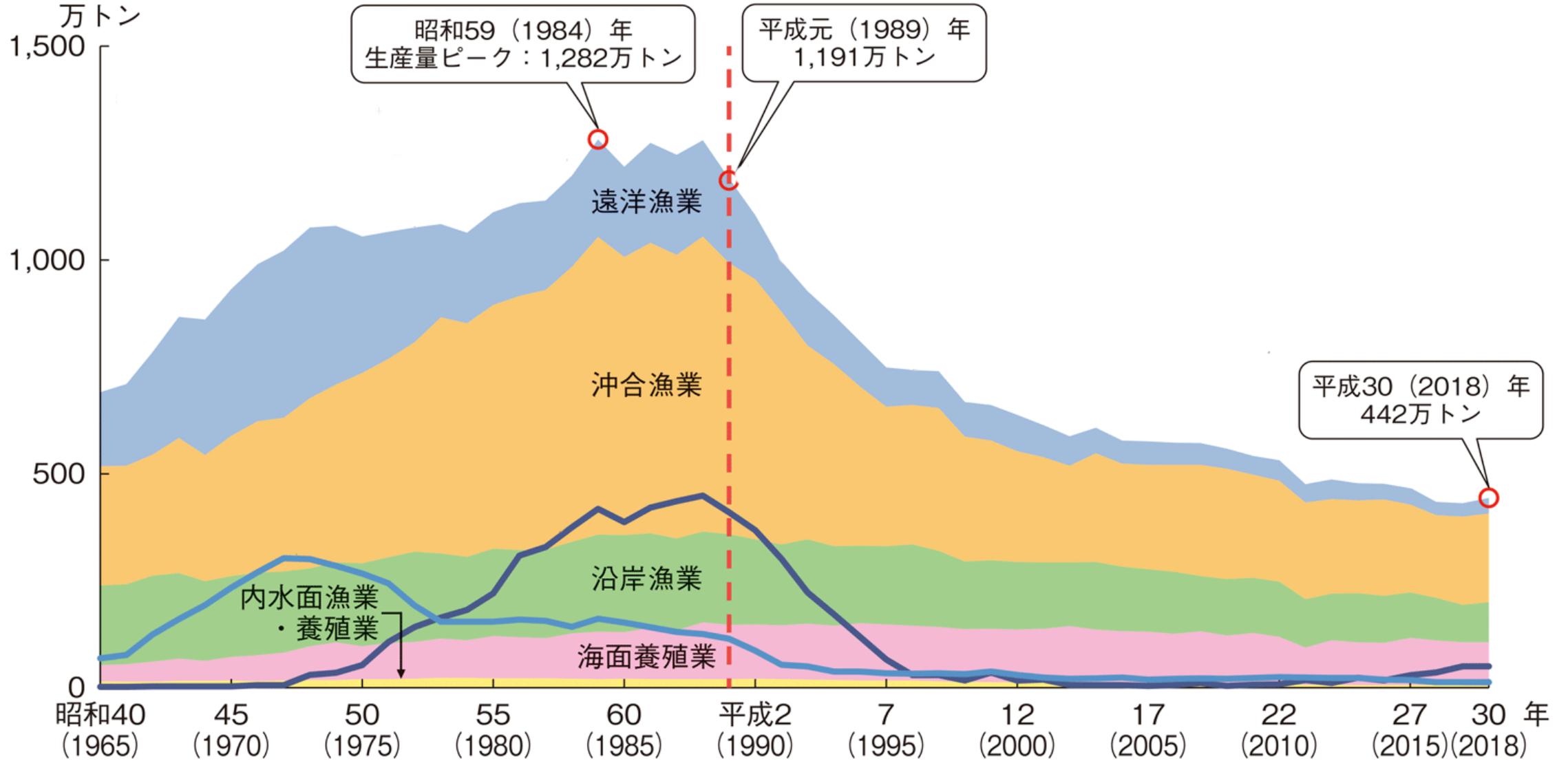


# 北方海域における人工魚礁の周辺環境調査 および有効性の検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム

安 孝珍・須藤賢哉・石澤健志・森 健二

# 背景



漁業生産量が減少傾向、特に沖合漁業や遠洋漁業の漁獲量が著しく減少

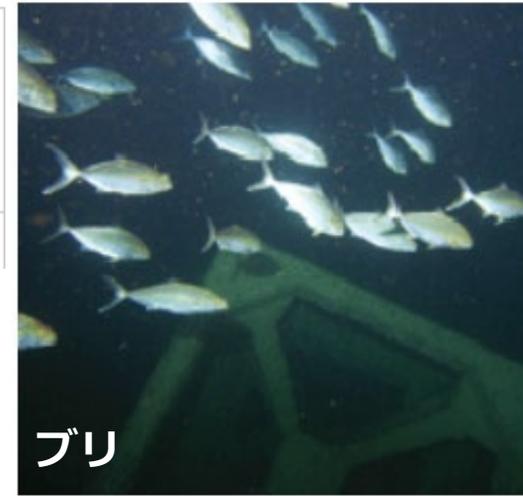
# 背景・目的



様々な形の人工魚礁と（上）人工魚礁に集まる魚の群れ（右）

出典：海洋土木株式会社

[https://www.kaiyodoboku.com/product\\_ranzumi.html](https://www.kaiyodoboku.com/product_ranzumi.html)



人工魚礁は当初、魚介類を集め漁場を造成することを目指して始まり

その後、天然資源の保護・育成場など生物多様性の確保を目的とした水中構造物として位置づけられた

しかし沖合での人工魚礁に関する研究事例は極めて乏しい



- ✓ 人工魚礁周辺環境の把握
- ✓ 人工魚礁の有効性検討

# 利尻島沖合調査：人工魚礁

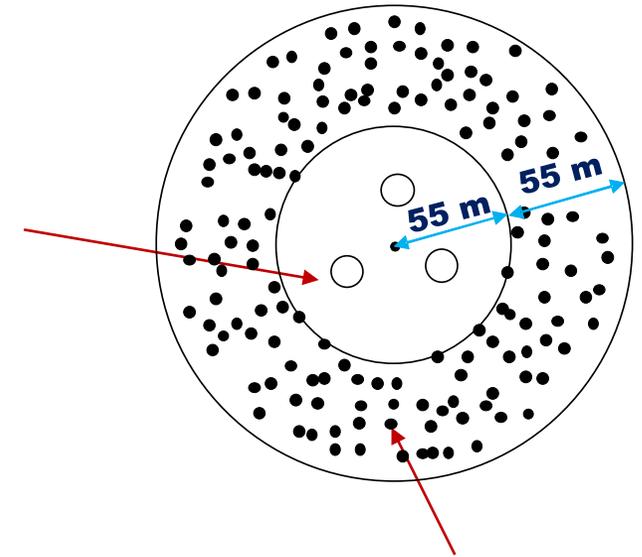
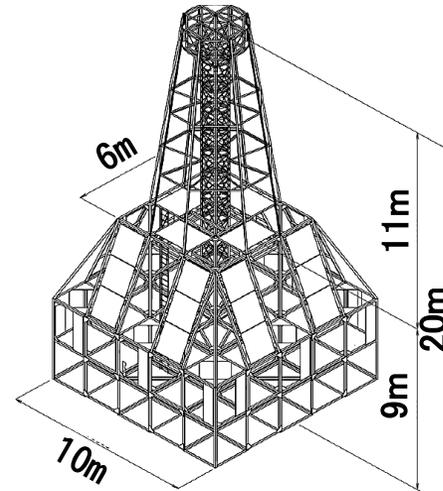
5つの魚礁群体のうち第4魚礁群体で調査を実施



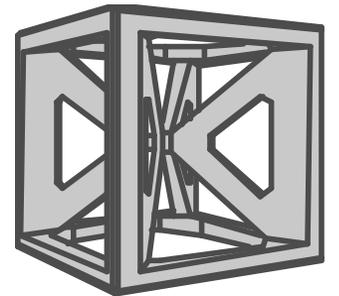
北海道北部利尻島沖合に2015年に設置された魚礁群体（仙法志漁港から約10km）を対象

## 高層鋼製魚礁

10m x 10m x 20m  
(計3基)



魚礁ブロック  
3m x 3m x 3m  
(計156個)



# 利尻島沖合調査：環境調査

2017年から2022年の間、毎年環境調査を実施

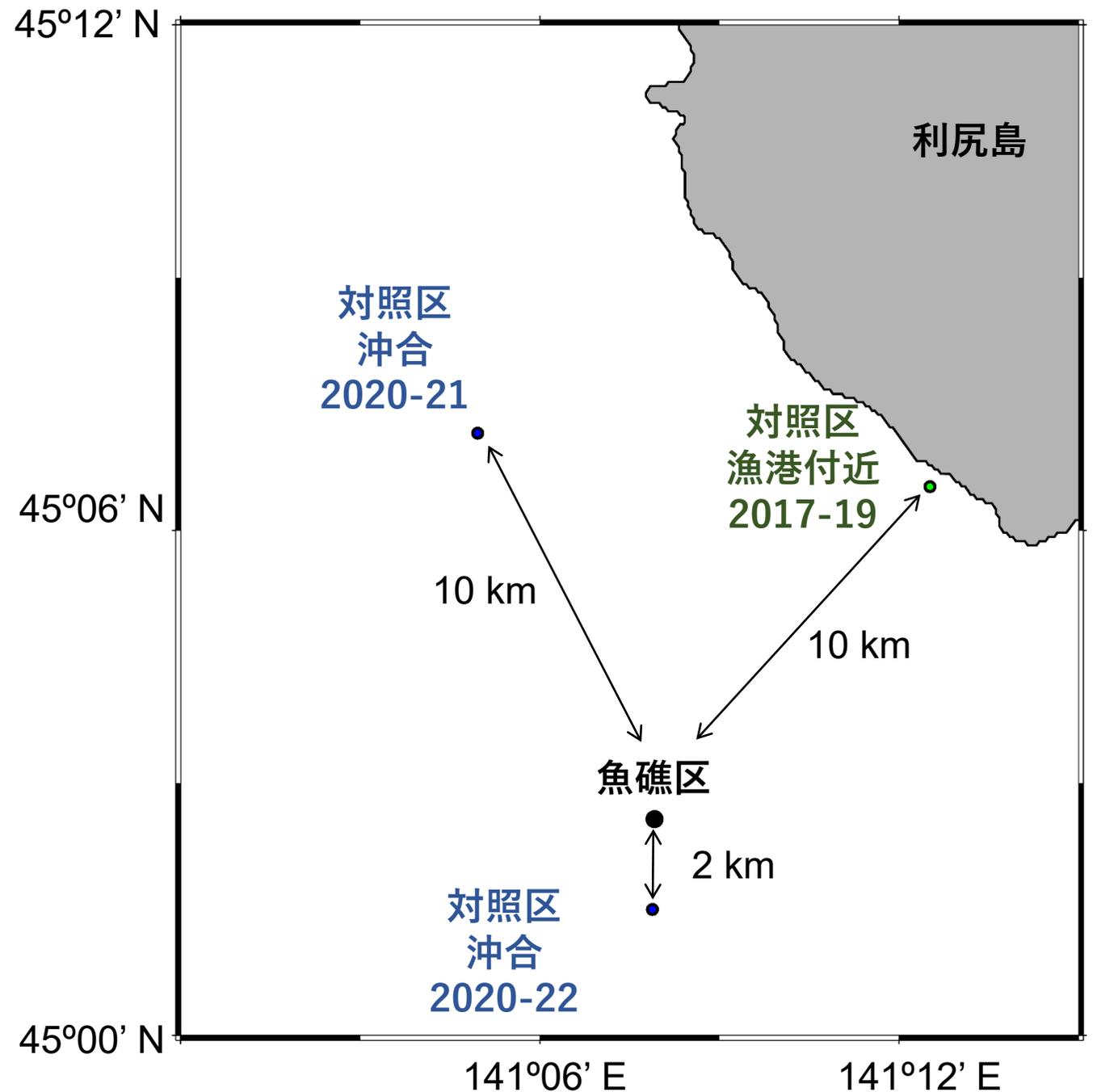
魚礁群周辺（**魚礁区**）と  
魚礁群から離れている場所（**対照区**）の比較

魚礁区：水深約90m

対照区：2017-2019 漁港付近（水深約10m）  
2020-2021 沖合（北西）（水深約90m）  
2020-2022 沖合（南）（水深約90m）

調査時期：5月から10月（主に夏季）

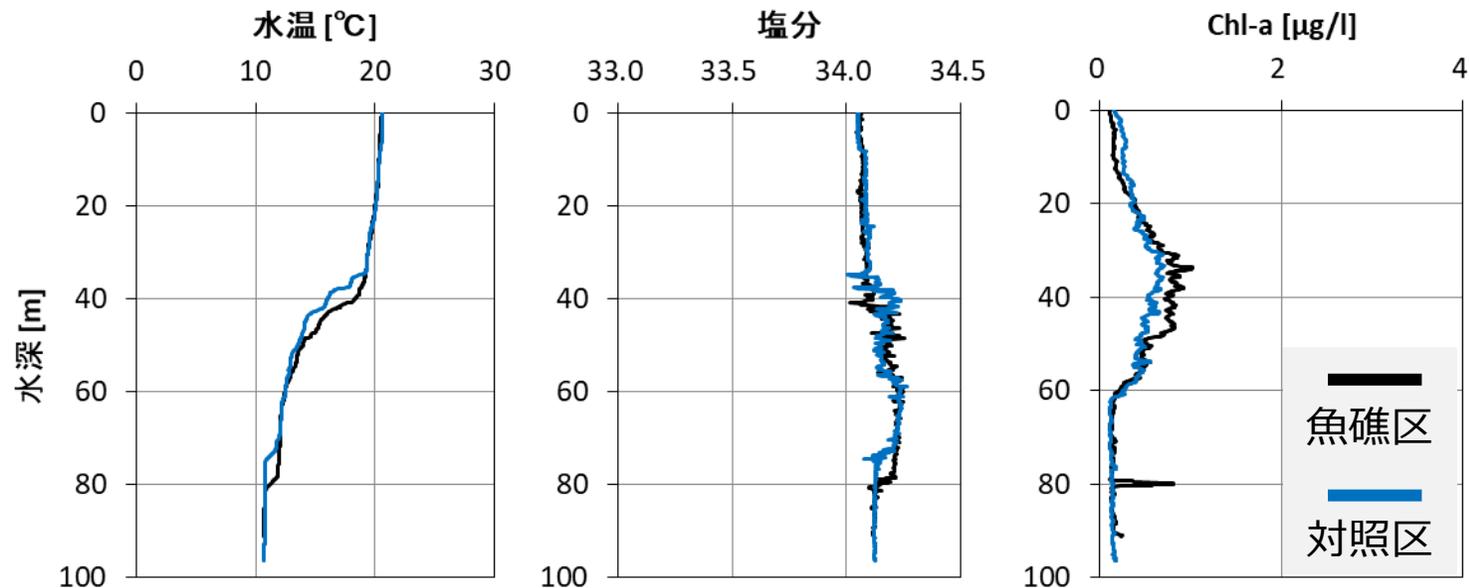
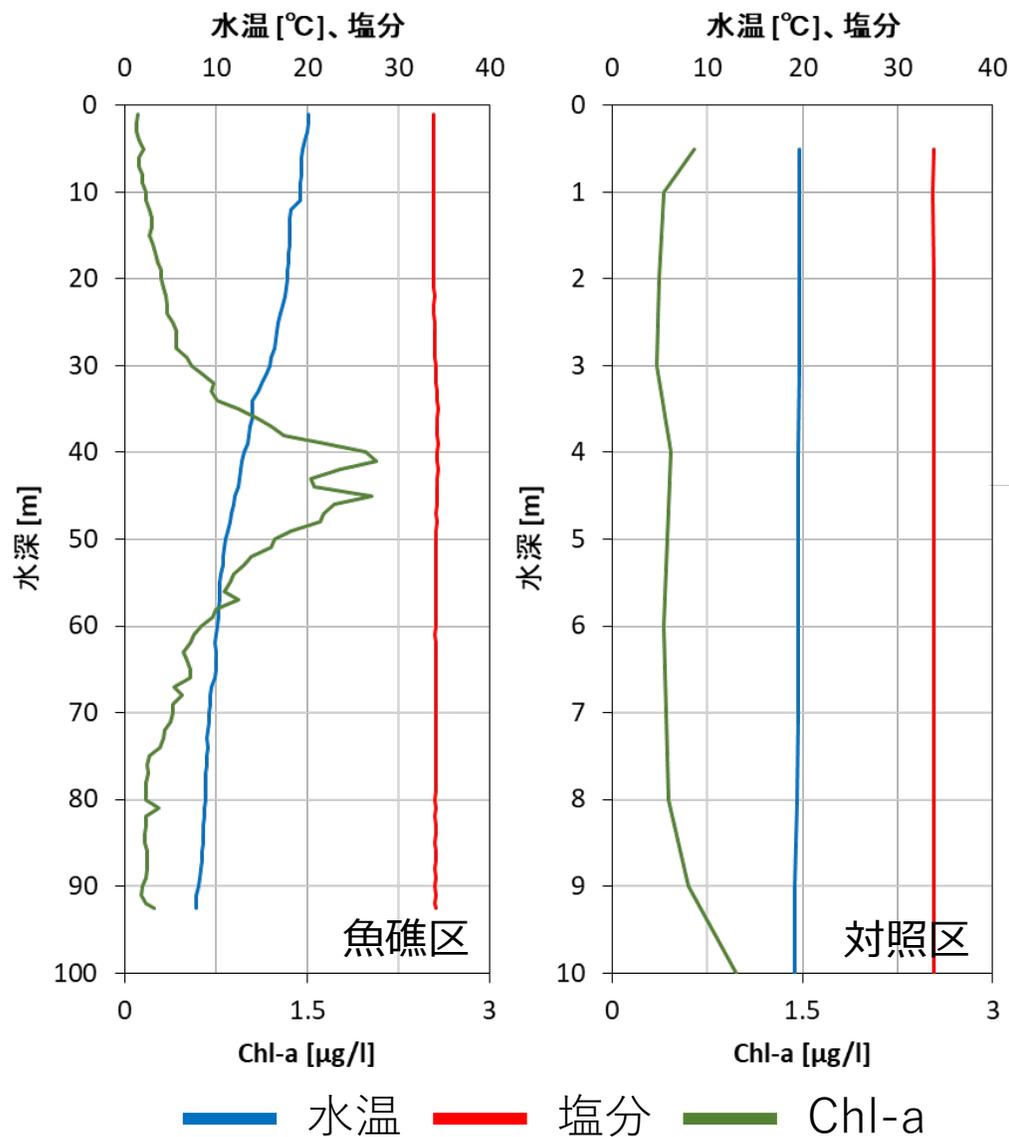
調査項目：水温・塩分・クロロフィルa（CTD）  
流向・流速（流向流速計）  
底質粒度組成（採泥器）  
水質（採水器）  
植物プランクトン（採水器）  
動物プランクトン（プランクトンネット）  
底生生物（採泥器）  
魚類組成（環境DNA）



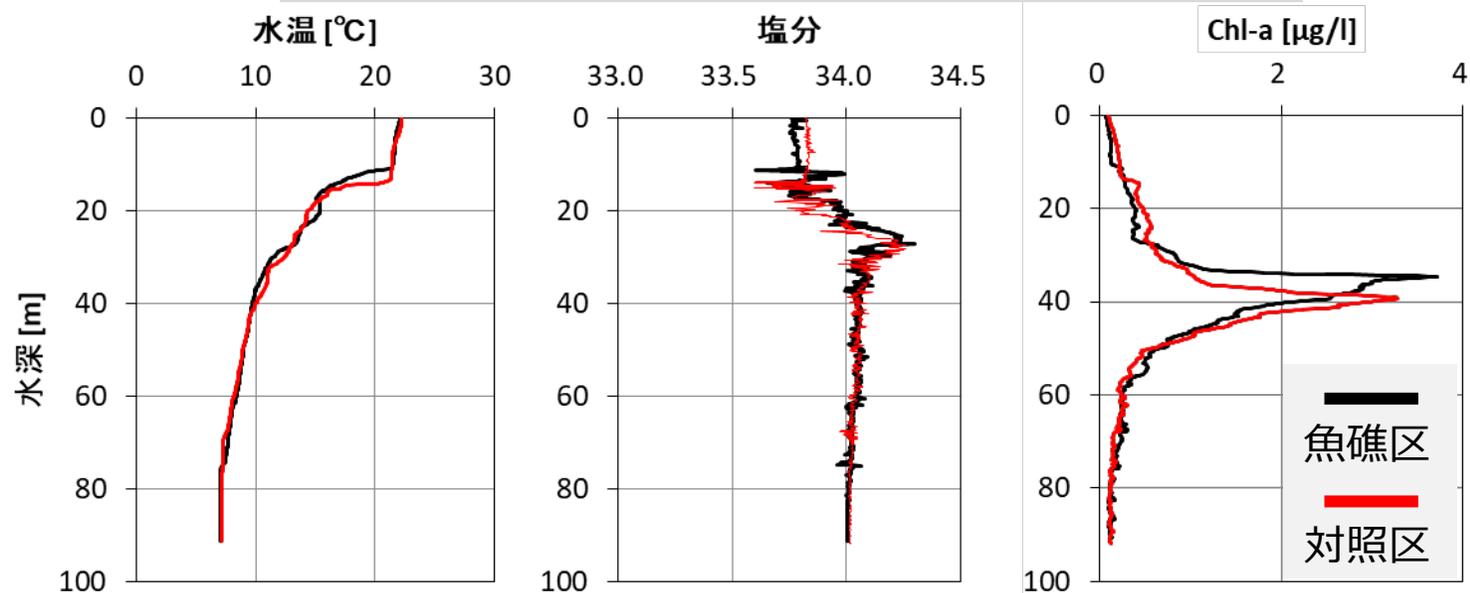
# 利尻島沖合調査：鉛直環境

## 2020年夏 魚礁区と対照区（南2km）比較

### 2017年夏 魚礁区と対照区比較



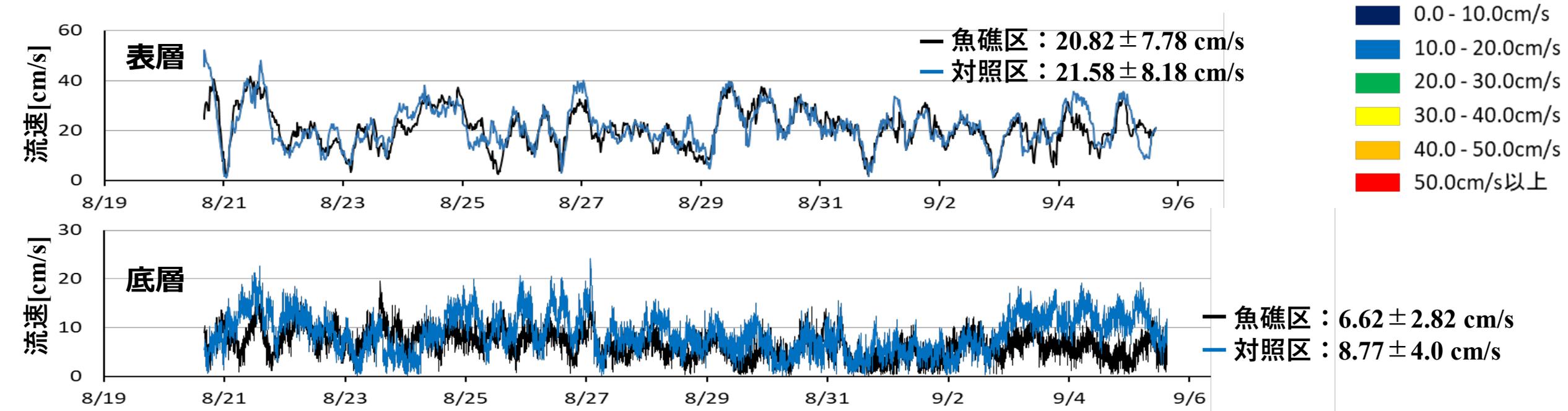
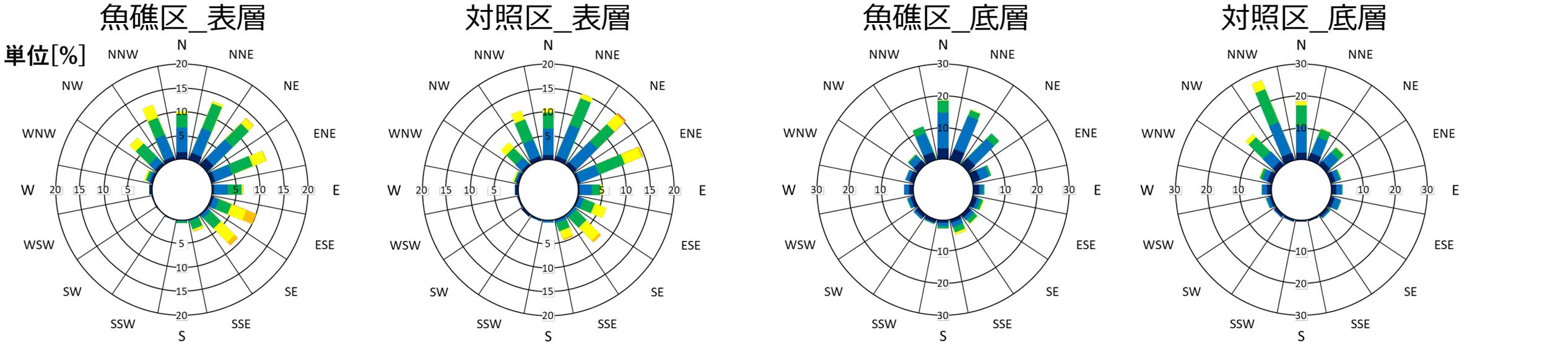
### 2021年夏 魚礁区と対照区（北西10km）比較



# 利尻島沖合調査：流向流速

\*2017-19は対照区（漁港付近）に流向流速計を設置していない

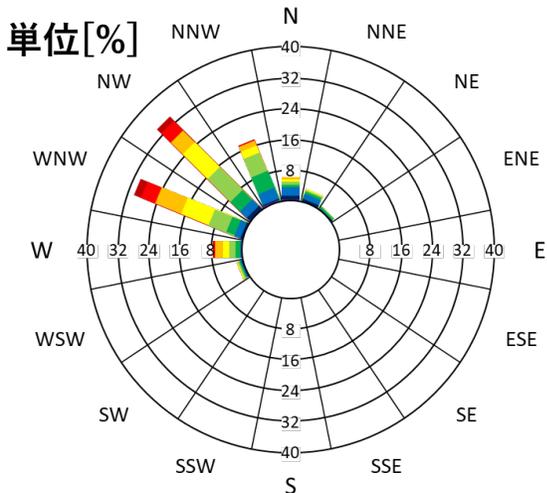
2020年夏：対照区は南2km



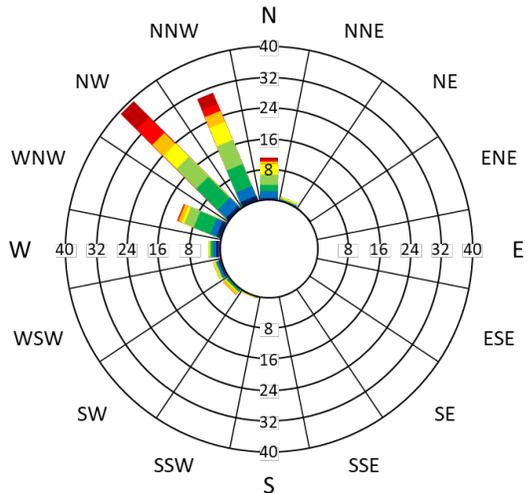
# 利尻島沖合調査：流向流速

2021年秋：对照区は北西10km

魚礁区\_表層

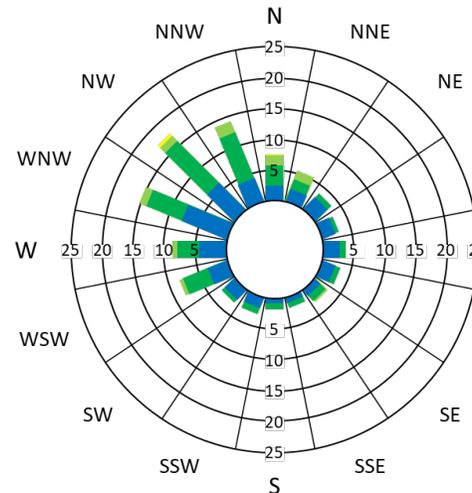


对照区\_表層

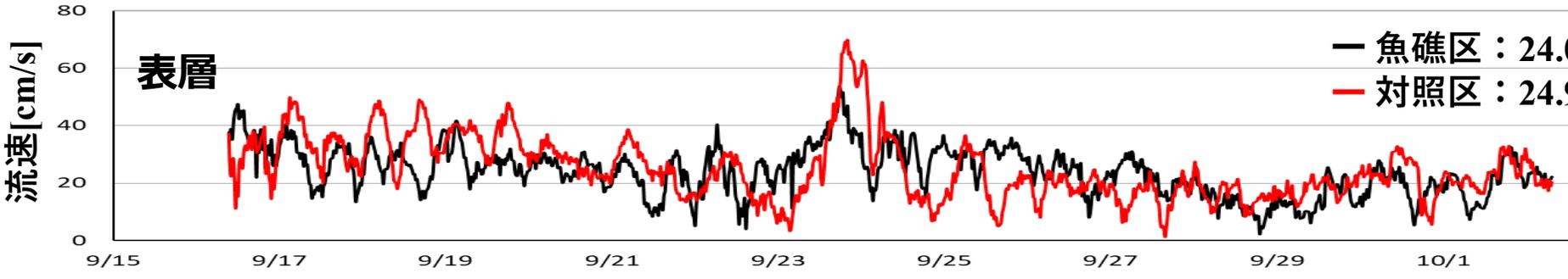
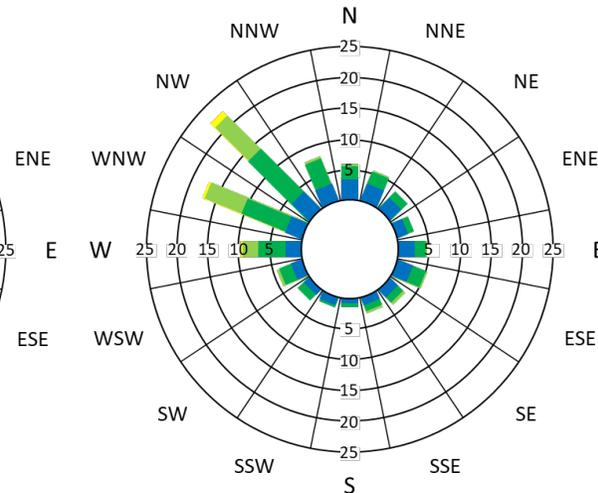


- 0.0 - 5.0cm/s
- 5.0 - 10.0cm/s
- 10.0 - 15.0cm/s
- 15.0 - 20.0cm/s
- 20.0 - 25.0cm/s
- 25.0 - 30.0cm/s
- 30.0 - 35.0cm/s
- 35.0 - 40.0cm/s
- 40.0cm/s以上

魚礁区\_底層

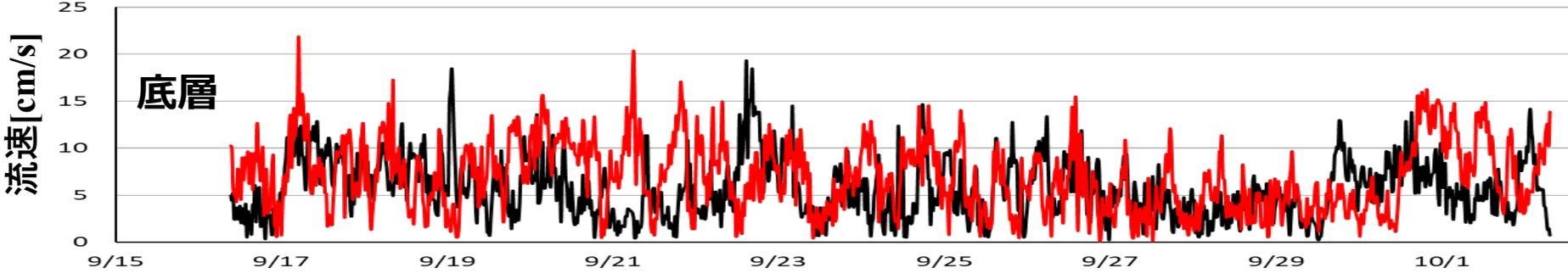


对照区\_底層



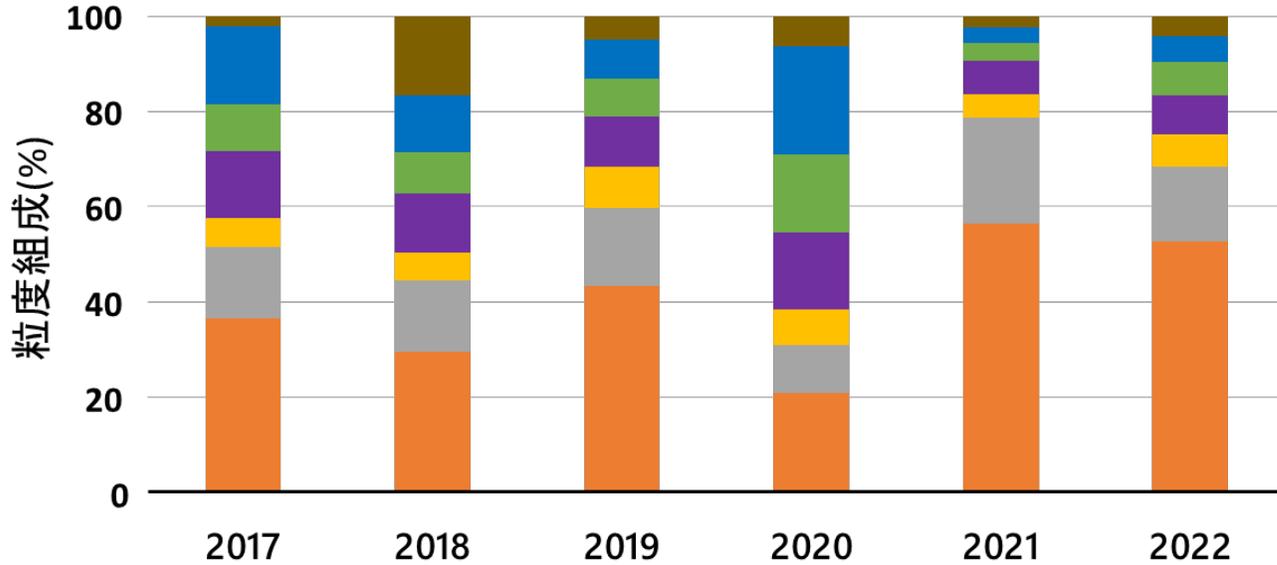
— 魚礁区： $24.02 \pm 8.4$  cm/s  
 — 对照区： $24.98 \pm 10.94$  cm/s

- 0.0 - 5.0cm/s
- 5.0 - 10.0cm/s
- 10.0 - 15.0cm/s
- 15.0 - 20.0cm/s
- 20.0 - 25.0cm/s
- 25.0cm/s以上



— 魚礁区： $5.69 \pm 3.16$  cm/s  
 — 对照区： $6.93 \pm 3.71$  cm/s

# 利尻島沖合調査：底質粒度組成

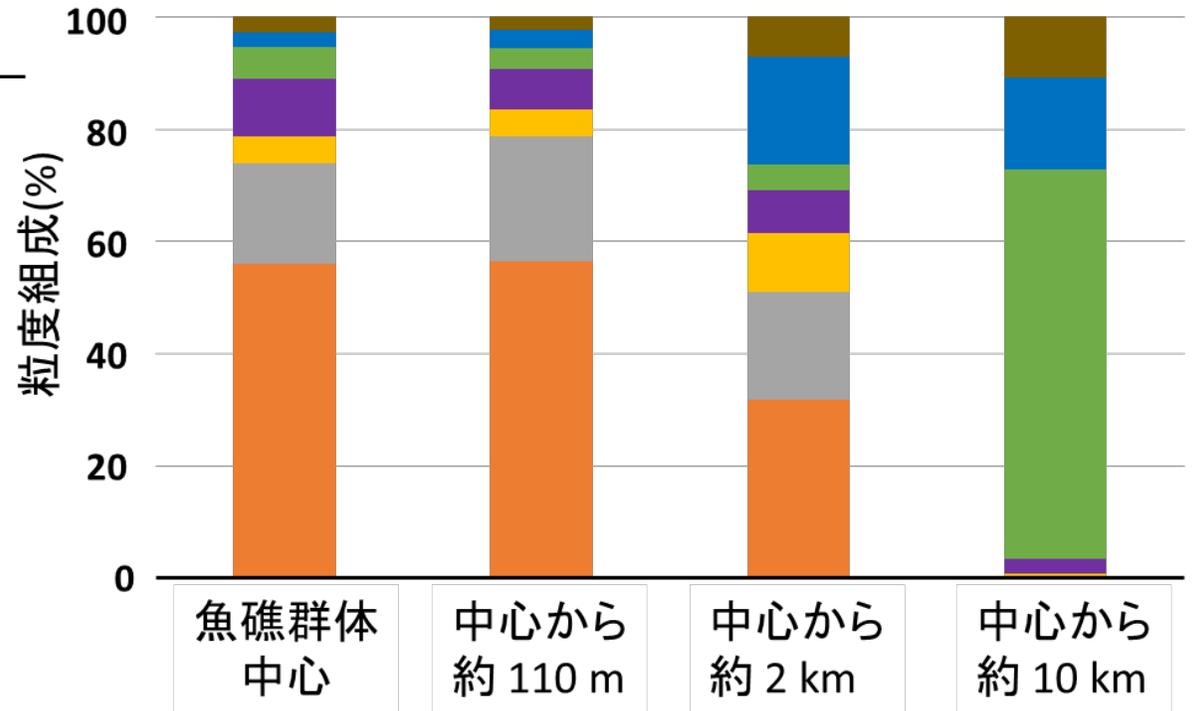


魚礁区の底質粒度組成の経年変化

魚礁周辺は中礫分が多く  
北西に10km離れている地点では  
組成が大きく変わり  
細砂分が7割を占める

- 粗礫分
- 中礫分
- 細礫分
- 粗砂分
- 中砂分
- 細砂分
- シルト分
- 粘土分

年度で変動するが  
概ね中礫分が多い割合を占める

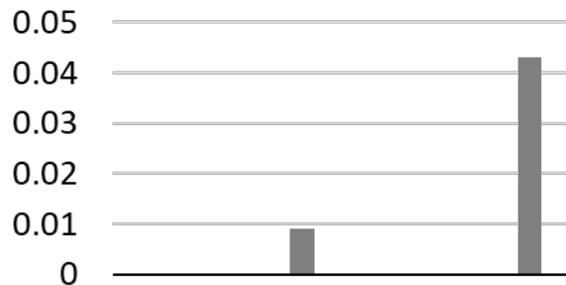


2021年8月の調査海域の底質粒度組成

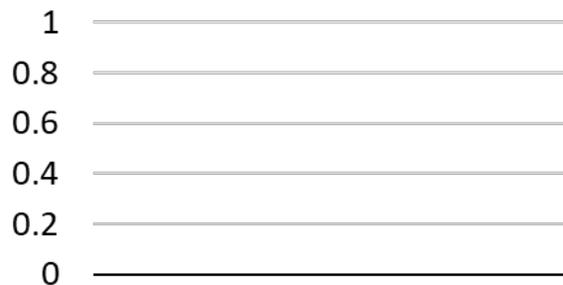
# 利尻島沖合調査：水質 [魚礁区表層]

単位[mg/L]

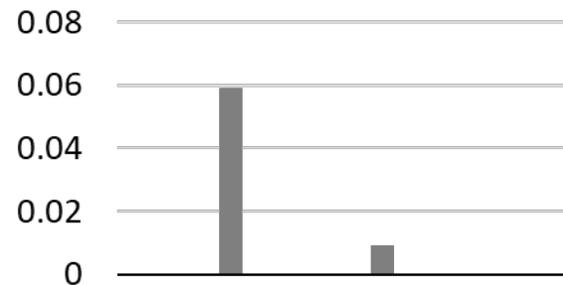
## アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)



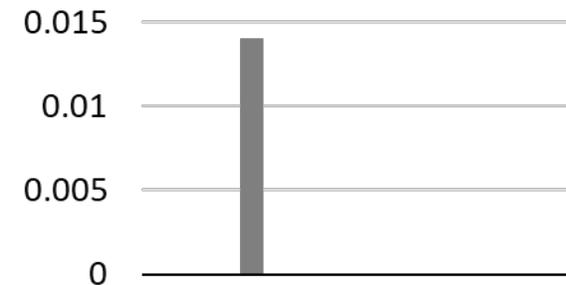
## 亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)



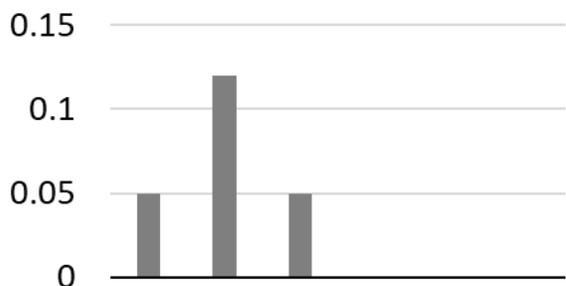
## 硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)



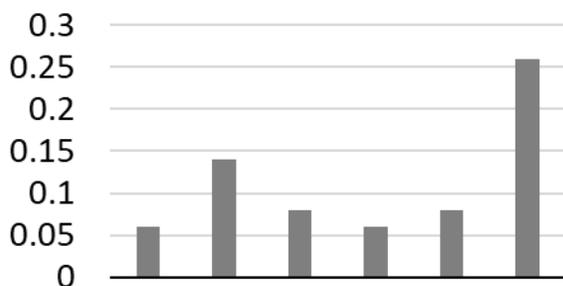
## オルトリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)



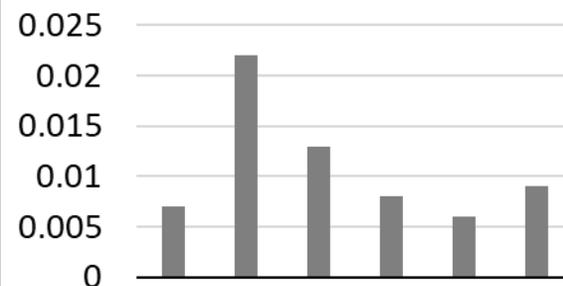
## ケイ酸態ケイ素(SiO<sub>2</sub>-Si)



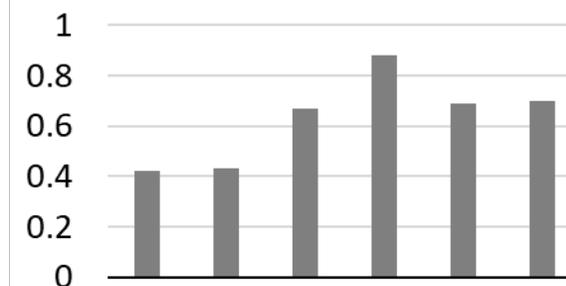
## 全窒素(T-N)



## 全リン(T-P)



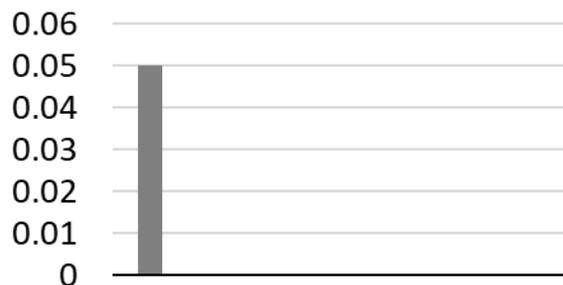
## 全ケイ素(T-Si)



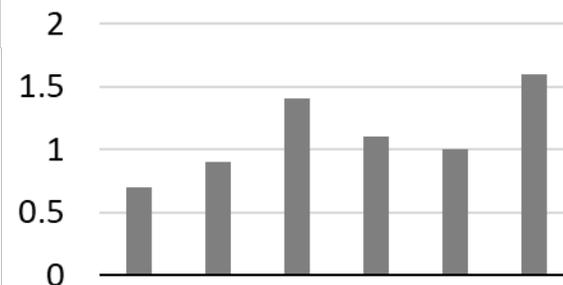
## 粒子性有機態炭素(POC)



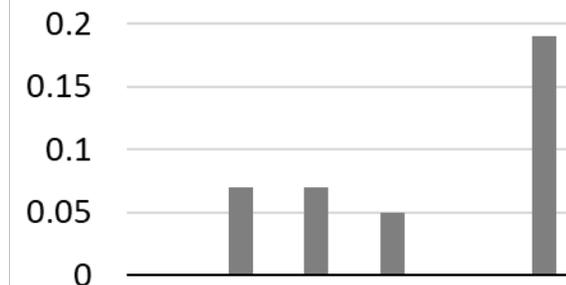
## 粒子性有機態窒素(PON)



## 溶解性有機態炭素(DOC)



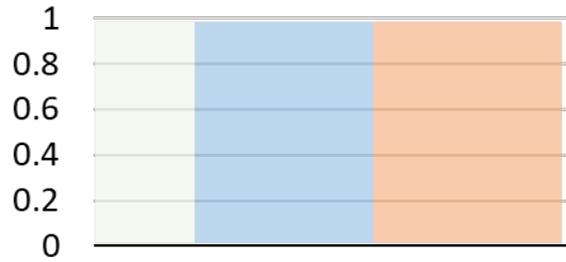
## 溶解性有機態窒素(DON)



# 利尻島沖合調査：水質 [対照区表層]

単位[mg/L]

アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)



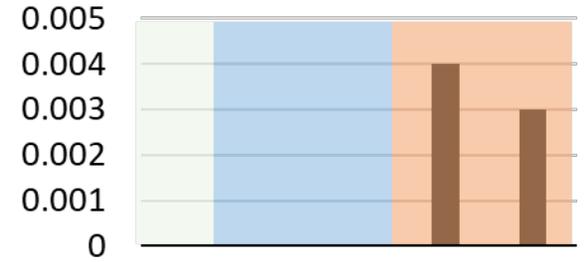
亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)



硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)



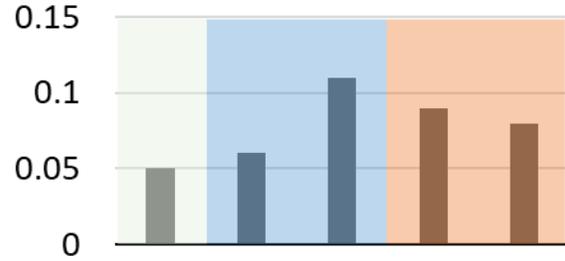
オルトリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)



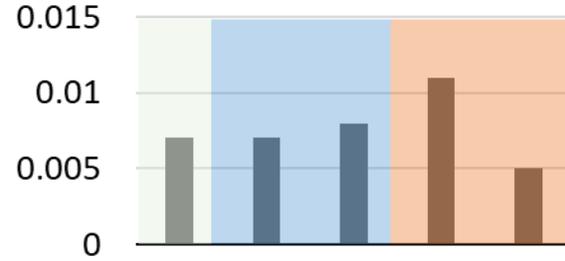
ケイ酸態ケイ素(SiO<sub>2</sub>-Si)



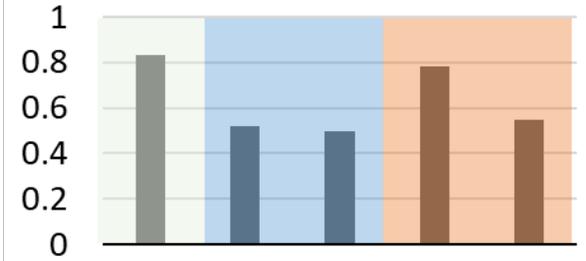
全窒素(T-N)



全リン(T-P)



全ケイ素(T-Si)



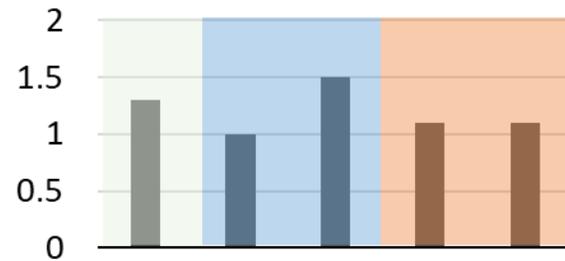
粒子性有機態炭素(POC)



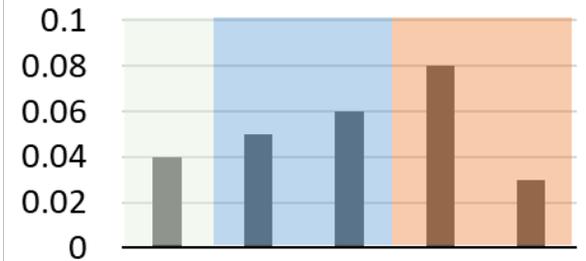
粒子性有機態窒素(PON)



溶解性有機態炭素(DOC)



溶解性有機態窒素(DON)



2018\_7 2020\_8 2022\_8 2021\_5 2021\_9

2018\_7 2020\_8 2022\_8 2021\_5 2021\_9

2018\_7 2020\_8 2022\_8 2021\_5 2021\_9

2018\_7 2020\_8 2022\_8 2021\_5 2021\_9

2018年7月：漁港付近

2020年8月・2022年8月：南 2 km

2021年5月・2021年9月：北西 10 km

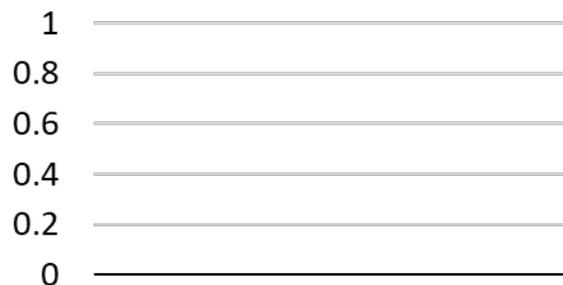
# 利尻島沖合調査：水質 [魚礁区底層]

単位[mg/L]

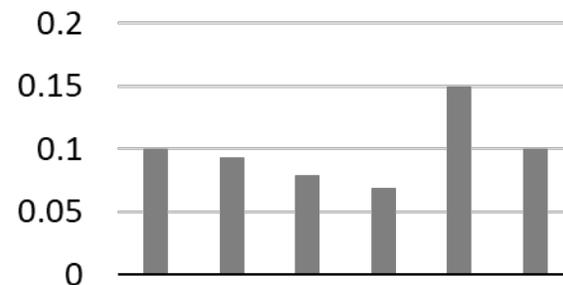
## アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)



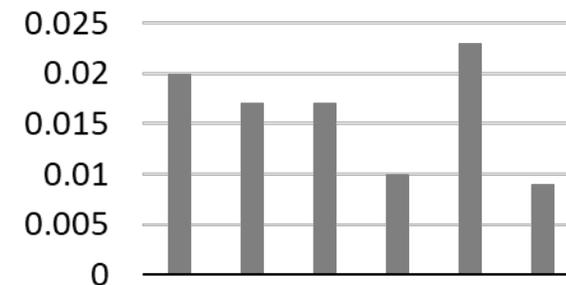
## 亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)



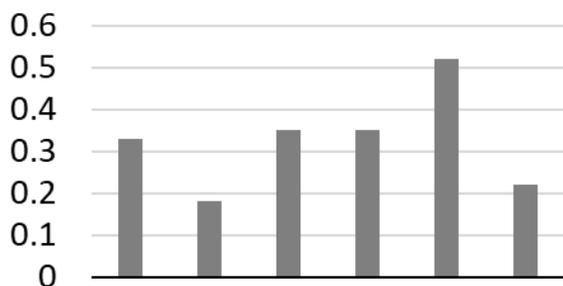
## 硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)



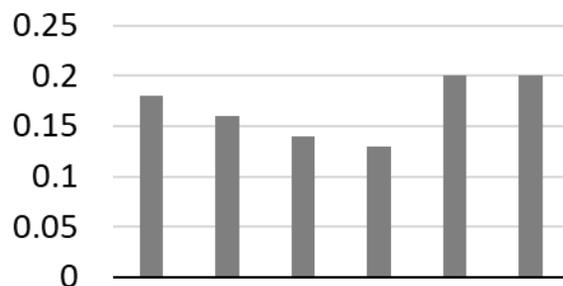
## オルトリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)



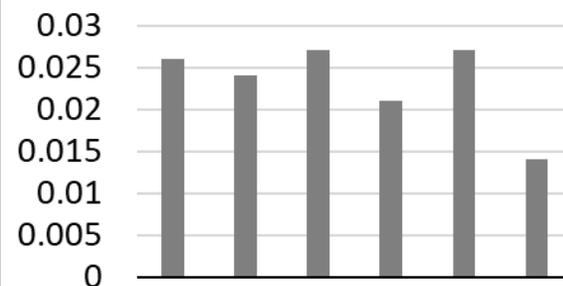
## ケイ酸態ケイ素(SiO<sub>2</sub>-Si)



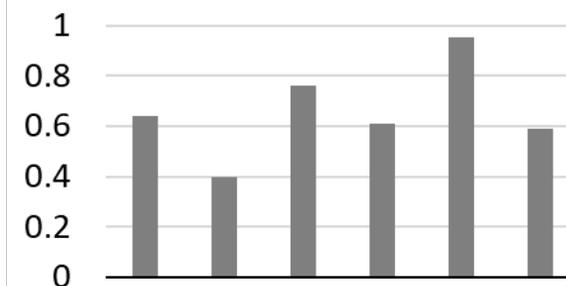
## 全窒素(T-N)



## 全リン(T-P)



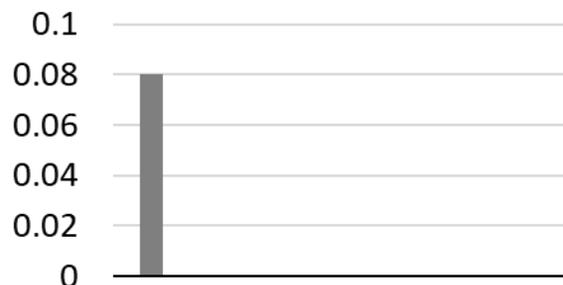
## 全ケイ素(T-Si)



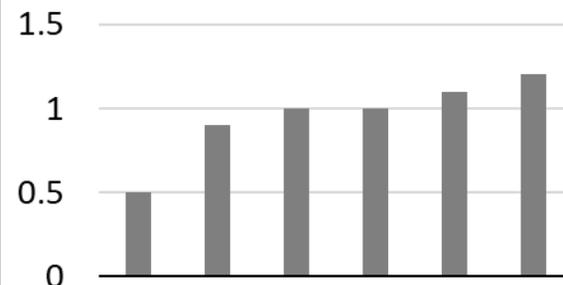
## 粒子性有機態炭素(POC)



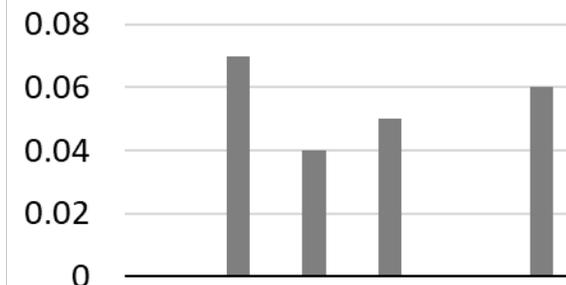
## 粒子性有機態窒素(PON)



## 溶解性有機態炭素(DOC)



## 溶解性有機態窒素(DON)



2018\_7  
2019\_5  
2019\_10  
2020\_8  
2021\_9  
2022\_8

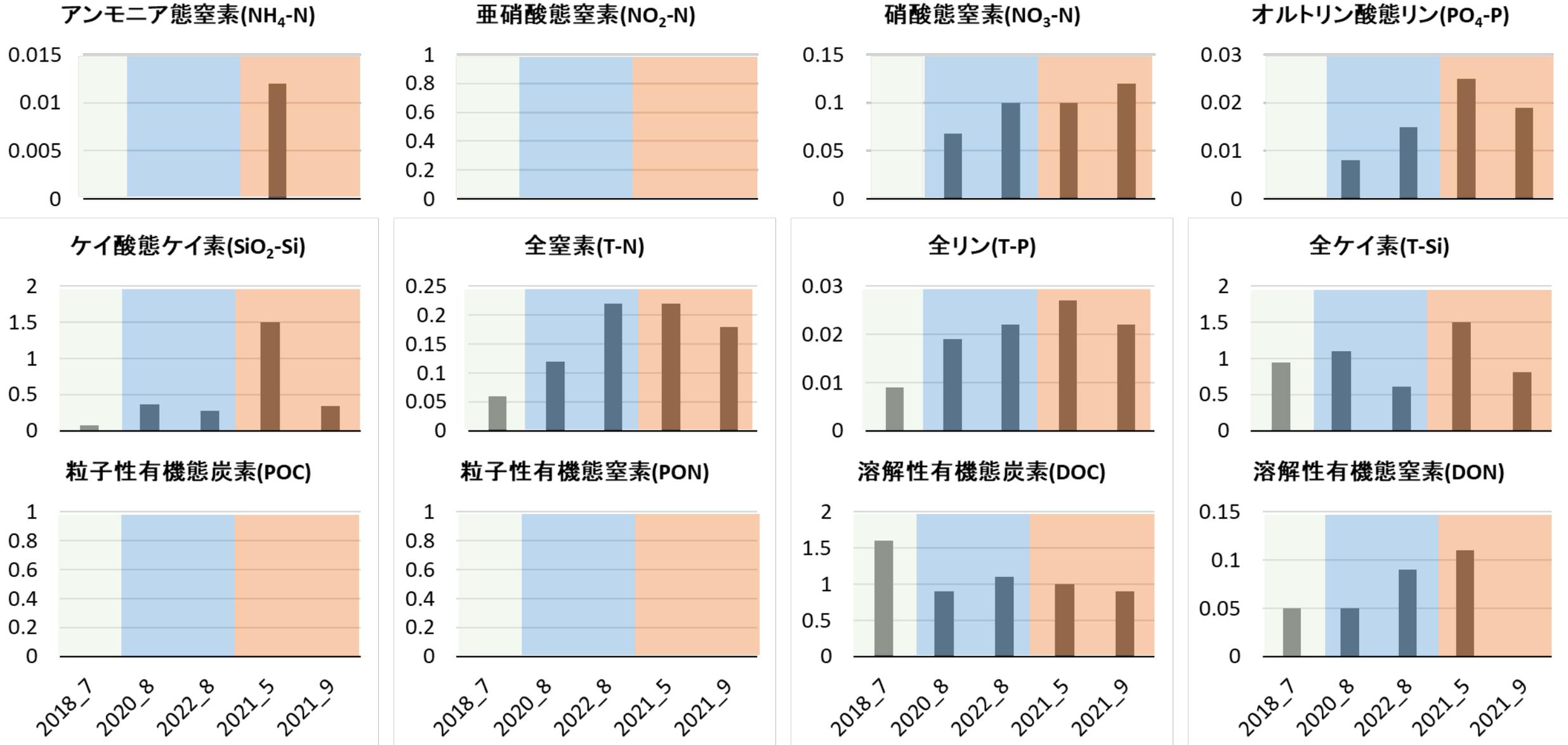
2018\_7  
2019\_5  
2019\_10  
2020\_8  
2021\_9  
2022\_8

2018\_7  
2019\_5  
2019\_10  
2020\_8  
2021\_9  
2022\_8

2018\_7  
2019\_5  
2019\_10  
2020\_8  
2021\_9  
2022\_8

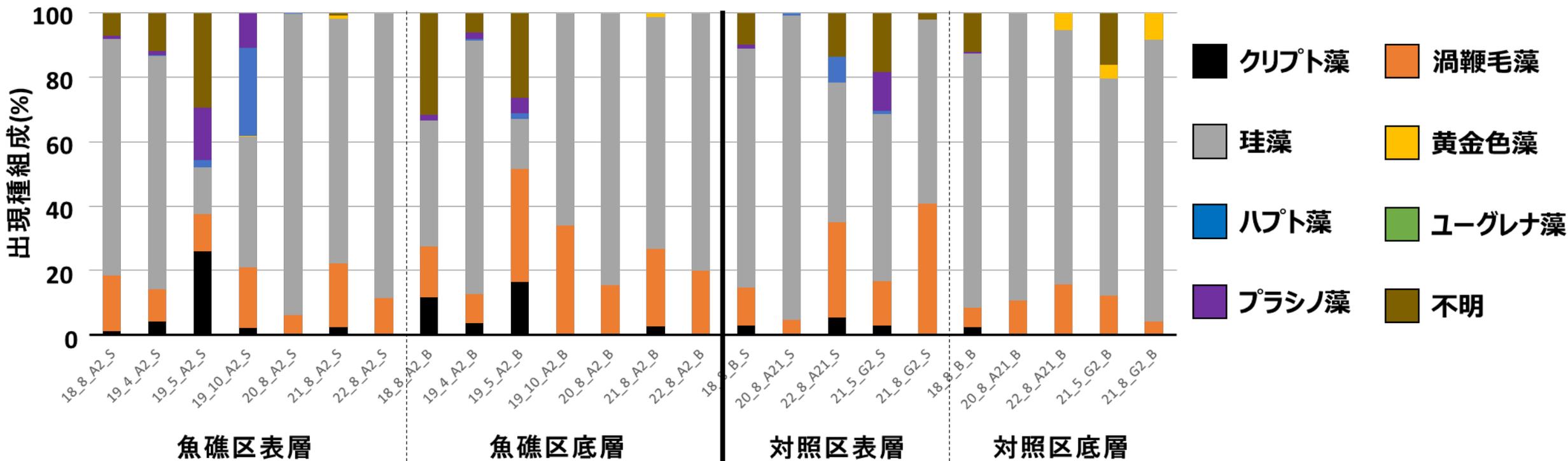
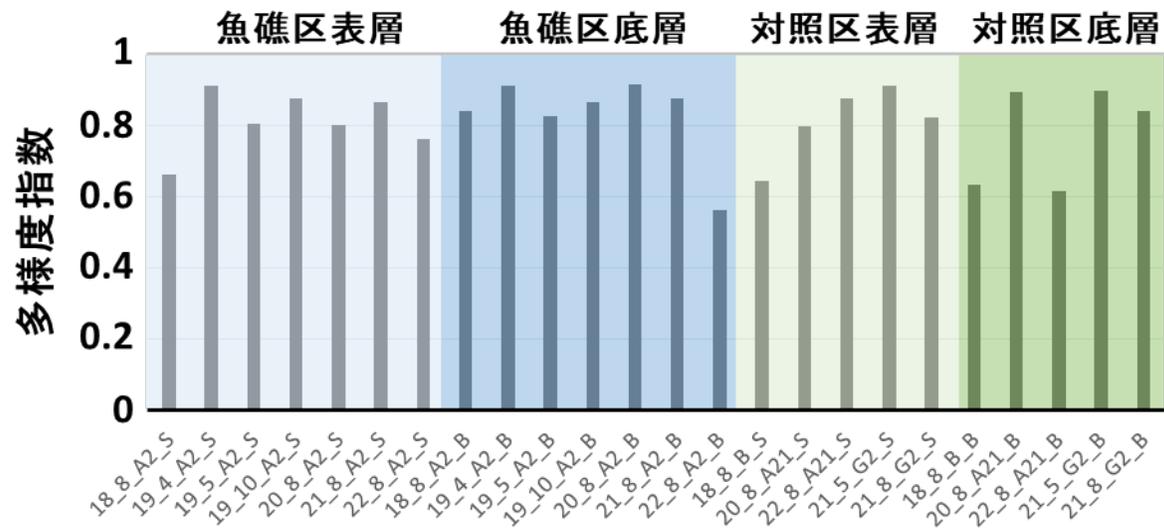
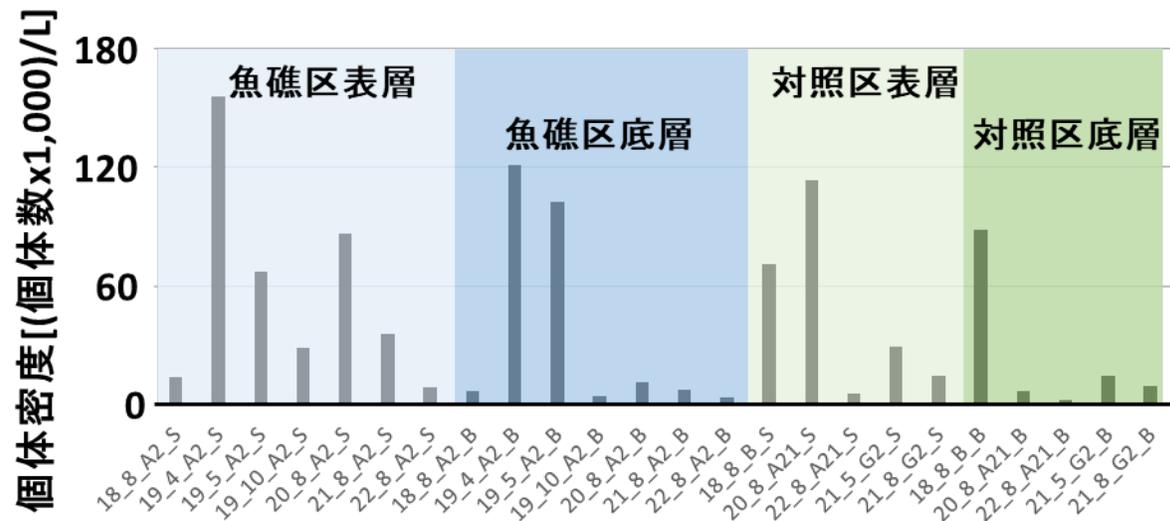
# 利尻島沖合調査：水質 [対照区底層]

単位[mg/L]

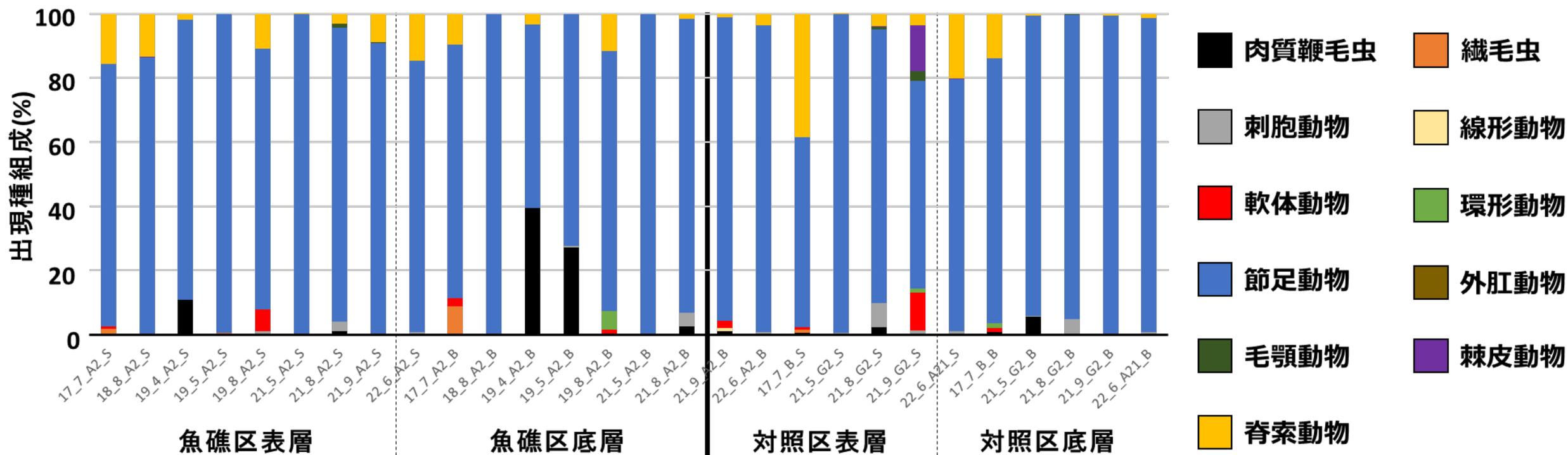
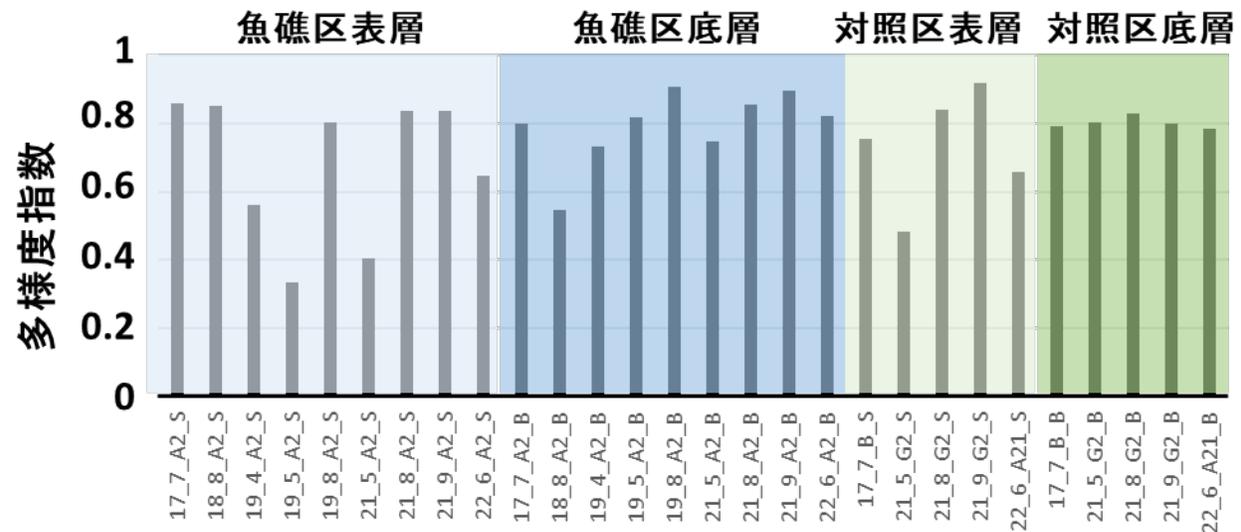
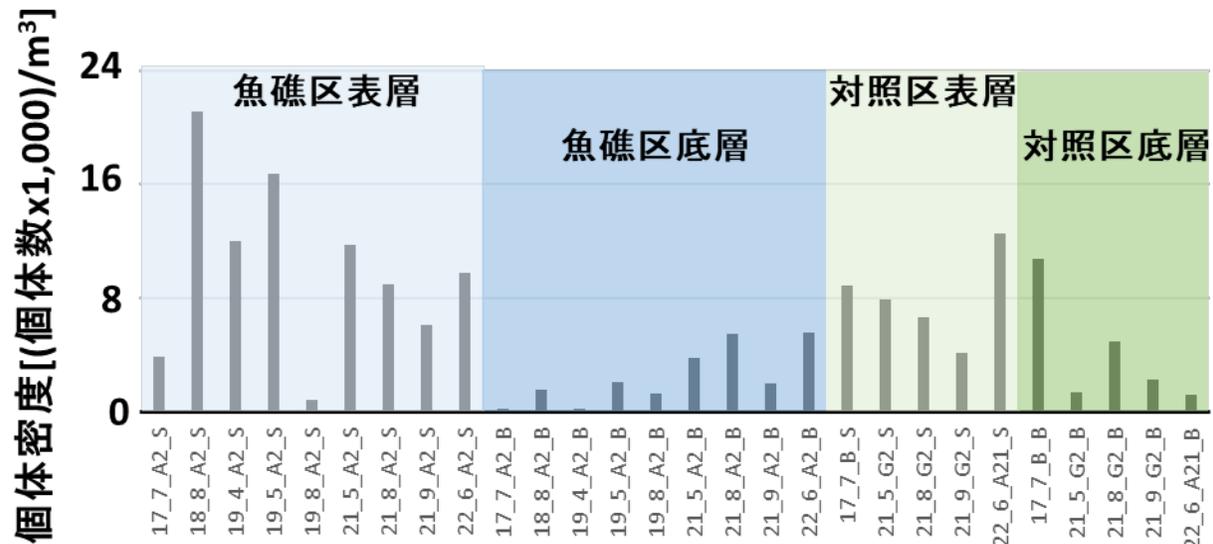


場所と時期にかかわらず利尻沖は栄養塩・有機物が少ない傾向

# 利尻島沖合調査：植物プランクトン

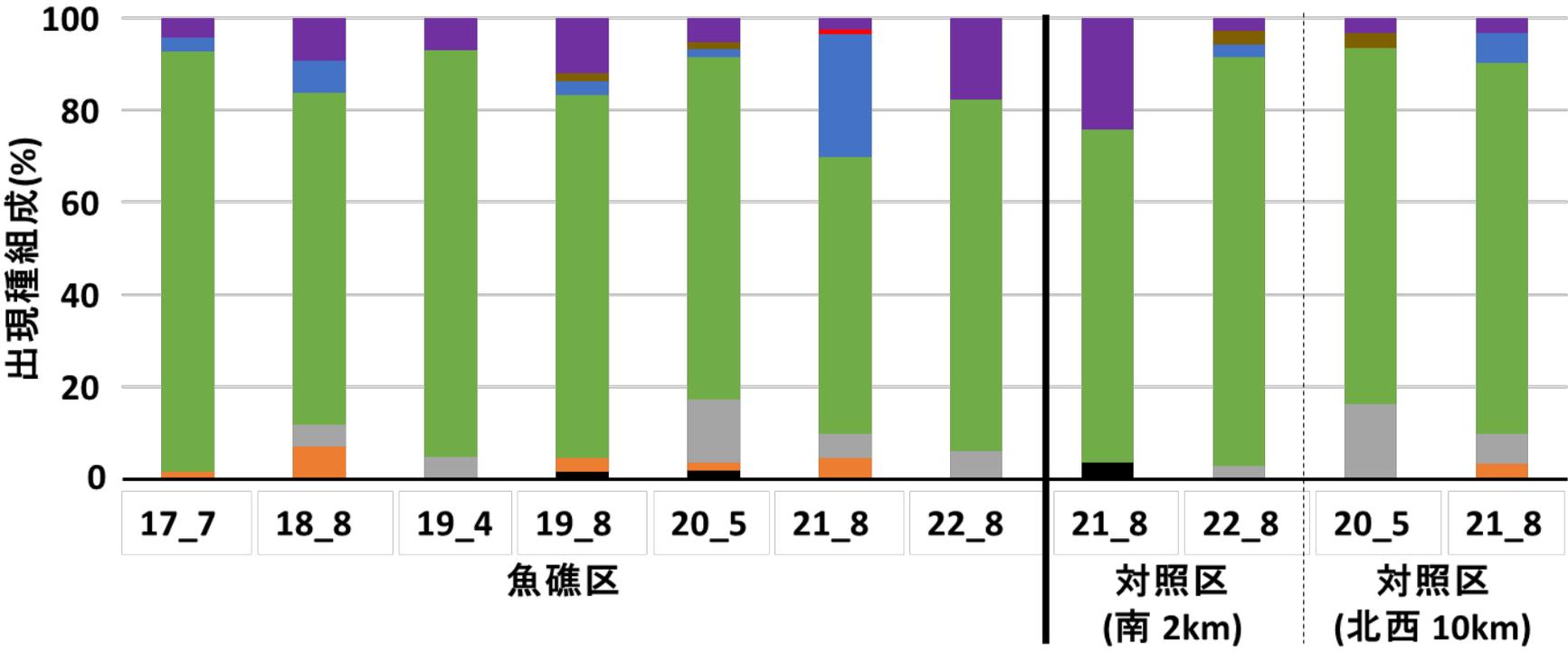
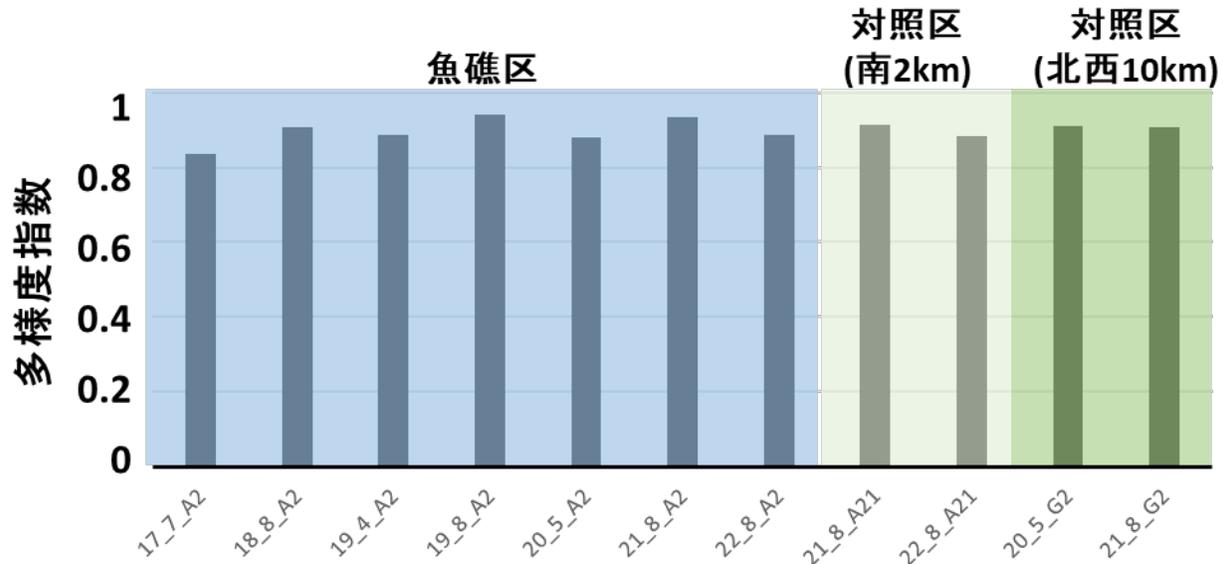
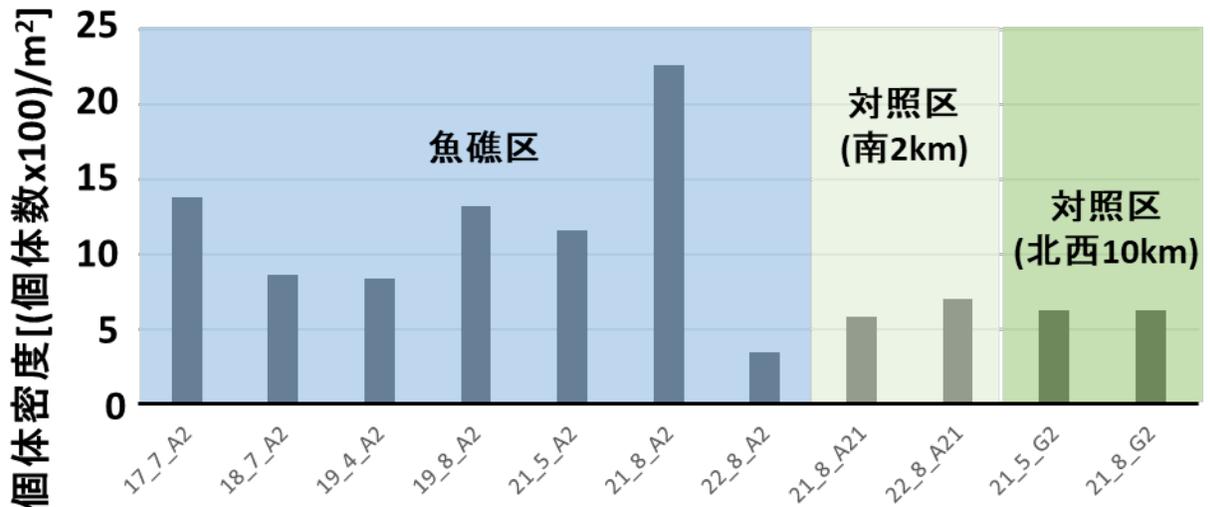


# 利尻島沖合調査：動物プランクトン



- 肉質鞭毛虫
- 繊毛虫
- 刺胞動物
- 線形動物
- 軟体動物
- 環形動物
- 節足動物
- 外肛動物
- 毛顎動物
- 棘皮動物
- 脊索動物

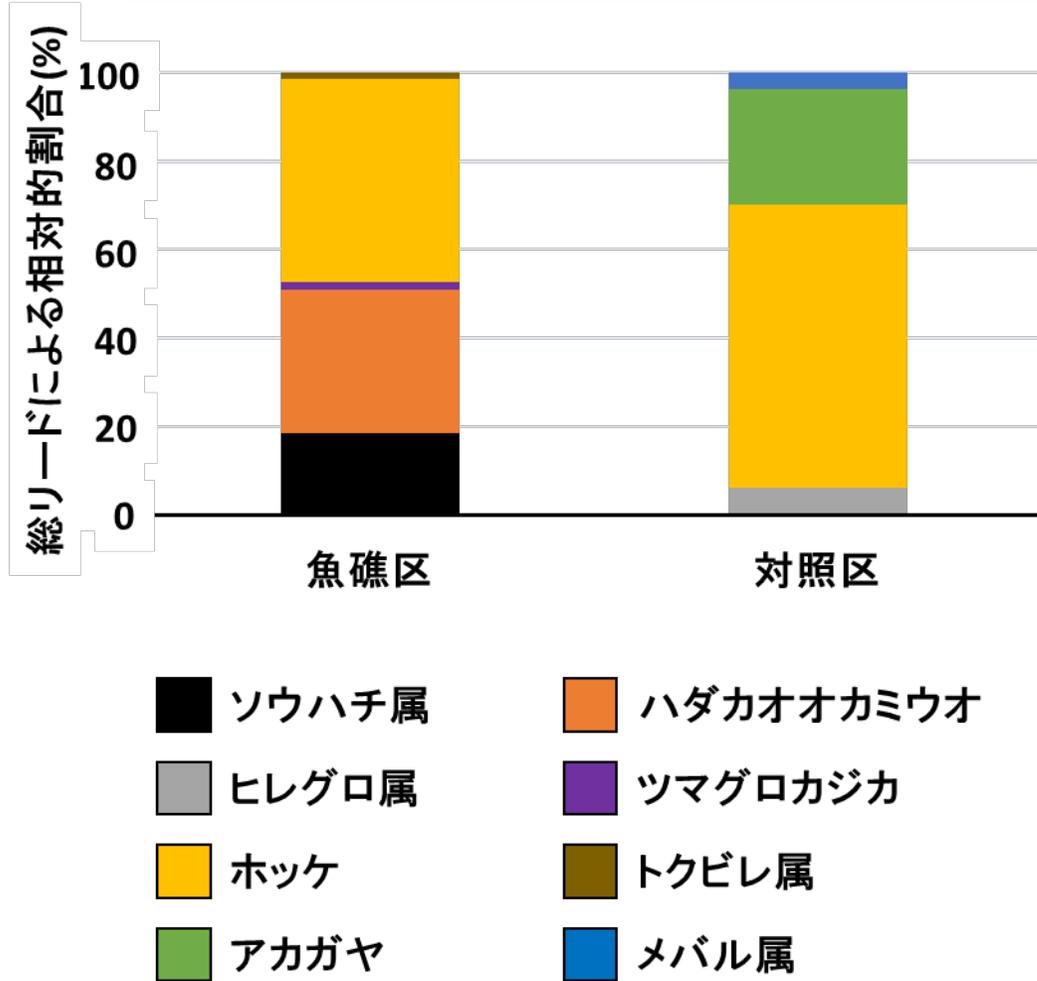
# 利尻島沖合調査：底生生物



- 刺胞動物
- 軟体動物
- 環形動物
- 苔虫動物
- 棘皮動物
- 紐形動物
- 星口動物
- 節足動物
- 帚虫動物

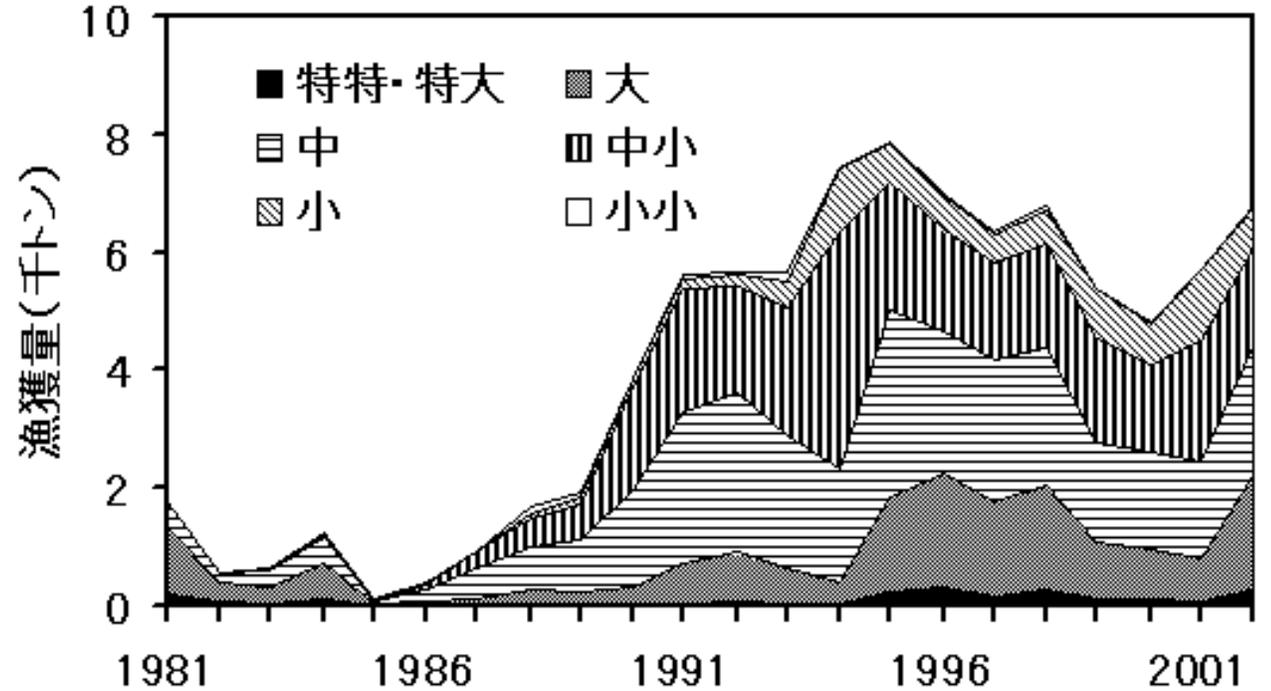
# 利尻島沖合調査：魚類組成

2021年8月環境DNA調査  
魚礁区と対照区（北西10km）の底層で採水



ホッケを対象として人工魚礁の有効性検討

ホッケ



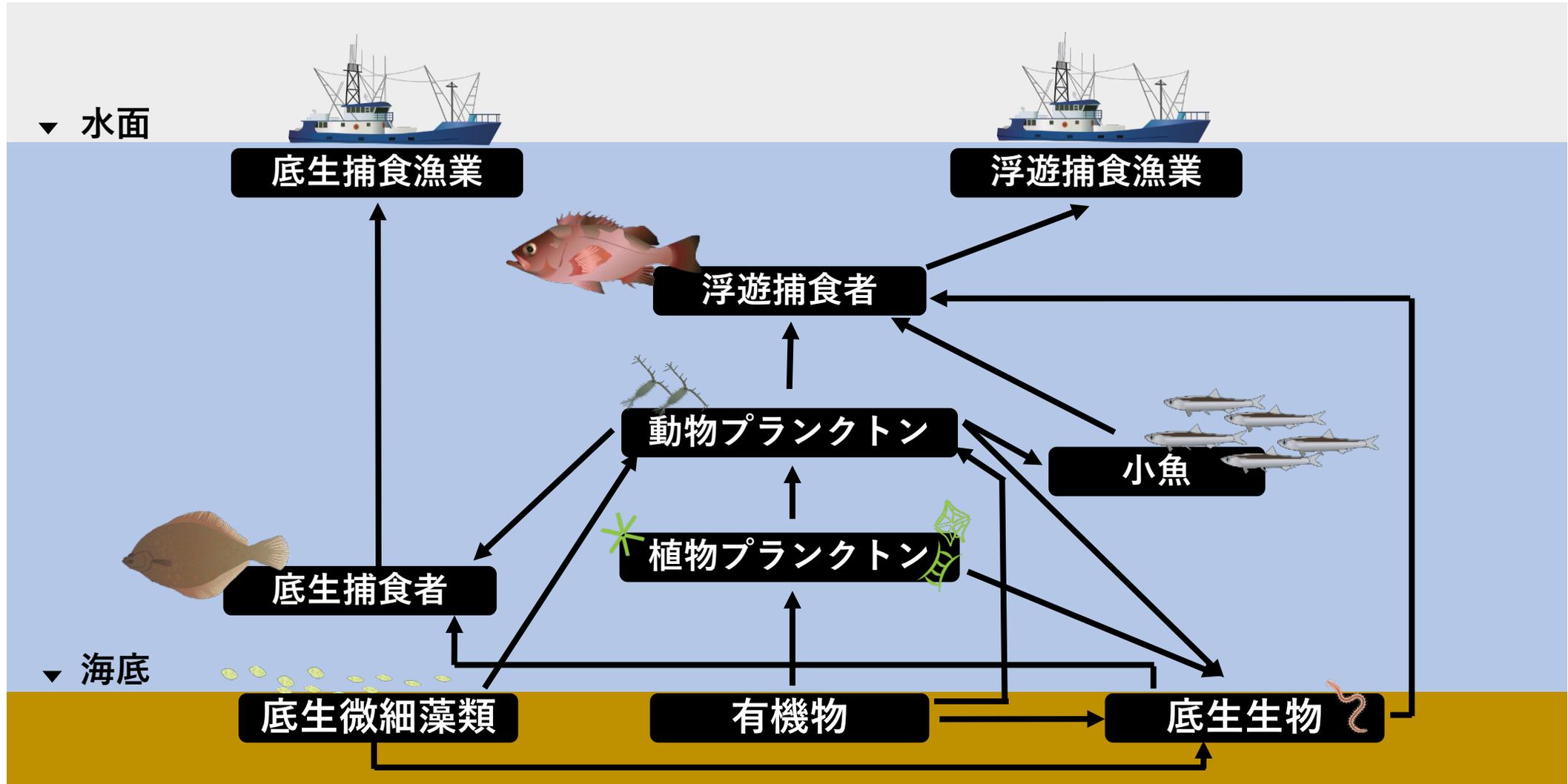
利尻・礼文地区における底建網漁業によるホッケ漁獲量

出典：北海道立総合研究機構

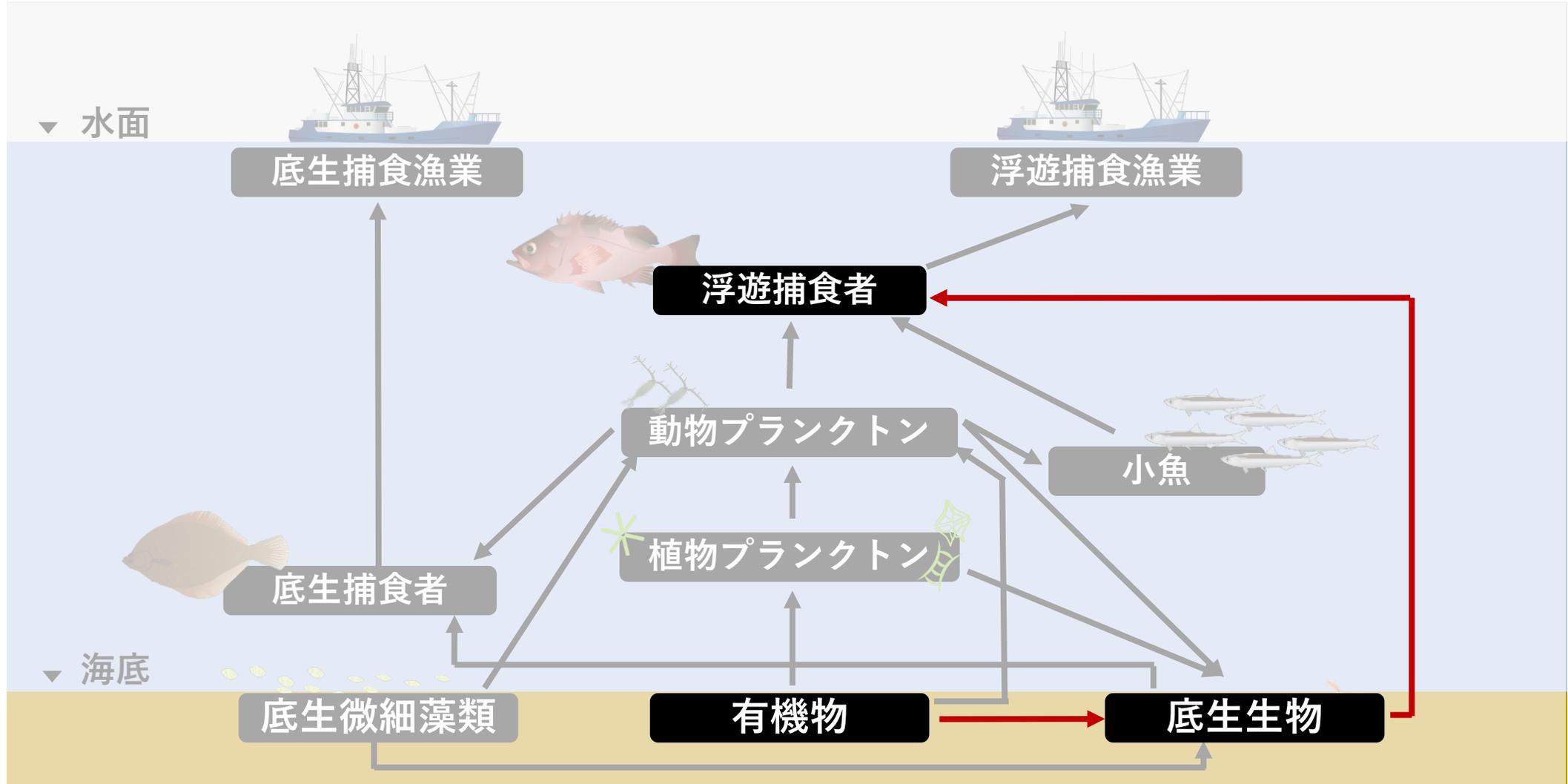
<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/wakkanai/section/zoushoku/inpvt40000000878.html>

<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/wakkanai/section/zoushoku/inpvt40000000ahm.html>

# 人工魚礁の有効性：餌料培養効果



# 人工魚礁の有効性：餌料培養効果



有機物→底生生物→捕食者（魚類）の食物連鎖で餌料培養効果を検討

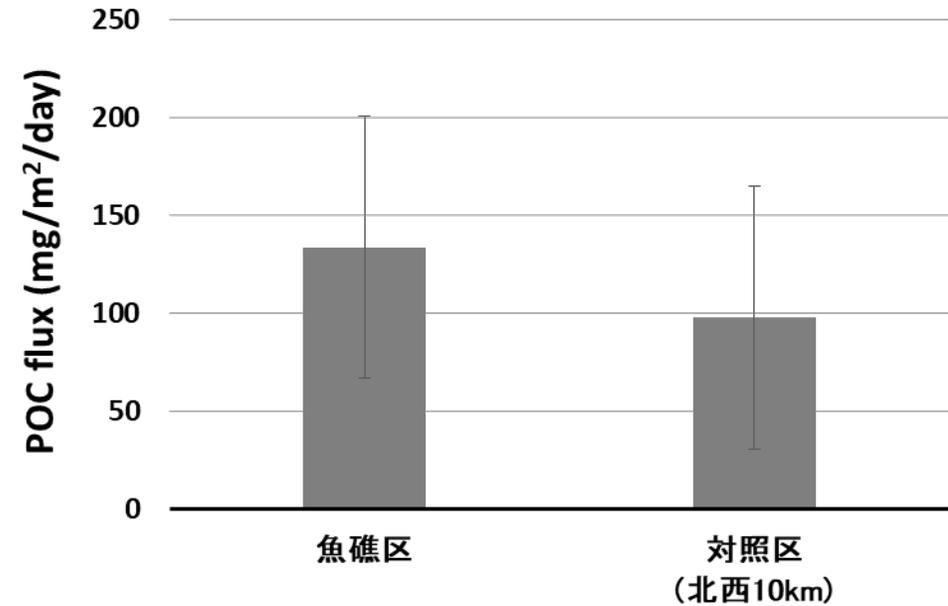
# 人工魚礁の有効性：餌料培養効果

有機物の指標として粒状態有機炭素(POC)を採集

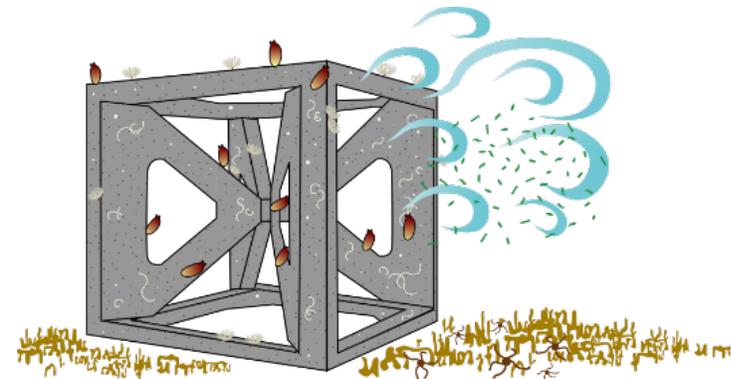


海底に設置したセジメントトラップ

2021年7/25-8/11の18日間、3日間を1回に6回採集



統計的に有意差はないが、魚礁区の有機物が多い



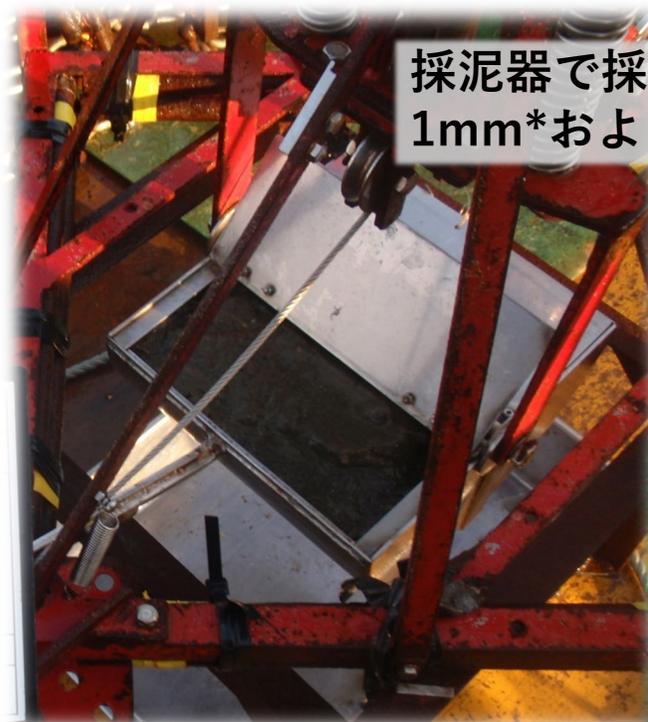
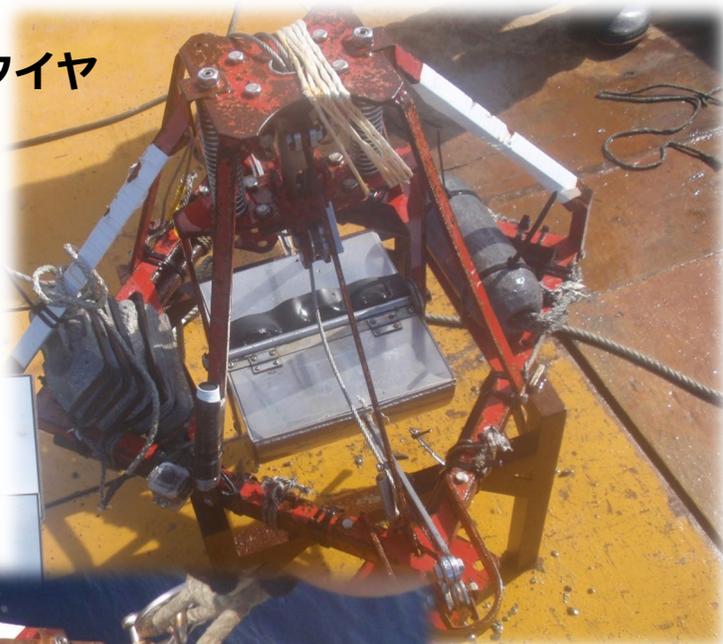
魚礁区と対照区で流速はほぼ同じ  
→ 魚礁ブロックで有機物がたまりやすい環境造成

# 人工魚礁の有効性：餌料培養効果

有機物の一次消費者である底生生物採集

スミス・マッキンタイヤ  
採泥器使用

2021年8月22日  
調査実施



採泥器で採集したサンプルを  
1mm\*および0.5mm\*のフルイで分離



\*1mm以上：マクロベントス  
\*0.5mm~1mm：メイオベントス

	魚礁区		対照区 (北西10km)	
	マクロ	メイオ	マクロ	メイオ
種数	38	49	19	28
個体密度(個体数/m <sup>2</sup> )	2240	6340	620	2120
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	109.2	4.7	18.1	0.8

マクロベントス、メイオベントスともに、魚礁区の方が対照区より種数が多く、個体密度が高く、湿重量が重い

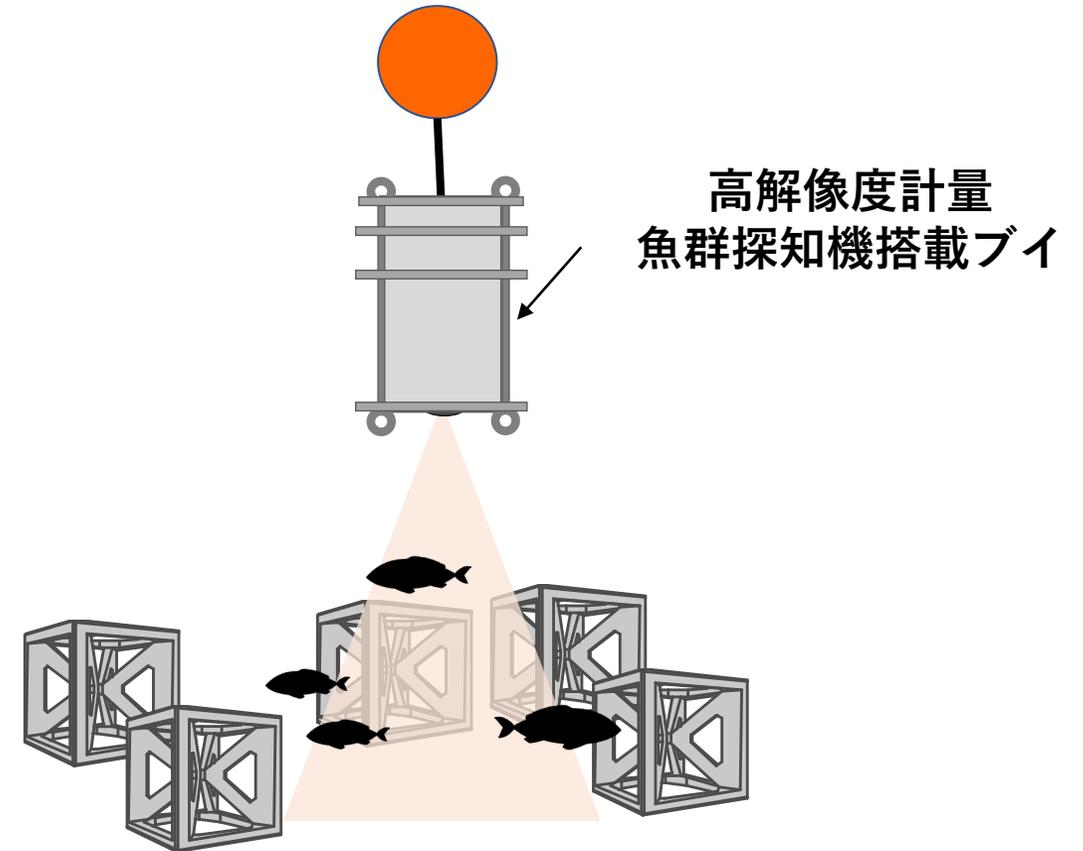
# 人工魚礁の有効性：魚類集効果

Magic Buoy (高解像度計量魚群探知機搭載ブイ)



従来の船舶を利用したグリッド式と違って  
定点長期観測が可能

▼ 水面



超音波照射範囲内にある魚の尾数を体長毎に計測

# 人工魚礁の有効性：魚類蝟集効果

対照区：南2km

2021年と2022年に2クールずつ実施

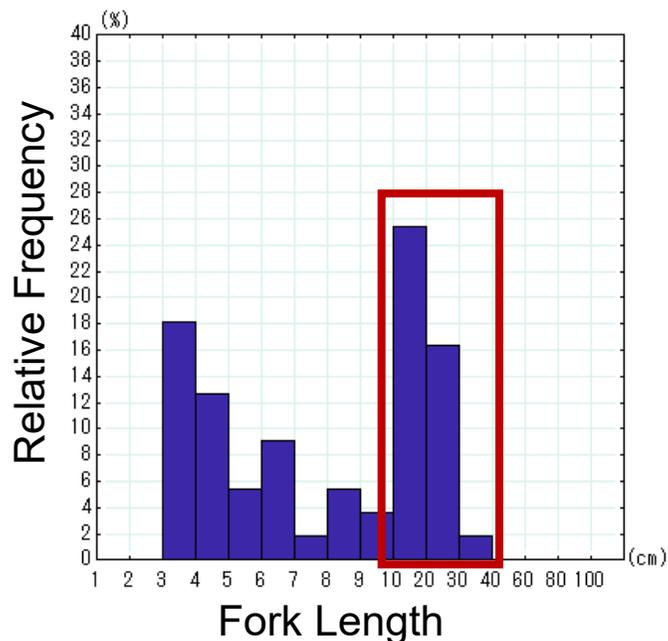
1クールの期間：およそ1ヶ月

観測設定：1時間に1回、10分間観測

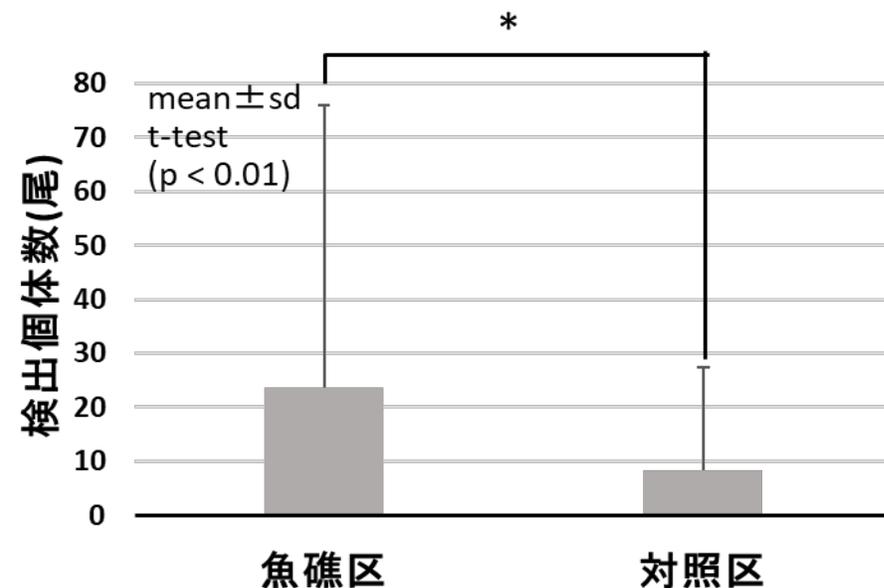
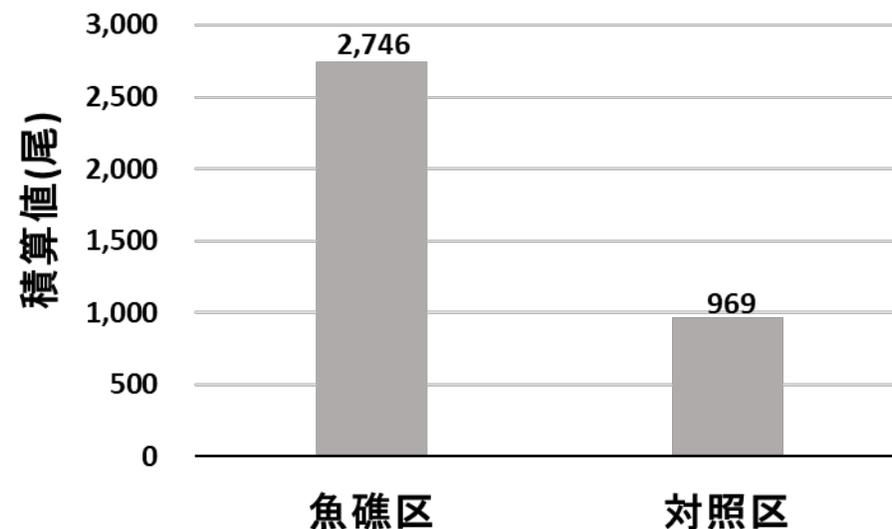
2022年1クール目(7/13-8/10)

ホッケ漁獲が行われる21-3時で解析

専用のプログラム(画面(左下)、出力データ(右下))に調査海域で得られたホッケ固有のTS(高嶋, 2006)を入れて検出個体(10~40 cm)を計数



FL範囲	頻度	尾数
1~2	0	0
2~3	0	0
3~4	18.1818	10
4~5	12.7273	7
5~6	5.45455	3
6~7	9.09091	5
7~8	1.81818	1
8~9	5.45455	3
9~10	3.63636	2
10~20	25.4545	14
20~30	16.3636	9
30~40	1.81818	1
40~60	0	0
60~80	0	0
80~100	0	0



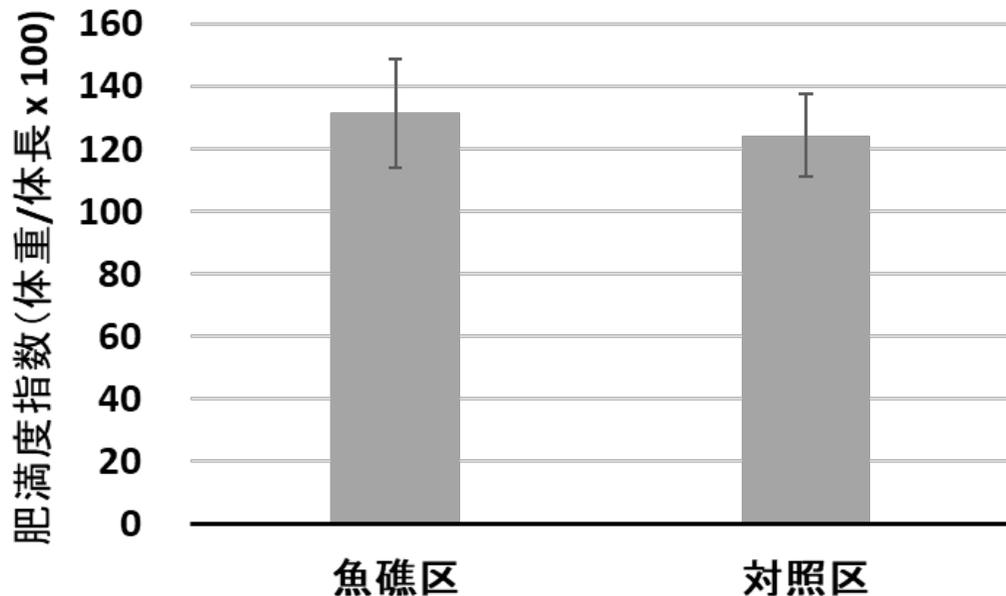
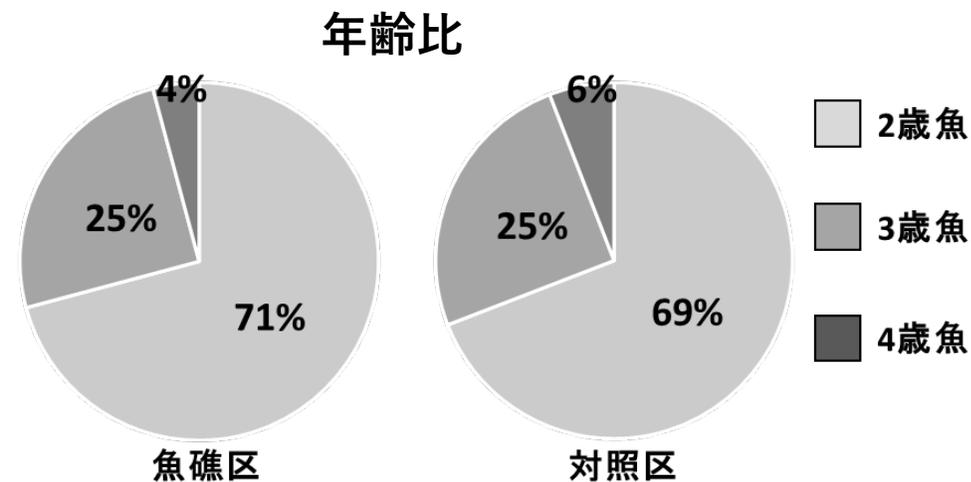
検出されたホッケの尾数は魚礁区が対照区より多い

# 人工魚礁の有効性：魚体増肉効果

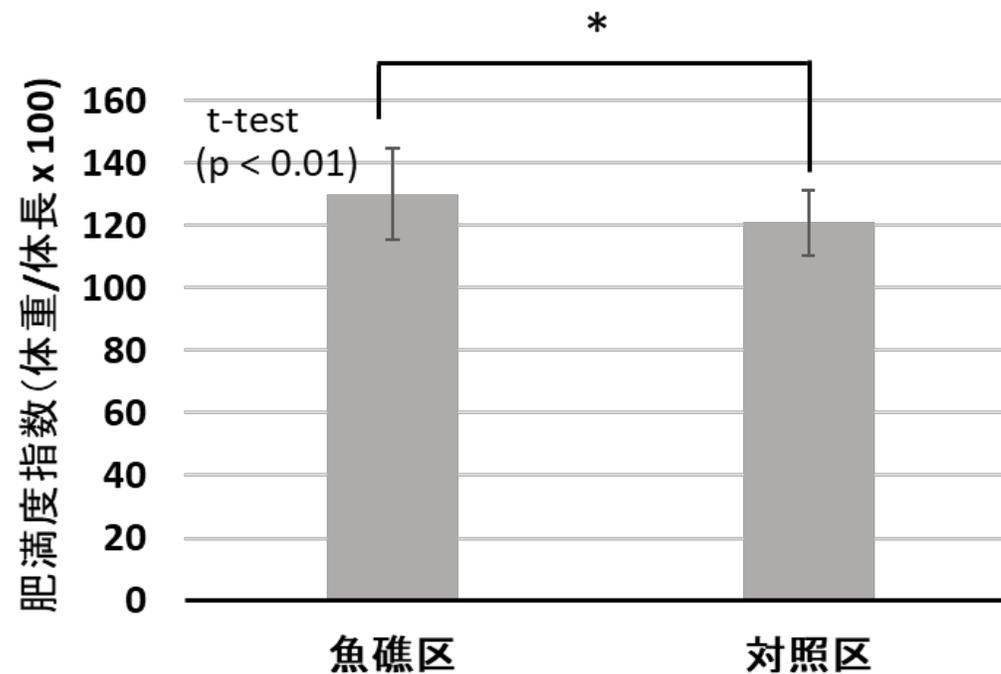
2021年9月魚礁区と対照区（北西10km）で刺し網漁獲調査実施

漁獲量（利尻漁業協同組合提供）

	魚礁区	対照区
全漁獲量 (kg)	35	500
漁獲努力量	6反 x 2.5h	42反 x 3.83h
CPUE (kg/反/時)	2.33	3.11



捕獲されたすべてのホッケの肥満度（平均±標準偏差）



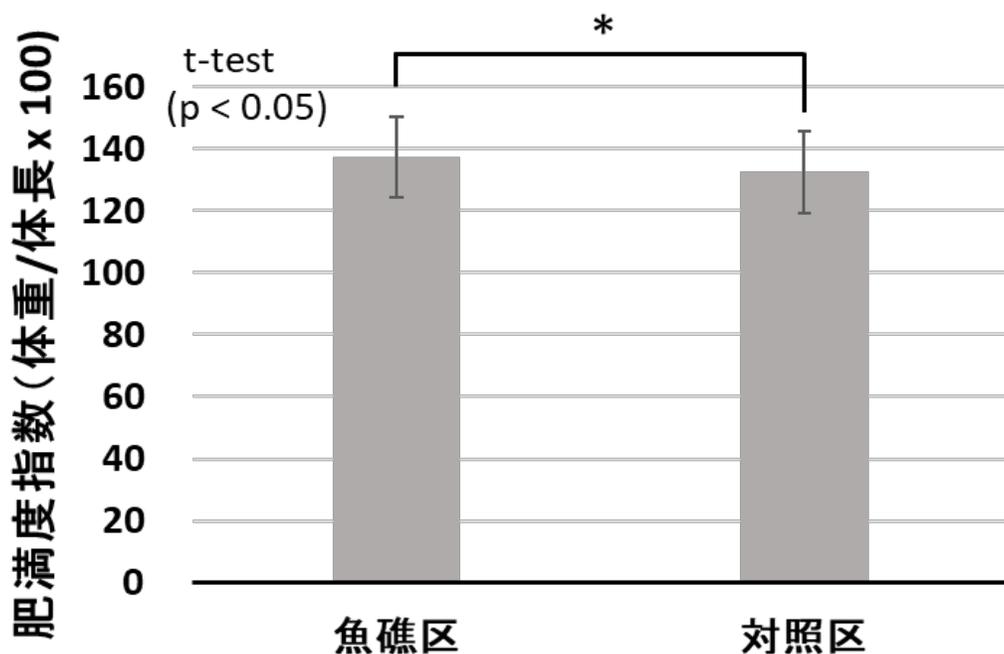
捕獲された2歳魚ホッケの肥満度（平均±標準偏差）

# 人工魚礁の有効性：魚体増肉効果

2022年6月魚礁区と対照区（南2km）で刺し網漁獲調査実施

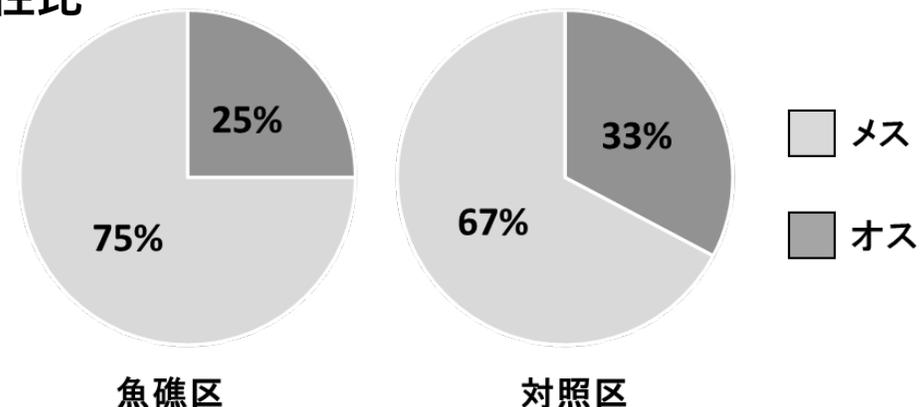
漁獲量（利尻漁業協同組合提供）

	魚礁区	対照区
全漁獲量 (kg)	500	80
漁獲努力量	12反 x 3.08h	12反 x 2.08h
CPUE (kg/反/時)	13.5	3.2

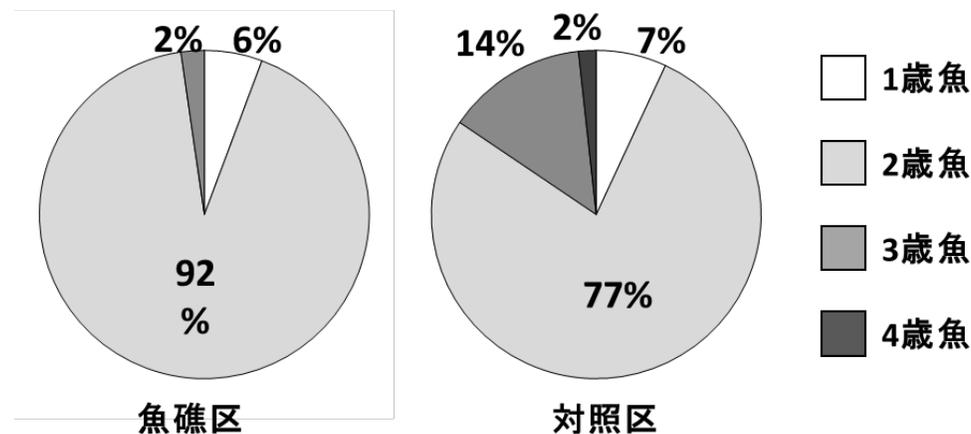


捕獲されたすべてのホッケの肥満度（平均±標準偏差）

性比



年齢比

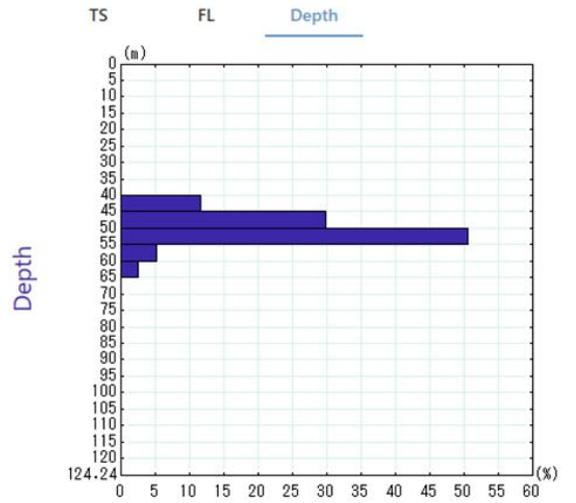
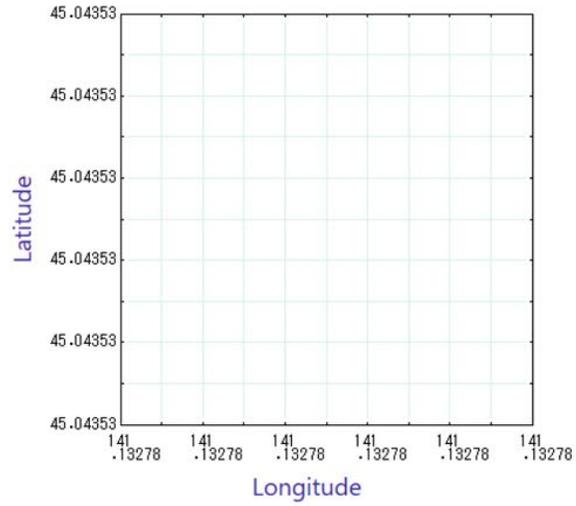


すべてのホッケで有意差が出たのは2歳魚の割合が多いからと考えられる

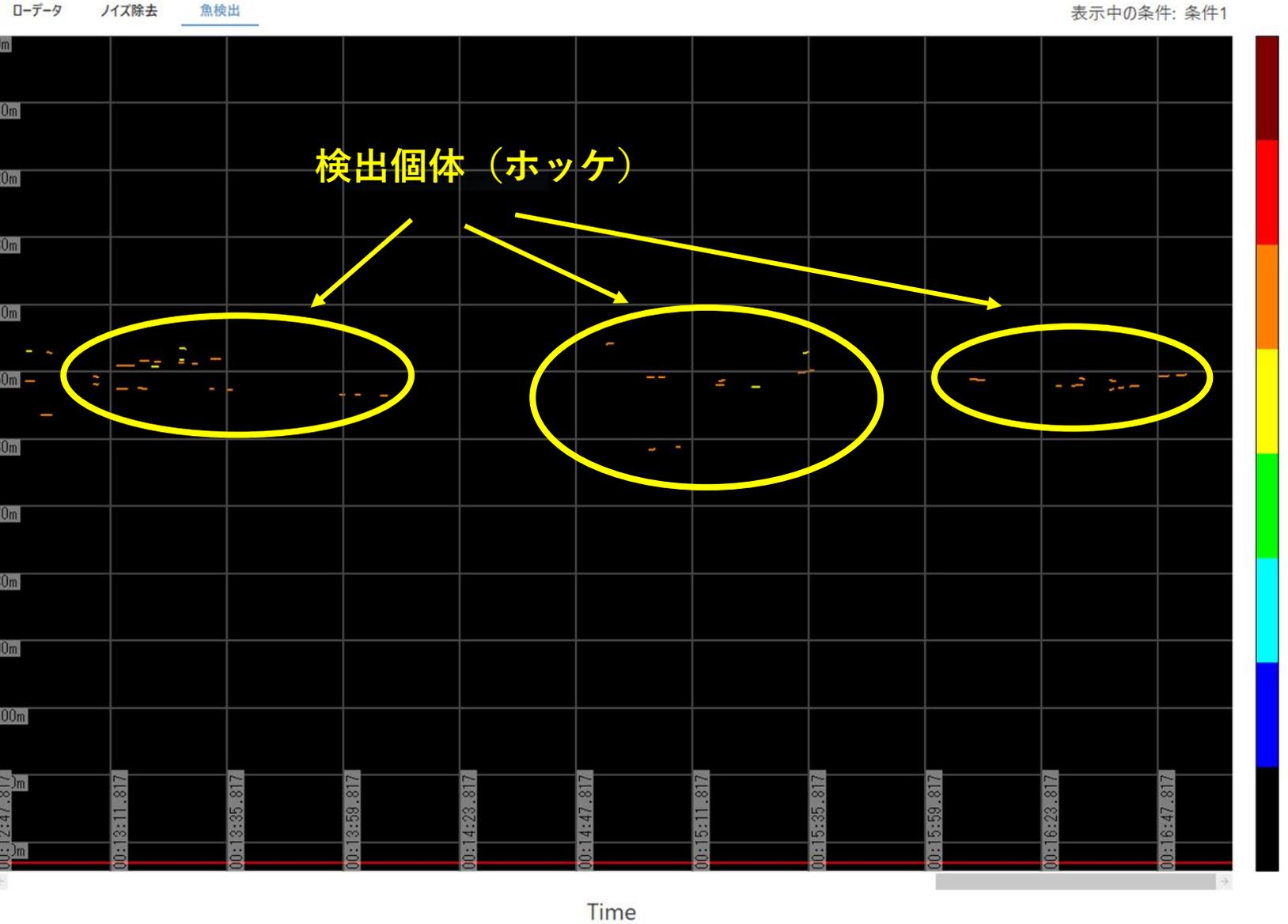
→ ホッケの生態から2歳魚で差が出る理由を解明

# 今後の研究計画

## 魚群探知機専用解析プログラムMagic View画面例（魚礁区：2022.07.28 0時）

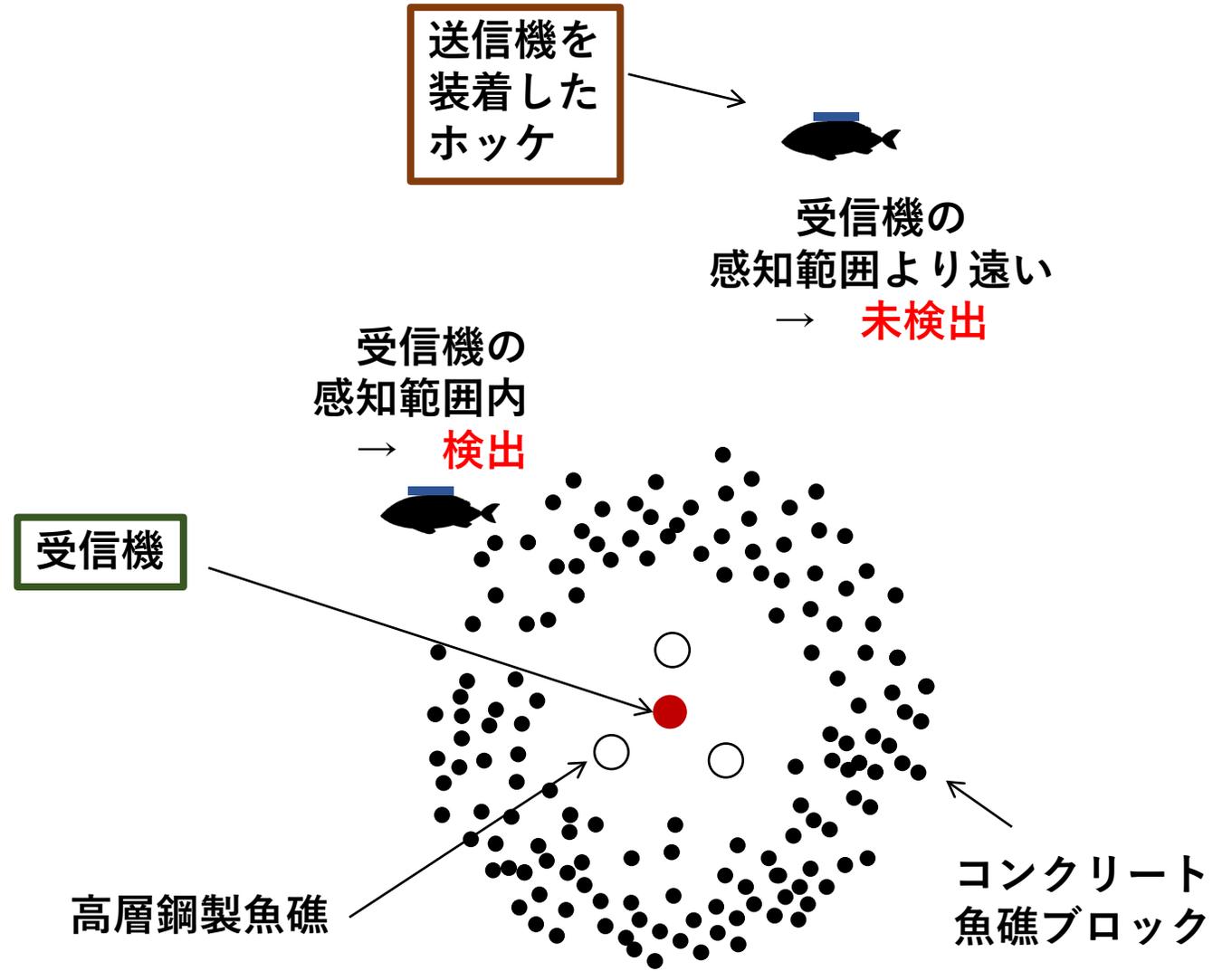
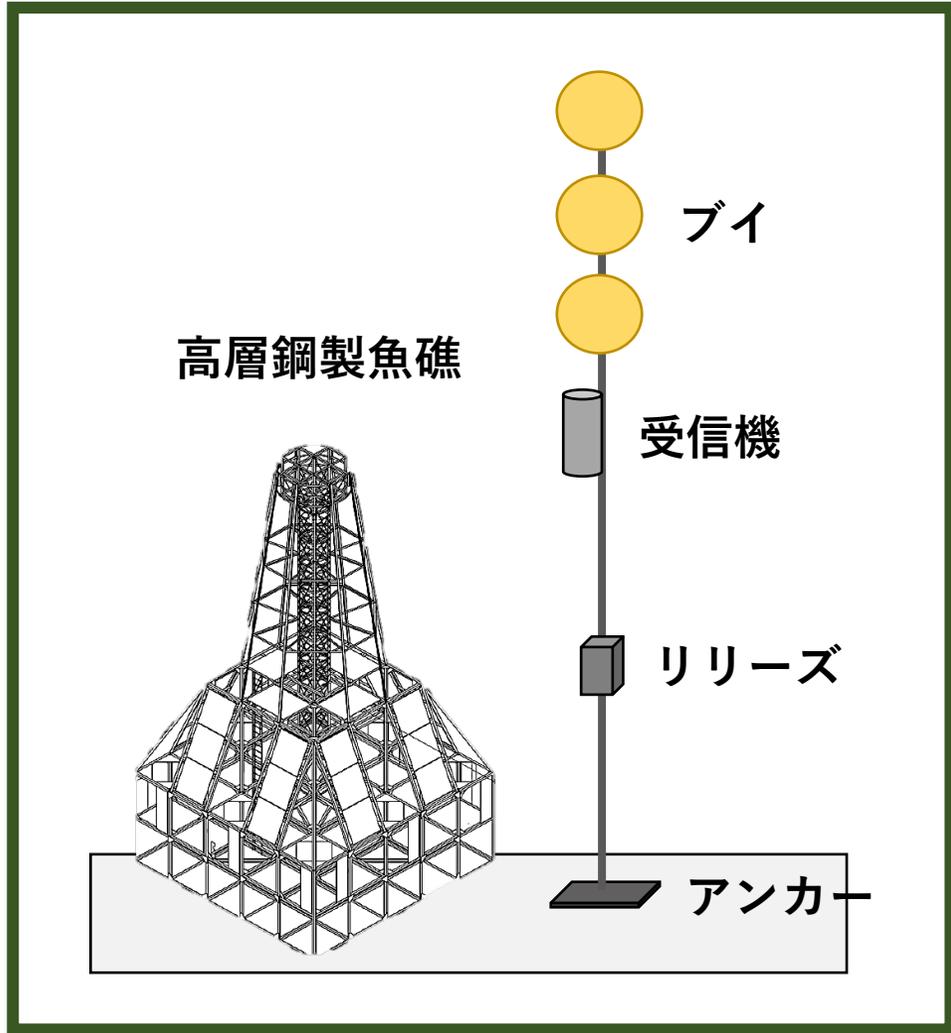


総数 N = 77    Relative Frequency    対象:全体



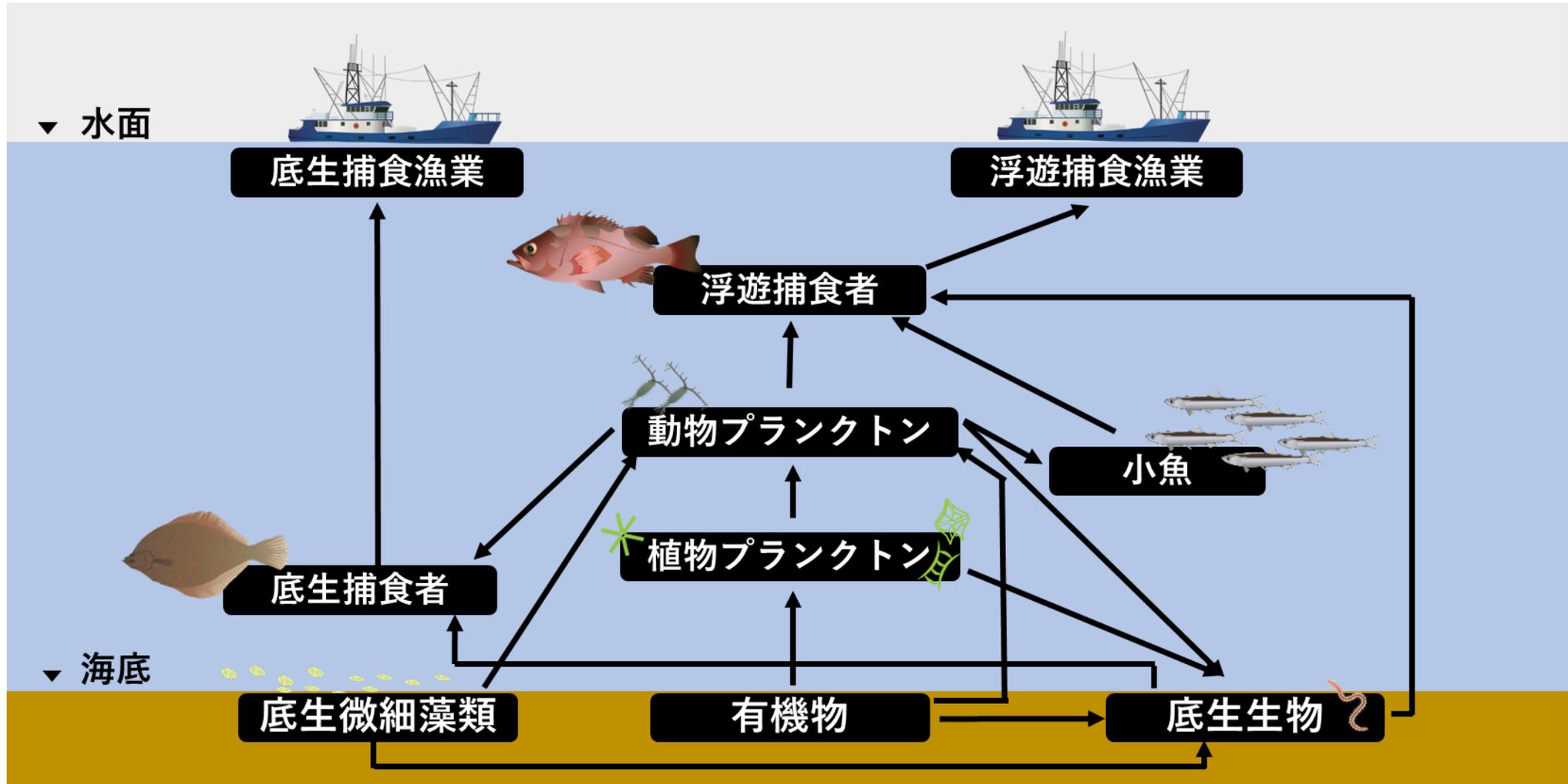
全期間・全時間のデータ解析 → 昼夜の移動が分かる

# 今後の研究計画：バイオテレメトリー実験実施



魚探だけだと、測定範囲が狭く追跡が不可能、魚が魚礁周辺に滞在したかまでは分からない  
→ バイオテレメトリー実験実施予定

# 今後の研究計画：生態系モデル構築



底魚、底生微細藻類を入れるなど生物調査強化、胃内容物の安定同位体比やDNA種査定を取り入れて食物網をベースとしたモデル作成、人工魚礁の独特な生態系を解明、持続可能な漁場づくりに貢献する