

# 広域藻場のモニタリング技術と課題について

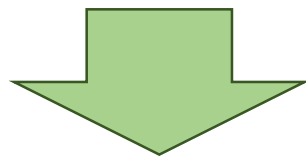
神奈川県水産技術センター相模湾試験場：前川千尋、有馬史織  
水産工学研究所：桑原久実、佐藤允昭  
水産土木建設技術センター：井下恭次、米澤泰雄

## 既存の藻場調査手法の整理

- ① 既存の藻場調査手法の整理  
(技術的課題や適用条件など)
- ② 目的に応じた調査精度の整理
- ③ 複数の調査手法の組み合わせの検討

## 画像解析の技術開発

- ④ 画像判別手法の確立  
(人工衛星、ドローン、水中カメラ)



「広域藻場調査マニュアル」の提案

# 既存の藻場調査手法

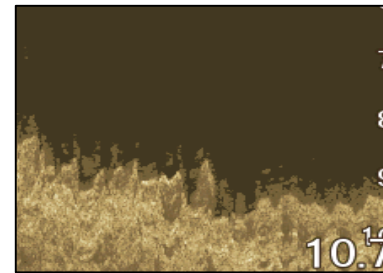
- 潜水調査による方法 … ①
- 船上から観察する方法 … ②  
(箱メガネ、水中カメラ)
- 音響機器による方法 … ③
- 空撮画像による方法
  - UAV … ④  
(無人航空機、ドローン)
  - 航空機 … ⑤
  - 人工衛星 … ⑥



①潜水調査



②水中カメラ画像



③簡易ソナー画像



④ドローン

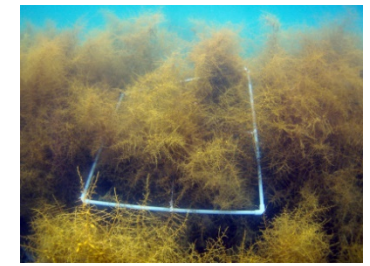


⑤航空機



⑥衛星画像

# ① 潜水調査



## 《方法》

ダイバーがトランセクトやコドラートを設置し、調査地点、側線、エリア内の藻場を観察

### 取得可能情報

種類 : ◎ (種名まで)  
被度(%) : ○  
底質 : ○  
周辺環境 : ○

### 調査範囲

地先  
プロット、側線、エリア  
(0.0001~1km<sup>2</sup>)

### 空間精度

調査プロット内で  
ほぼ100%判別

### 技術的優位性

他手法を適用する場合も  
教師データとして併用可

### 技術的課題

海藻の同定ができる者が  
必要

### コスト

自前：無料  
＋用船料(～5万円/日)  
  
委託：  
6.7～7.5万円/50mライン  
1,650万円/km<sup>2</sup>  
(1,000m×11側線)

## 《適用事例》

事例多数

## ② 船上調査



### 《方法》

船上から箱メガネや水中カメラを用いて藻場を観察

#### 取得可能情報

種類：○（使用機器による）  
被度(%)：○  
底質：○  
周辺環境：△（水深による）

#### 調査範囲

地先～湾  
プロット、エリア  
（～1km<sup>2</sup>）

#### 空間精度

調査プロット内で  
ほぼ100%判別

#### 技術的優位性

- 比較的簡便
- 漁業者にも実施可能
- 海中に入らなくても良い
- 教師データとして併用可

#### 技術的課題

- 海藻の同定ができる  
者が必要
- 使用する水中カメラ  
の性能

#### コスト

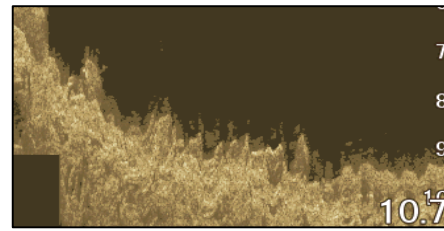
自前：無料～  
水中カメラ8万円～16万円  
（うみなかみるぞうくん）  
用船料（～5万円/日）

委託：  
30万/km（船上目視）  
330万円/km<sup>2</sup>  
（1,000m×11側線）

### 《適用事例》

事例多数

### ③ 音響ソナー



#### 《方法》

魚群探知機、サイドスキャンソナーマルチビームソナー等を用い、  
調査側線上の藻場分布の観察

#### 取得可能情報

種類：△（他手法との併用で○）  
被度(%)：△  
底質：○  
周辺環境：×

#### 調査範囲

地先～小湾スケール  
側線  
(0.15～9.3km<sup>2</sup>)

#### 空間精度

調査範囲内では高い  
〔取得可能な情報は  
調査側線のみ〕

#### 技術的優位性

透明度が低い場合や  
水深が深い場所でも  
適用可

#### 技術的課題

- ・ 極浅海域では船舶の進入が困難
- ・ 他の手法による視覚情報の併用が必須
- ・ 各種計測機器及び複合システムがあり、最適化の検証が必要

#### コスト

自前：  
魚群探知機40万円  
(LOWRANCE HDS-8)  
  
委託：  
簡易サイドスキャン  
・ 測深器  
20万円/km<sup>2</sup>（調査費のみ）  
685万円/km<sup>2</sup>（解析費込）

#### 《適用事例》

今尾ら(1985)、  
小松ら(2004)、  
奥村ら(2006)、Sonoki et al.(2016)

## ④-1 UAV+光学カメラ (RGB)



### 《方法》

光学カメラの空撮画像 (RGB) から藻場を判断

#### 取得可能情報

種類 :  $\Delta$  (藻場の種類)  
被度 (%) :  $\Delta$   
底質 :  $\bigcirc$   
周辺環境 :  $\times$

#### 調査範囲

地先、小湾  
(0.004~1km<sup>2</sup>)

#### 空間精度

撮影範囲で正答率  
66.7~81.3%

#### 技術的優位性

人工衛星、航空機より  
高解像度

(高度150mでも解像度約4-8cm)

#### 技術的課題

- 解像度は高いが、データ処理能力の制約の可能性あり
- ハレーション
- 波浪
- 計測可能水深の限界等

#### コスト

自前 : 12~90万円  
(ドローン+光学カメラ代)

委託 :  
10万円/12.5km  
(撮影のみ)  
40~65万円/km<sup>2</sup>  
(解析費込み)

### 《適用事例》

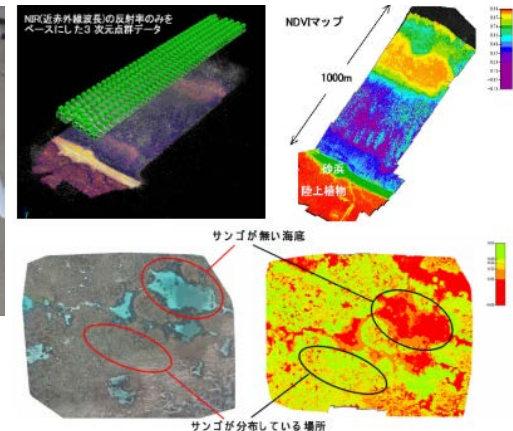
山田ら(2017)、  
佐藤ら(2018)、  
Ventura et al. (2016)、  
Casella et al. (2017)、Sturdivant et al. (2017)



## ④-2 UAV＋マルチスペクトル

### 《方法》

4～5バンド画像の画像解析による藻場の判読



### 取得可能情報

種類：？（RGBより細かい？）  
被度（%）：×  
底質：△（透明度、水深による）  
周辺環境：×

### 調査範囲

地先、小湾  
面的に対応可能  
(0.004～1km<sup>2</sup>)

### 空間精度

正答率：？？

### 技術的優位性

- 人工衛星、航空機より高解像度
- 光学カメラより情報量増える可能性あり

### 技術的課題

- UAV＋光学カメラと同様の課題
- ドローン付属光学カメラよりも画角（撮影範囲）が狭い

### コスト

自前：90～140万円  
（ドローン  
＋マルチスペクトルカメラ代）  
委託：？？

### 《適用事例》

農業分野での事例あり

藻場事例は非常に少ない（港湾研で根室の藻場調査や西表島のサンゴの事例）



## ⑤-1 航空機 (DMC)



### 《方法》

カラー、モノクロ、近赤外の取得画像の画像解析により藻場を判読。

解像度は高度1,200mで12cm程度

#### 取得可能情報

種類 : △ (大分類)  
被度(%) : △ (藻場の有無)  
底質 : ×  
周辺環境 : ×

#### 調査範囲

湾・灘・単県  
(~554km<sup>2</sup>)

#### 空間精度

藻場有無の判別に  
対応可能な精度  
(65~88%)

#### 技術的優位性

広域が対象

#### 技術的課題

- ・ 教師データの取得が必要  
(教師つきデータが主流)
- ・ ハレーション対応
- ・ 計測可能水深に限界有

#### コスト

7万円/km<sup>2</sup> (撮影のみ)  
550万円/133km<sup>2</sup>  
(撮影+オルソ画像作成)

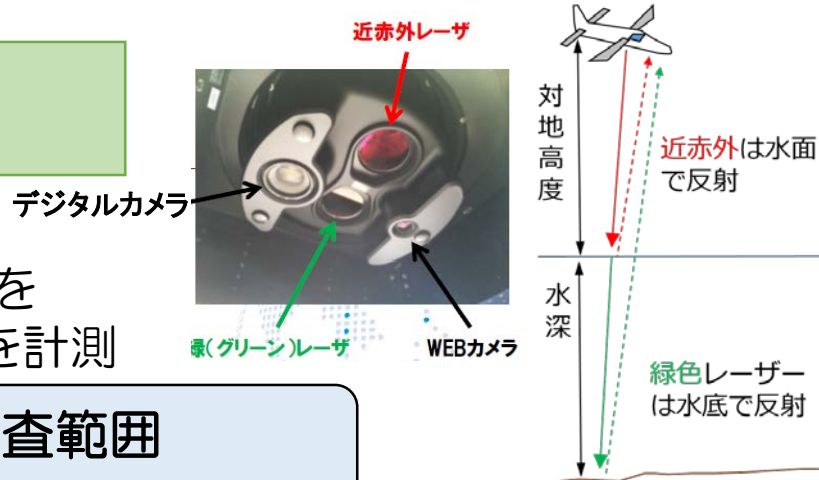
### 《適用事例》

Amy et al. (2016)、  
Mumby and Edwards (2002) など多数あり

## ⑤-2 航空機（ALB）

### 《方法》

RGBに加え、近赤外とグリーンレーザーを同時に照射することにより浅海域の水深を計測



### 取得可能情報

種類：△（大分類）

被度(%)：△

（藻場の有無、粗密の違い程度）

底質：△（水深のみ）

周辺環境：×

### 調査範囲

湾、灘、単県  
面的に対応可能  
（～110km<sup>2</sup>）

### 空間精度

藻場有無の判別  
80%～

### 技術的優位性

- 広域を対象
- DMCより解像10cm以下の画像の取得
- 密生した大型海藻の分布状況（形状）を把握可能（海底面反射のデータ  
＋藻場に反射するデータの利用）

### 技術的課題

- 教師データが必要
- ハレーション対応
- 計測可能水深に限界
- 広域の場合はDMCより効率が低下

### コスト

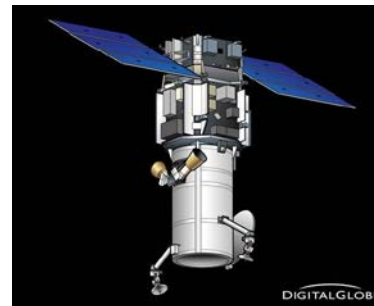
30万円/km<sup>2</sup>（撮影のみ）  
700万円/22km<sup>2</sup>  
（ALB測深及び撮影・測深データ・オルソ画像作成）

### 《適用事例》

実証試験・研究レベルで適用事例あり

Webster et al. (2016)、Zhao et al. (2016)等

## ⑥ 人工衛星



### 《方法》

数m～1 m以下の解像度、  
4～8バンドの衛星画像の画像解析により藻場を判読

#### 取得可能情報

種類 : △ (大分類)

被度(%) : △  
(藻場の有無や粗密の違い程度)

底質 : × (別途必要)

周辺環境 : ×

#### 調査範囲

湾・灘～広域沿岸  
(25 km<sup>2</sup> ～)

#### 空間精度

藻場の有無の判別  
50～79%

#### 技術的優位性

広域を対象

#### 技術的課題

- ・ 教師データが必要
- ・ 撮影画像の入手に制約
- ・ ハレーション
- ・ 雲量リスク

#### コスト

無料のものは解像度10m  
以上 (Sentinelなど)

アーカイブ画像購入 :  
0.7～0.84万円/km<sup>2</sup>

Worldview2は最小購入面積  
25km<sup>2</sup>で17万円～

### 《適用事例》

環境省 (東北沿岸、瀬戸内海)、  
Mumby and Edwards(2002)、  
Vahtmae and Kutser(2007)、Setyawidati et al.(2018)など多数

# 各調査手法の比較

|              | 取得情報        | 調査範囲     | コスト                                                                                         |
|--------------|-------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 潜水調査         | ◎           | 地先       | 自前：無料～<br>委託：1,650万円/km <sup>2</sup> ～                                                      |
| 船上調査         | ○（使用機器による）  | 地先～湾     | 自前：無料～<br>委託：330万円/km <sup>2</sup> ～                                                        |
| 音響ソナー        | △（他調査と併用：○） | 地先～小湾    | 自前：40万円～<br>委託：20万円/km <sup>2</sup> ～                                                       |
| ドローン<br>+RGB | △           | 地先、小湾    | 自前：12万円～<br>委託：40万円/km <sup>2</sup> ～                                                       |
| ドローン<br>+マルチ | ？           | 地先、小湾    | 自前：90～140万円<br>委託：？？                                                                        |
| 航空機<br>+DMC  | △           | 湾、灘、単県   | 7万円/km <sup>2</sup> ～（撮影のみ）<br>550万円/133km <sup>2</sup><br>（撮影+オルソ画像作成）                     |
| 航空機<br>+ALB  | △           | 湾、灘、単県   | 30万円/km <sup>2</sup> ～（撮影のみ）<br>700万円/22km <sup>2</sup><br>〔 ALB測深および撮影・<br>測深データ・オルソ画像作成 〕 |
| 人工衛星         | △           | 湾、灘～広域沿岸 | 無料、17万円/25km <sup>2</sup> ～                                                                 |

# 既存の藻場モニタリング手法の課題

既存の藻場モニタリング手法を紹介

→ 利用者は手法の選択が困難…

《利用者》

漁業者 → 自分たちの漁場のカジメの状態が知りたい

行政機関 → 多少精度が落ちてでも迅速に藻場の状況を知りたい

研究機関 → 試験研究のため、精度のよい情報がしりたい

NPOなど

誰が？

目的は？  
(求める精度)

調査範囲は？

予算は？

求める情報によって、自ずと調査方法も異なる

「広域藻場調査マニュアル」により  
利用者の求める精度に応じた調査手法を選択できるようにする

## 利用者が調査手法を選択するには…

藻場の調査方法は、選択肢がたくさん…

- 利用者はどれを選んでいいかわからない
- どれくらいのコストがかかるのかわからない

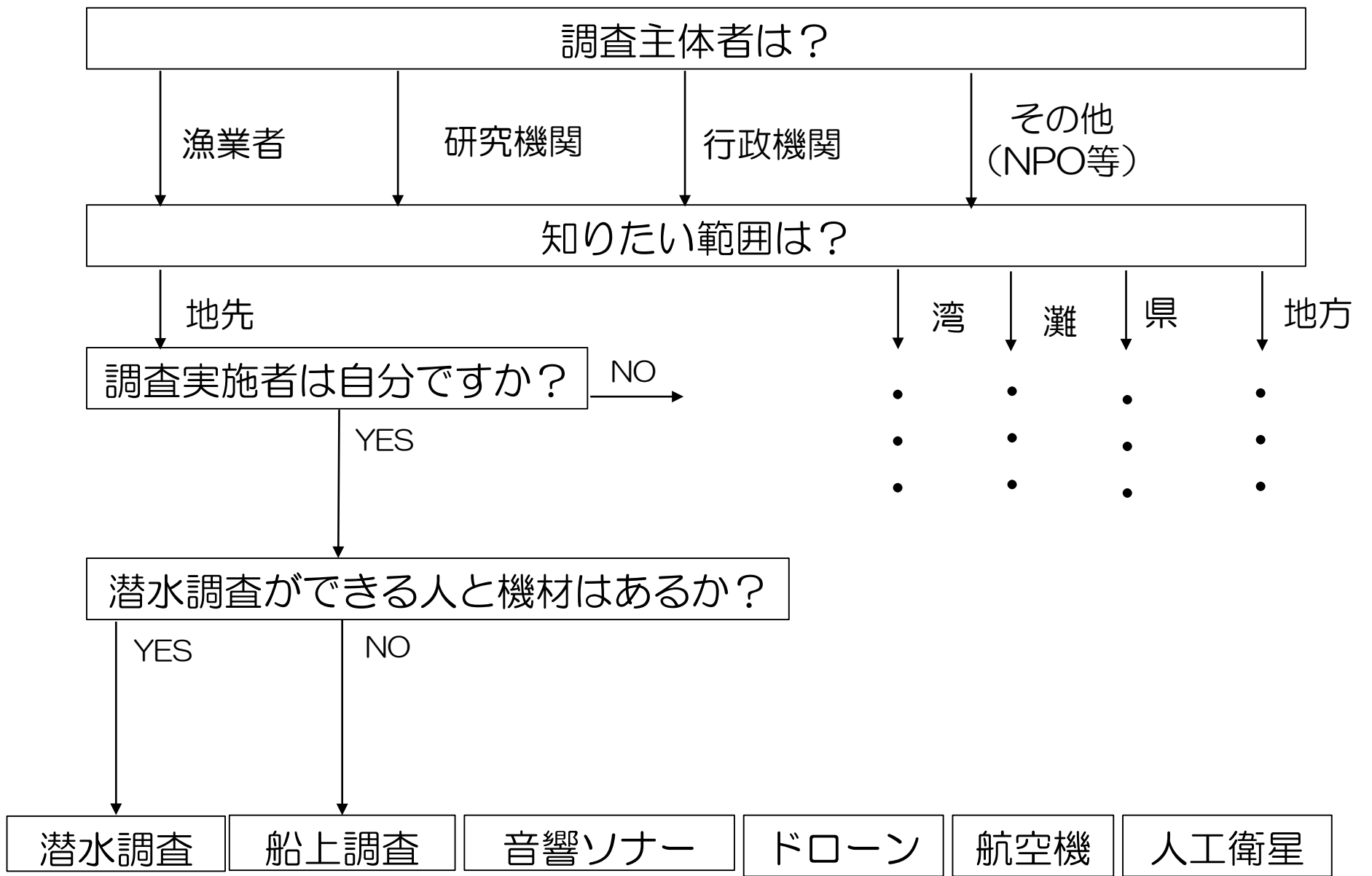


利用者の求める精度に応じた調査手法を  
選択できるようにするためには？



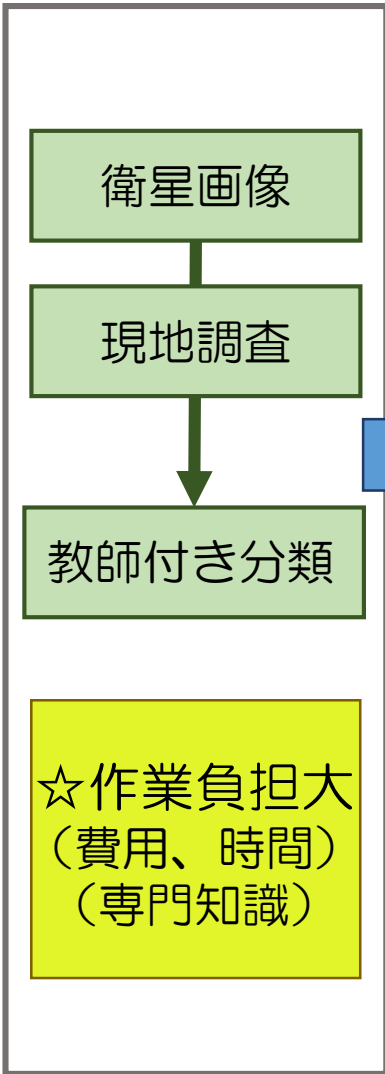
「広域藻場調査マニュアル」内に  
フローチャートの作成



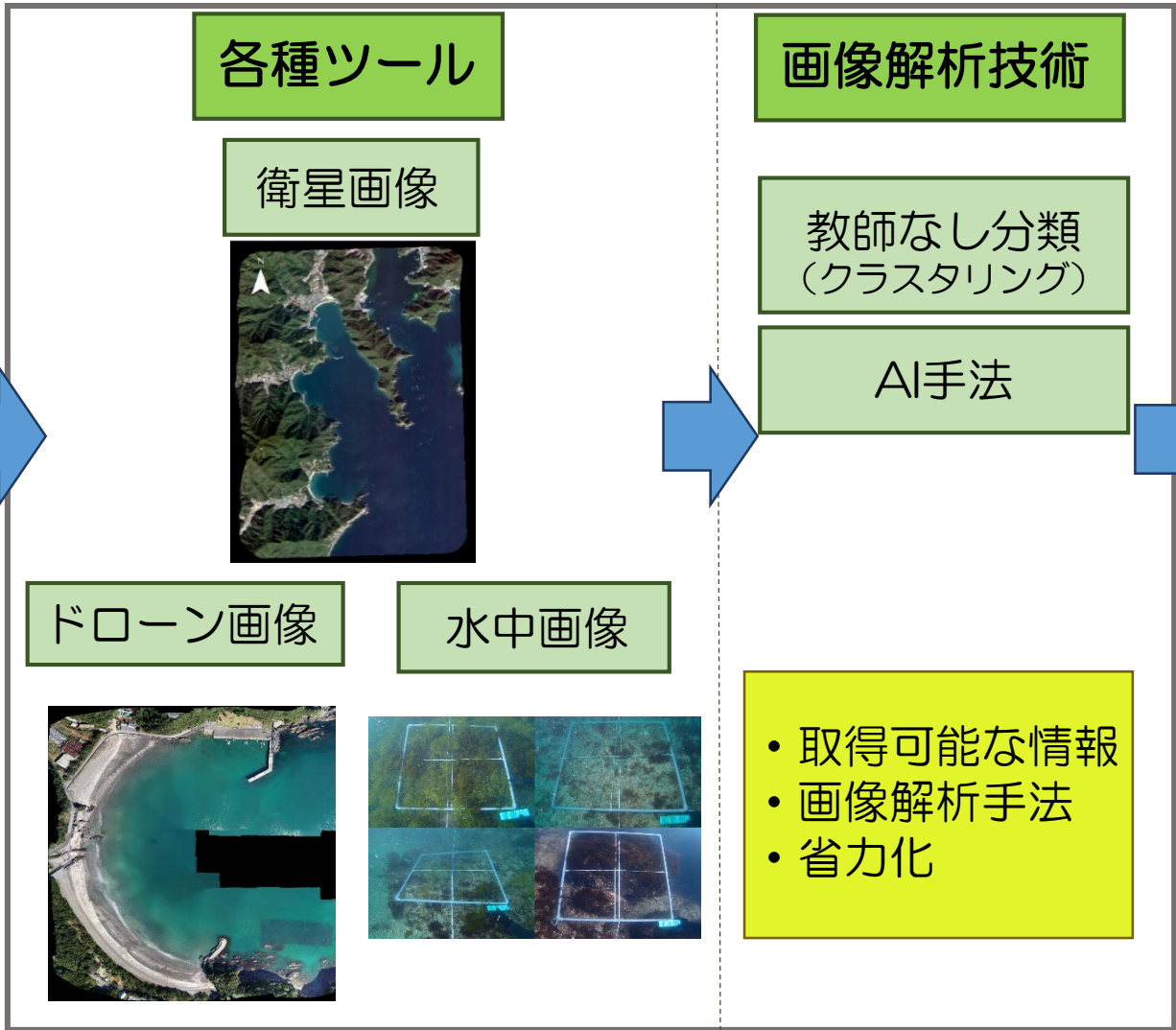


# 画像解析手法の技術開発

## 【現行の調査方法】



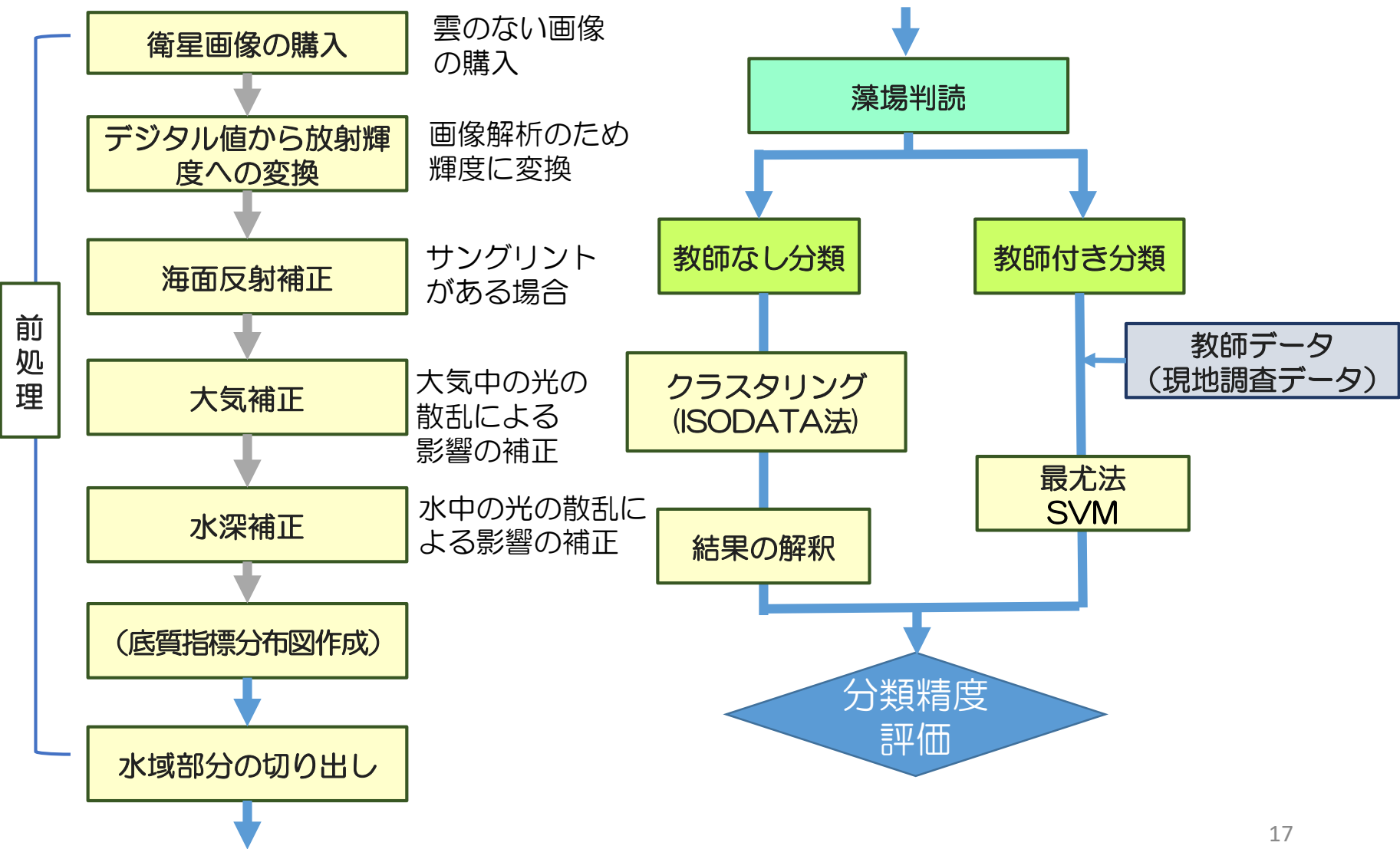
## 【目標イメージ】



目的に応じた画像判別手法を選択するためのマニュアル

# 人工衛星を用いた藻場判読

## 【作業フロー】



# 人工衛星画像を用いた藻場判読

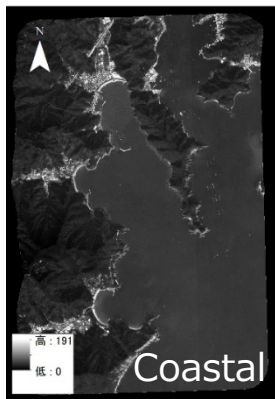
WorldView-2衛星のマルチスペクトル画像  
(名護屋湾 2014/1/10)



デジタル値から  
放射輝度への変換



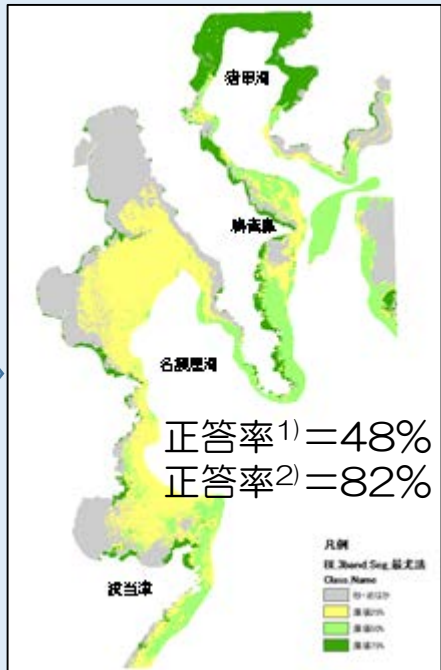
入手画像



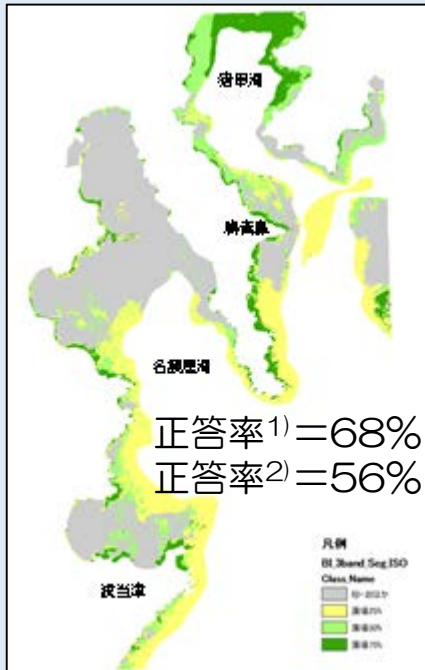
大気補正



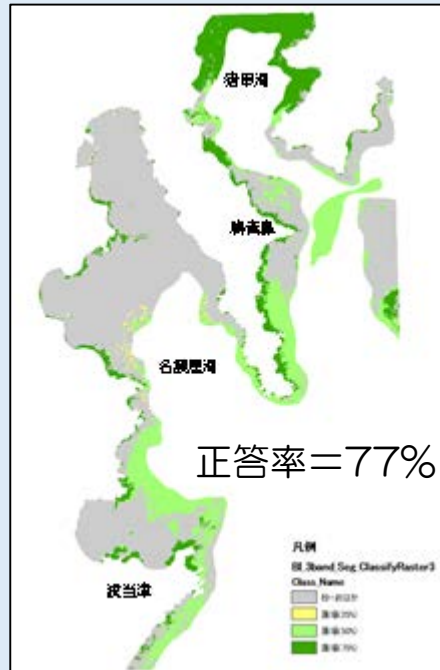
水柱補正



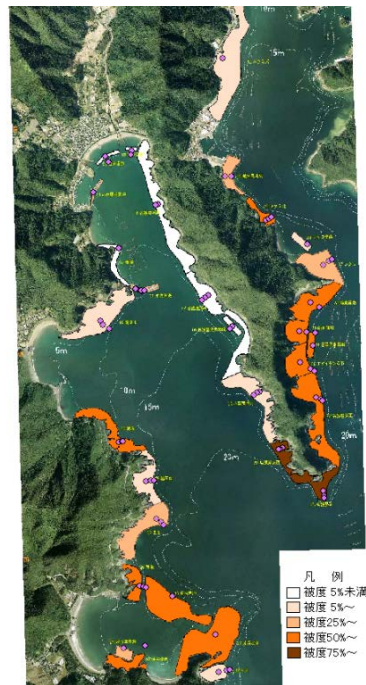
【最尤法】



【ISODATA法】  
藻場判読結果



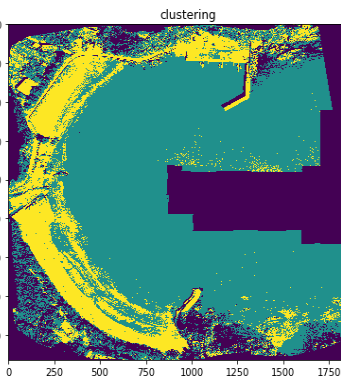
【SVM】



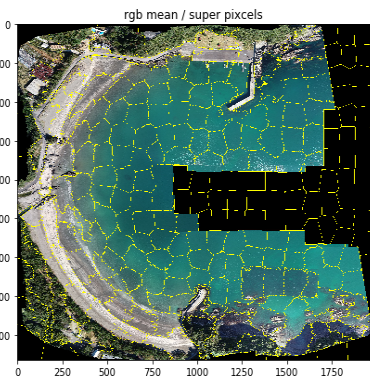
【景觀被度分布図】

# ピクセルベースとオブジェクトベース分類の比較

藻場判読結果は、概ね同様の傾向を示した。  
ピクセルベースでは詳細な分布を表現できるがノイズの影響か否かの判断が難しい。  
オブジェクトベースでは詳細な分布が平滑化され、一定規模以上の藻場面積を把握しやすい。  
⇒藻場面積の算定時に留意が必要。解析面積スケールに応じて使い分け。

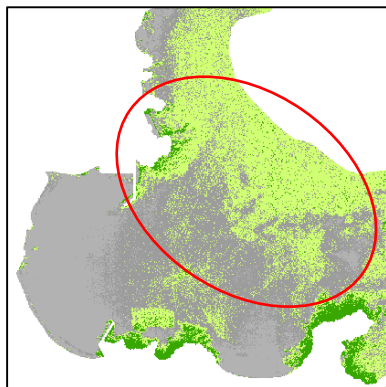


ピクセル

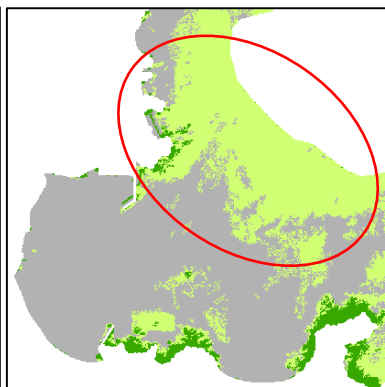


オブジェクト

類似した近傍ピクセルを  
平均してセグメント化



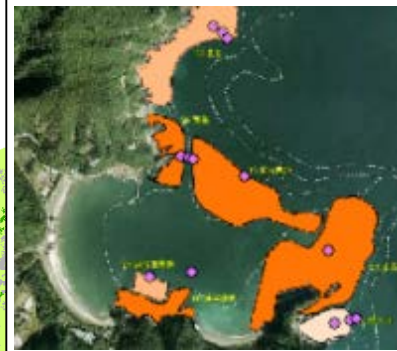
ピクセルベース



オブジェクトベース

【藻場分類結果（教師なし分類）】

藻場(高被度)  
藻場(低被度)



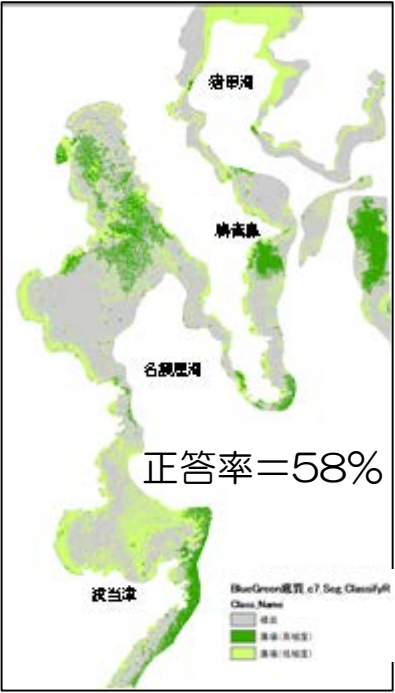
【現地調査】



有効な2バンドの選択による藻場分類の比較

→バンドの選定により藻場分類の精度が変わる

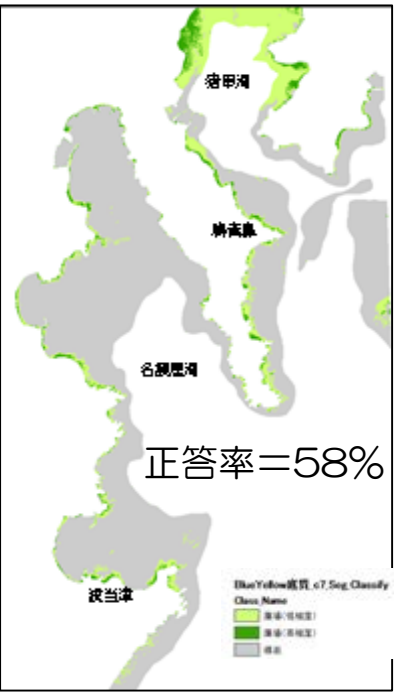
現地調査地点の正答率はGreen-Yellowが比較優位だがいずれも60%前後。  
景観被度分布との比較では、Blue-Red が比較優位



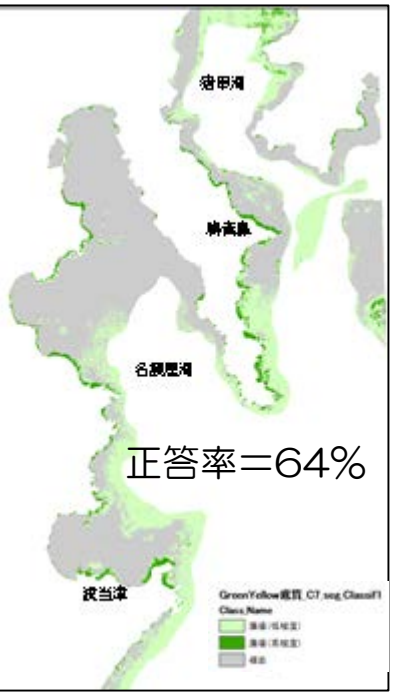
【Blue-Green】



【Blue-Red】



【Blue-Yellow】



【Green-Yellow】



【景観被度分布図】

2バンドの組合せの違いによる分類結果の比較 (教師なし分類)

# 空撮画像による藻場判読における留意事項

○条件 → 良質な画像を入手する必要あり

## 人工衛星の場合

- 衛星画像の入手に制約
- 雲量リスク
- 波が極力ない
- ハレーション

## ドローンの場合

- 透明度が良く、風・波が極力ない
- 太陽光の海面反射が少ない時間帯
- モザイク画像を作るための海面以外の目印が入った画像の取得

○目標 正解率80%

アマモ場の場合 → 砂地に多く生息し、コントラストが良い  
比較的浅場に生息

容易

カジメ場の場合 → 岩礁帯に多く生息し、褐藻類などは見分けづらい  
水深20m くらいまで生息

困難



# 画像解析に関わる技術的課題

## 人工衛星の画像の解析

- 従来方法（教師付き分類、教師なし分類）による藻場判読の分類精度向上
- 藻場判読精度への解像度の影響検討（高解像度、中解像度、スーパーピクセル）



## 今後の取り組み

### 1 広域藻場調査マニュアル作成

- 既存藻場調査手法の標準化
- 複数手法の組み合わせによる効率化と精度向上

### 2 空撮画像等の解析

- 画像解析手法の標準化
- 空撮画像を藻場の解析に活用するための条件整理