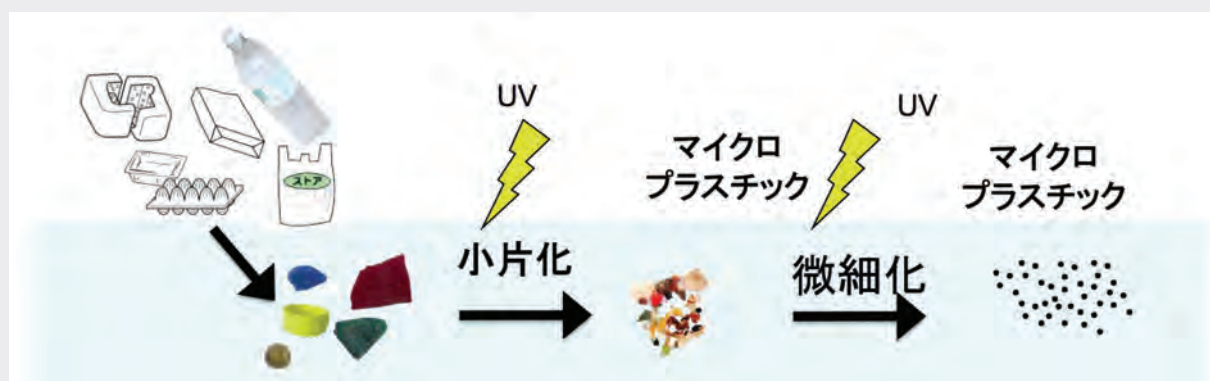
### SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



## マイクロプラスチック (MP)

**マイクロプラスチック (MP) : 5 mm以下のプラスチック**

- ・一次マイクロプラスチック：  
もともと小さかったMP (洗顔剤や歯磨き粉のスクラブ)
- ・二次マイクロプラスチック：  
もともと大きかったが紫外線や波浪の影響で微細化したMP

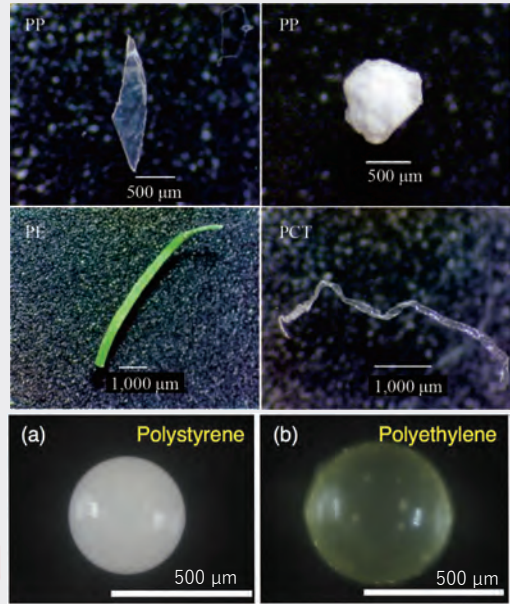


## マイクロプラスチック (MP)

形状は様々 ⇒ 生物の影響の仕方も異なる



<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atc/web/18/053000010/053000001/>



Tanaka & Takada 2016; 牛島ら 2018

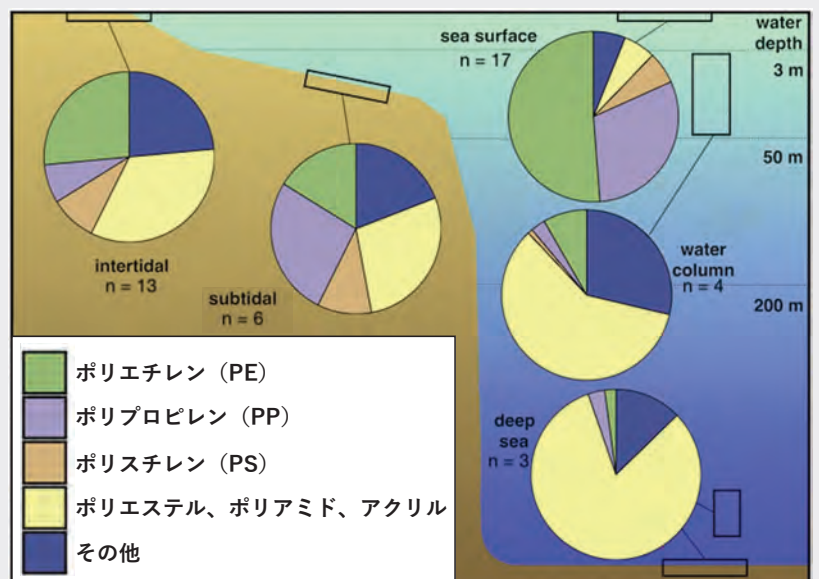
## マイクロプラスチック (MP)

プラスチックの材質によって、  
比重が異なり、環境中での分布に偏りがある

| プラスチック材質      | 比重(g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------|------------------------|
| ポリエチレン        | 0.91-0.95              |
| ポリプロピレン       | 0.90-0.92              |
| ポリスチレン        | 0.01-1.09              |
| <b>海水</b>     | <b>1.025</b>           |
| ポリ塩化ビニル       | 1.16-1.30              |
| ポリエステル        | >1.35                  |
| ポリアミド         | 1.13-1.15*             |
| アクリル          | 1.17-1.20*             |
| ポリエチレンテレフタレート | 1.34-1.39              |

GESAMP 2015

\* <https://www.toishi.info/sozai/plastic/sg.html>



Erni-Cassola et al. 2019

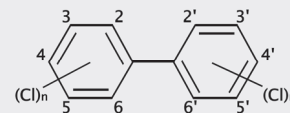
## プラスチックの材質によって、 吸着する/添加されている化学物質が異なる

| Chemicals* | Polymer type | Size (mm) | Concentration Min - Max (ng/g plastics) | Concentration Median of maximum <sup>b</sup> (ng/g plastics) |
|------------|--------------|-----------|---|--|
| PCBs       | PE, PP, PS   | 0.1-35    | ND <sup>c</sup> -5,000                  | 240  |
| DDTs       | PE, PP, PS   | -         | ND-7,100                                | 88   |
| HCHs       | PE           | 1-5       | 0.14-112                                | 20   |
| Chlordanes | PE, PP       | -         | 4.29-14.2                               | -  |
| HCB        | PE, PP       | -         | 12.4-17.5                               | -  |
| Mirex      | PE, PP       | -         | 6.48-14.6                               | -  |
| PBDEs      | PE, PP       | ~35       | ND-16,444                               | 412  |
| HBCDs      | PS           | 1-5       | 0.06-512                                | -  |
| PFAAs      | -            | 2-6       | 0.01-0.18                               | -  |
| PAHs       | PE, PP, PS   | 1-35      | ND-12,000                               | 1,335  |
| BPA        | PE, PP       | ~35       | ND-729.7                                | 284  |
| NP         | PE, PP       | 1-35      | ND-16,000                               | 2,660  |
| OP         | PE, PP       | ~10       | ND-154                                  | 40   |

GESAMP 2016

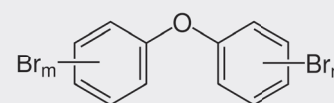
### PCB (ポリ塩化ビフェニル)

残留性有機汚染物質  
(POPs: Persistent Organic Pollutants)

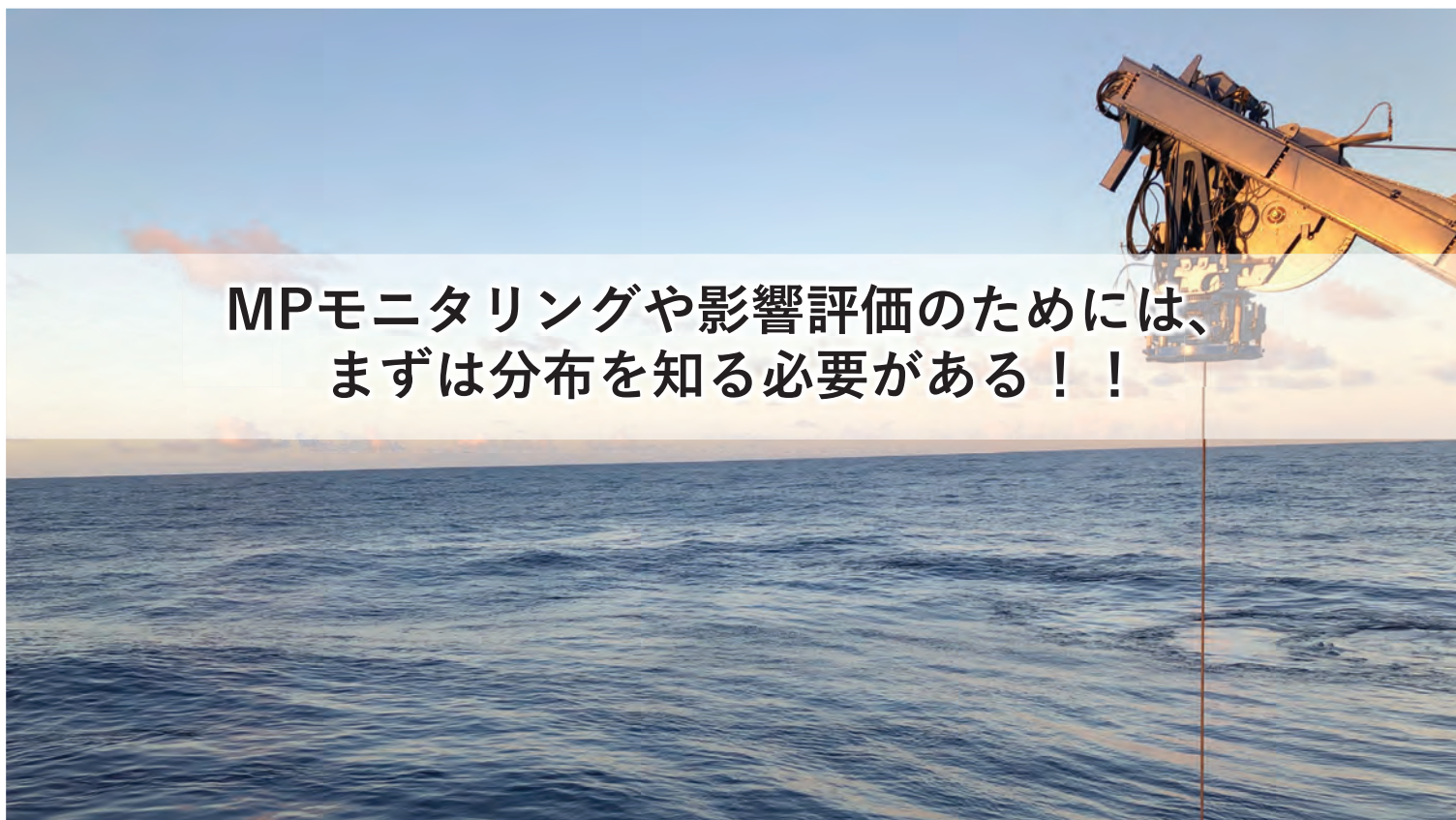


### PBDE (ポリ臭化ジフェニルエーテル)

難燃剤として添加



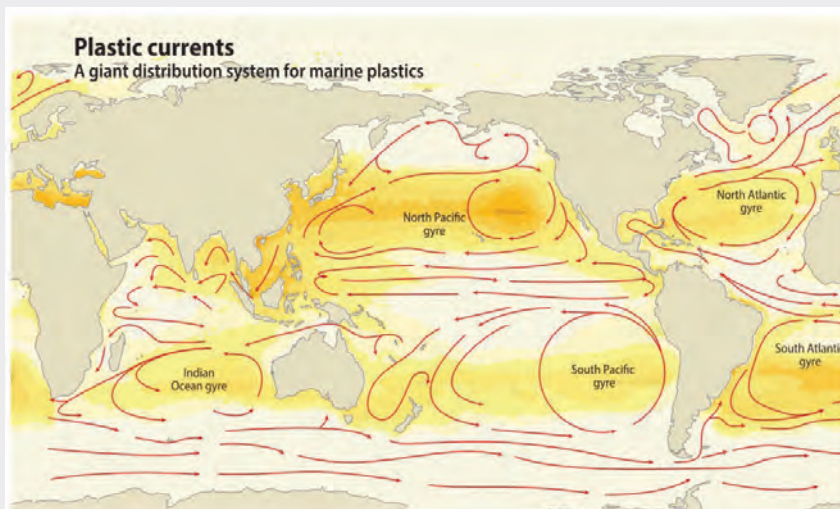
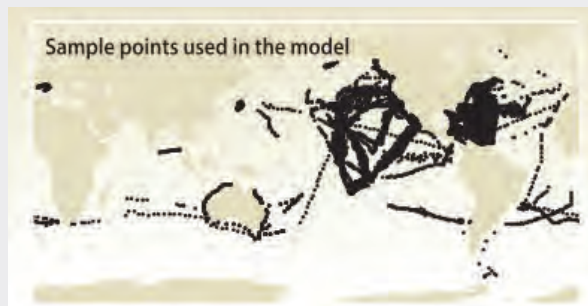
MPモニタリングや影響評価のためには、  
まずは分布を知る必要がある！！



## MP分布モデルとモデルに用いた観測地点のギャップが大きい

モデルに用いた観測地点

海洋表層のMP個数（モデル値）



観測データが圧倒的に足りていない

MPのモニタリング・影響評価に必要な項目：

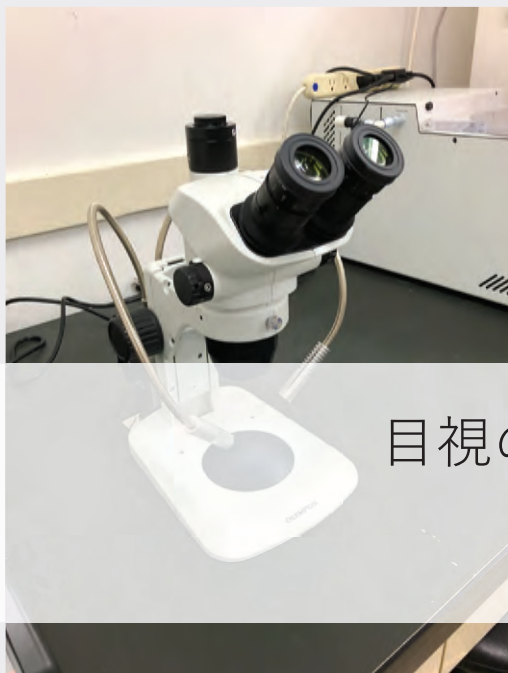
**個数・サイズ・形状・材質**



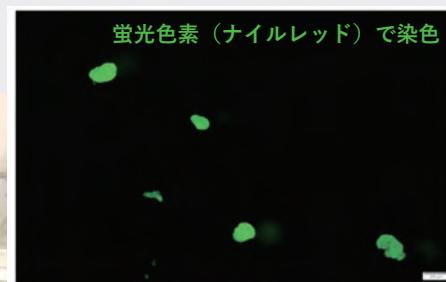
- 採集
- 分離・前処理
- 識別・計測

## 識別・同定 | 目視

### 実体顕微鏡



### 蛍光顕微鏡



中嶋・山下 (2020)より

目視のみでは誤判定が多い

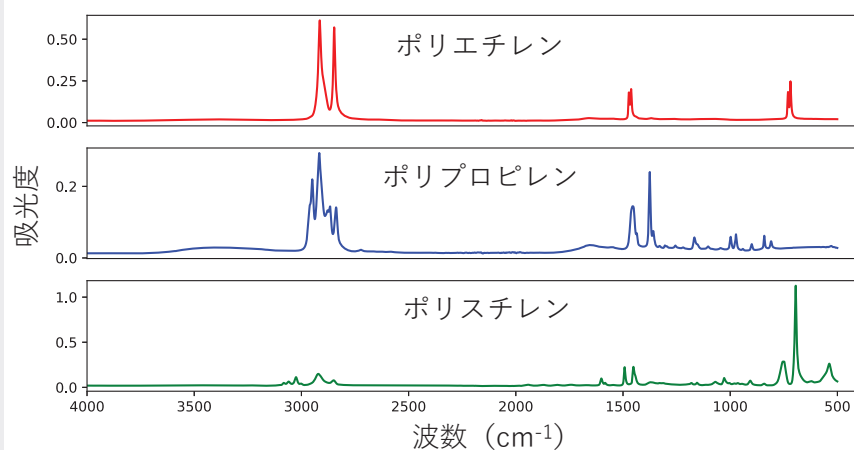
⇒材質判別が必要

## 識別・同定 | 材質判別

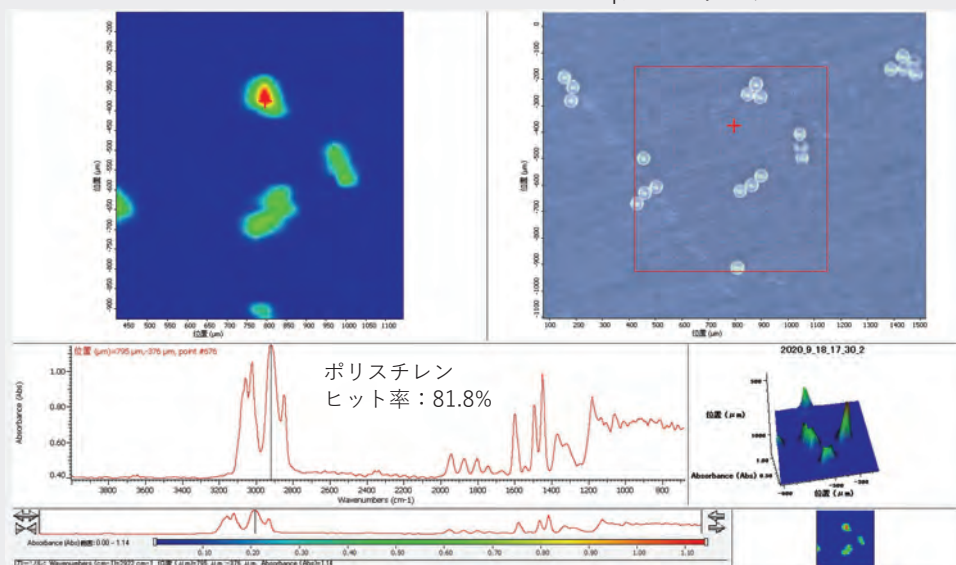
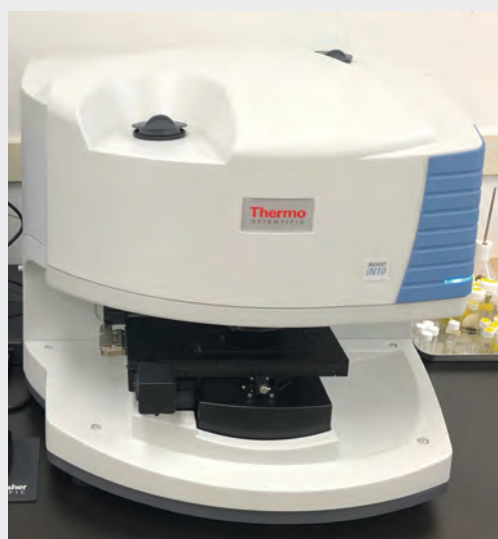
### フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR)

赤外光を照射し、透過光もしくは反射光を分析することで、プラスチックの材質を判別できる

100  $\mu\text{m}$ 以上のMP分析 ⇒ ATR FT-IR



より小さな粒子 (10-100  $\mu\text{m}$ )  $\Rightarrow$  顕微FT-IR



## 従来の方法では時間がかかる



AIを活用

### ① フローセルを用いた分析手法の開発

$\Rightarrow$  MPの個数を迅速に計数する

### ② ハイパースペクトルカメラを用いた分析手法の開発

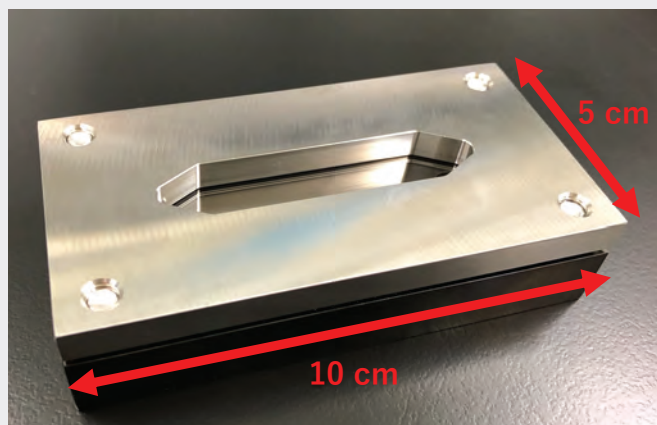
$\Rightarrow$  MPの個数と材質を迅速に判別する



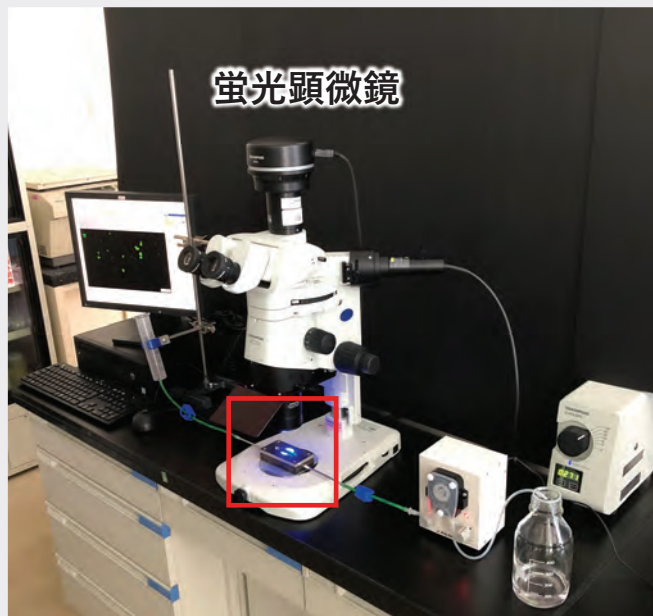
## MP分析の迅速化①| フローセルを用いた分析手法

蛍光色素（ナイルレッド）で染色したMPを蛍光顕微鏡化下のフローセルに流し、動画を撮影する

フローセル



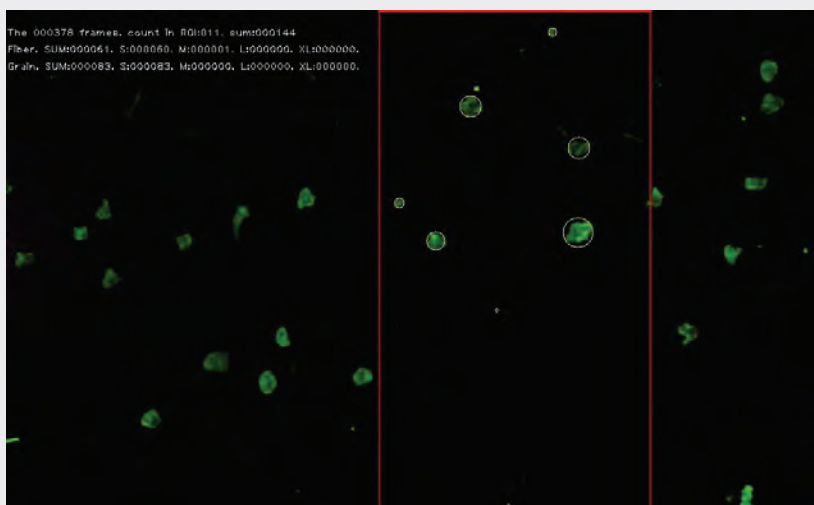
蛍光顕微鏡



## MP分析の迅速化①| フローセルを用いた分析手法

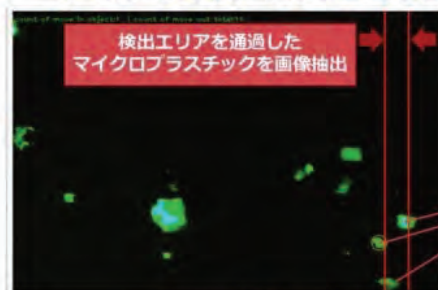
画像解析・機械学習により各粒子の形状・サイズを自動的に分類するシステムを開発した

動画から自動で粒子を検出



Kitahashi et al. (in prep.)

【3】ソフトウェアにより、動画内からマイクロプラスチックを自動検出



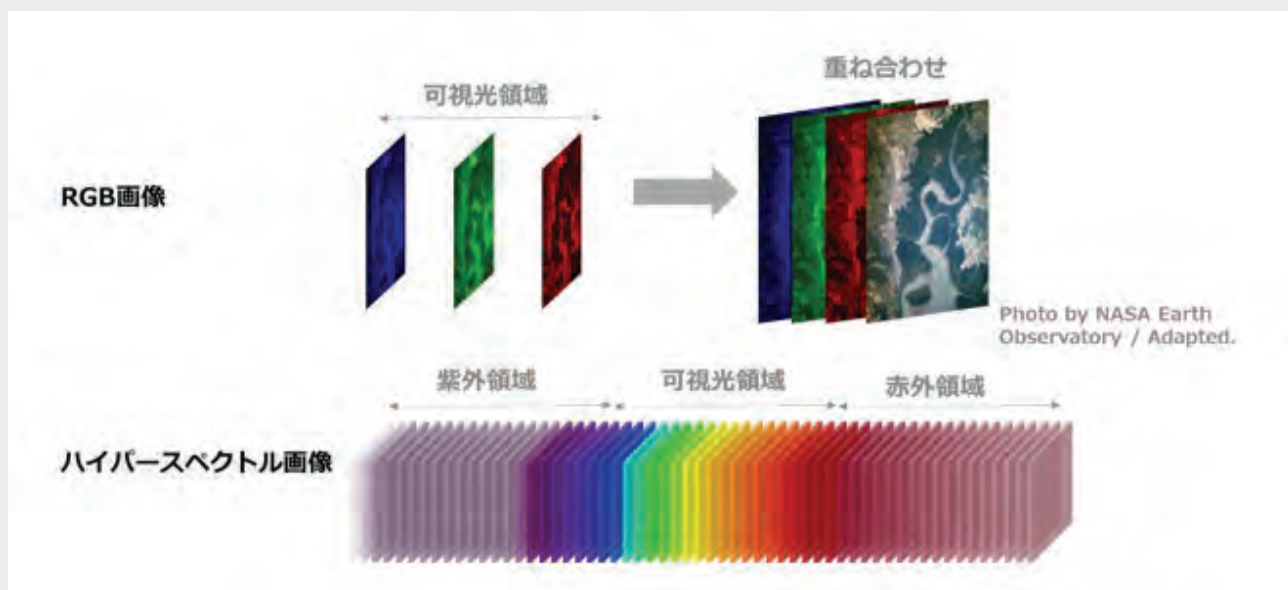
【4】AIが形状やサイズにより自動的に分類してデータ化

NECと共同開発

[https://jpn.nec.com/press/202007/20200703\\_01.html](https://jpn.nec.com/press/202007/20200703_01.html)

## MP分析の迅速化②| ハイパースペクトルカメラを用いた手法

ハイパースペクトルカメラ：光を波長ごとに分光して撮影するカメラ



<https://www.mizuho-ir.co.jp/solution/research/telecom/system/supectrumimaging/index.html>

## MP分析の迅速化②| ハイパースペクトルカメラを用いた分析手法

フィルター上に海水をろ過し、  
ハイパースペクトルカメラで計測する

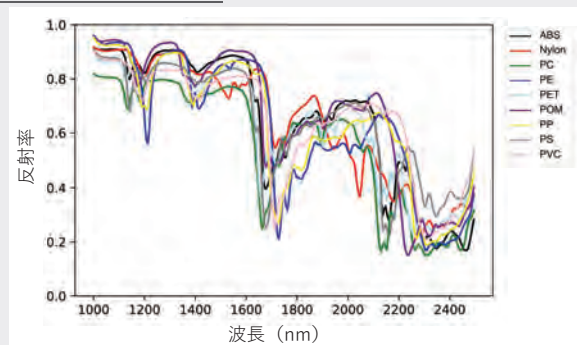


RGB画像

左からABS, Nylon, PC, PE, PET, POM, PP, PS, PVC



スペクトルパターン



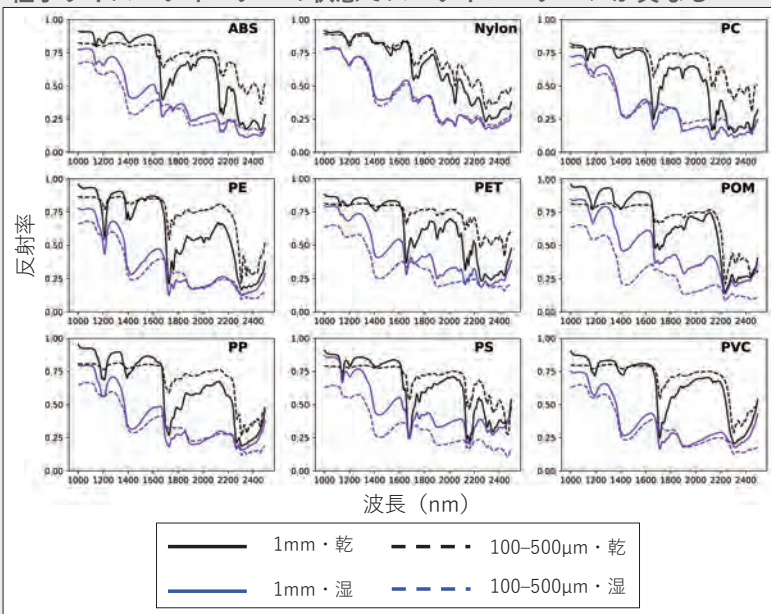
スペクトル分光パターンにより  
プラスチックの材質を分類する

## MP分析の迅速化② | ハイパースペクトルカメラを用いた分析手法

粒子サイズによらず、フィルターが湿っている状態でも  
プラスチックの材質を判別できる機械学習モデルを構築した

粒子サイズ・フィルターの状態でスペクトルパターンが異なる

Kitahashi et al. (2021, Analytical Methods)



前処理：

- ・ SNV (standard normal variate) による標準化
- ・ Savitzky-Golayでノイズ除去とピークの強調

モデル構築：

PLS-DA (partial least-square discriminate analysis) を用いて判別モデルを構築



試料を濾過した直後にハイパースペクトルカメラによるプラスチック材質分類が可能

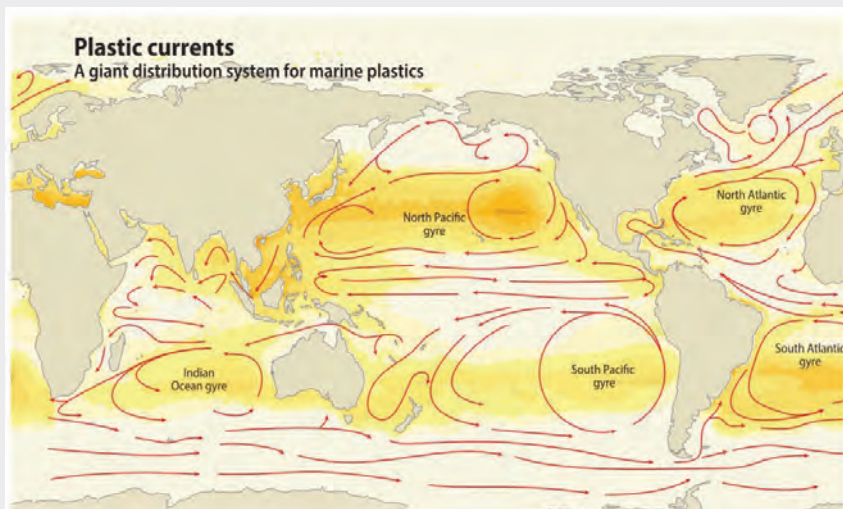
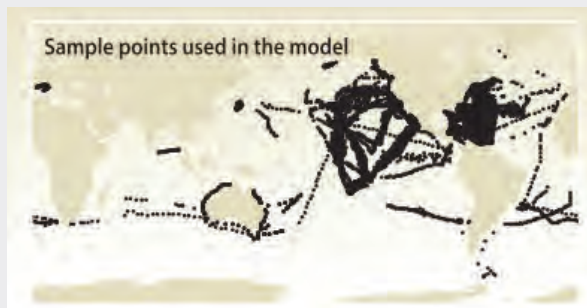
## まとめ

- 海洋プラスチック、特にマイクロプラスチック (MP) が海洋生物に与える影響が懸念されている
- MPの分布モデル作成・影響評価のためには、**個数・サイズ・形状・材質**を把握する必要がある
  - ✓ 目視だけでは誤判定が多いため材質を特定することが望ましい
  - ✓ 従来のプラスチックの材質判別は、計測に時間がかかる
  - ✓ より迅速な分析のために**AIを活用**し、フローセルを用いた手法やハイパースペクトルカメラを用いた**迅速な分析手法を開発中**

## MP分布モデルとモデルに用いた観測地点のギャップが大きい

モデルに用いた観測地点

海洋表層のMP個数（モデル値）



観測データが圧倒的に足りていない



主な商船の航路 → 時空間的に高解像度な観測網？

御清聴ありがとうございました