

令和 7 年度
水産基盤整備調査委託事業

沖合漁場整備に係る手法開発調査

報告書

令和 8 年 3 月

一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所

目次

a) 調査課題名.....	5
b) 実施機関名.....	5
c) 実施年度.....	5
d) 目的	5
e) 方法	7
1. 課題の抽出	7
1.1 北方海域における沖合漁場整備.....	7
1) スケトウダラに最適な漁場施設の選定方法.....	7
2) 温暖化の影響による海洋環境の変化を鑑みた漁場整備候補地の選定	7
3) 漁場整備によって発現する効果の定量化.....	7
1.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等.....	8
1) 浮魚礁の保護、増殖礁としてのメカニズムの解明	8
2) 長寿命化を含めた費用対効果分析に資するコスト縮減	8
1.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備.....	9
1) マウンド礁の整備効果把握のための調査計画.....	9
2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備	9
2. 次年度以降の調査計画案の策定.....	10
2.1 北方海域における沖合漁場整備.....	11
1) スケトウダラ0歳魚の魚礁性の検証.....	11
2) スケトウダラに保護・増殖に最適な漁場施設を選定するための調査	11
3) 温暖化の影響による海洋環境の変化を鑑みた漁場整備候補地を選定するための調査	11
4) 漁場整備によって発現する効果の定量化するための調査.....	11
2.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等.....	12
1) 浮魚礁の増殖（増肉）メカニズムの解明に向けて.....	12
2) 浮魚礁の増殖（産卵場）効果の解明に向けて.....	12
3) 浮魚礁の利用実態の解明に向けて.....	13
4) 長寿命化を含めたコスト縮減に向けて.....	13
2.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備.....	14
1) マウンド礁の整備効果把握のための調査計画.....	14
2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備	14
3. 検討会の設置・運営及び専門家からの指導・助言.....	15
3.1 検討会	15
1) 委員の構成	15
2) 開催時期および議事内容.....	15
3.2 専門家からの指導・助言.....	16
1) 専門家の構成	16
2) 開催時期および議事内容.....	17
f) 結果および考察.....	18

1. 課題の抽出	18
1.1 北方海域における沖合漁場整備.....	18
1) スケトウダラに最適な漁場施設の選定方法.....	18
2) 温暖化の影響による海洋環境の変化を鑑みた漁場整備候補地の選定	20
3) 漁場整備によって発現する効果の定量化.....	23
1.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等.....	25
1) 浮魚礁の保護、増殖礁としてのメカニズムの解明.....	25
2) 長寿命化を含めた費用対効果分析に資するコスト縮減.....	44
1.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備.....	61
1) マアジ等を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備	61
2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備	69
2. 次年度以降の調査計画案の策定.....	75
2.1 北方海域における沖合漁場整備.....	75
1) スケトウダラ 0 歳魚の魚礁性の検証.....	75
2) スケトウダラ 0 歳魚の増殖（増肉）効果の検証.....	76
3) スケトウダラ 0 歳魚の保護.....	78
4) 全体計画	79
2.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等.....	80
1) 浮魚礁の増殖（増肉）メカニズムの解明に向けて.....	80
2) 浮魚礁の増殖（産卵場）効果の解明に向けて.....	82
3) 気候変動の把握	83
4) 増殖効果（増肉・産卵場）の算定.....	83
5) 全体計画	84
6) 長寿命化を含めたコスト縮減に向けて.....	85
2.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備.....	87
1) マウンド礁の整備効果把握のための調査計画.....	87
2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備	91

a) 調査課題名

水産基盤整備調査委託事業 沖合漁場整備に係る手法開発調査

b) 実施機関名

一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所

第2 調査研究部

伊藤 靖、當舎親典、三浦 浩

c) 実施年度

令和7 年度

d) 目的

漁港漁場整備長期計画（令和4 年3 月閣議決定）の重点課題の一つとして、海洋環境の変化への対応力強化による持続可能な漁業生産の確保が掲げられ、沖合におけるフロンティア漁場整備や水産生物の生活史を踏まえた広域的な水産環境の整備等の資源管理の取組と連携した漁場整備の推進が実施目標の1 つとされている。

沖合域において保護育成・増殖を図る漁場整備について、これまで、フロンティア漁場整備事業として実施してきた、ズワイガニ及びアカガレイを対象とした保護育成礁並びにマアジ、マサバ及びマイワシを対象としたマウンド礁は整備手法が確立されている。

一方、北方海域におけるスケトウダラ、黒潮流域におけるカツオやマグロなど、他の海域・魚種についても保護育成・増殖のニーズは高く、スケトウダラ等を対象とした保護育成礁造成計画手法の確立、カツオ等を対象にした浮魚礁の増殖メカニズムの解明及び長寿命化を含めたコスト縮減や、沖合から沿岸域までが連携した漁場整備のあり方について検討する

必要がある。

このため、本調査では、既往知見を踏まえ、それらの技術的課題を明らかにするとともに、北方海域におけるスケトウダラ保護育成礁整備マニュアル（仮称）の作成、浮魚礁の保護育成・増殖メカニズムの解明等を行い、沖合漁場整備に係る新たな手法を開発するものである。

e) 方法

1. 課題の抽出

1.1 北方海域における沖合漁場整備

(調査のねらい・実施方針)

- ・漁場整備を計画する際には、まず、対象とする魚種の生活史段階において魚礁性を有することが前提となる。
- ・そのうえで、漁場施設に求められる役割を明確にし、そのための構造物を選定する必要がある。
- ・また、対象とする生活史段階のスケトウダラが分布し、想定される構造物が安定的に設置することができる場所を選定する必要がある。
- ・さらに、その規模を検討するうえで、整備する施設による効果を推定する必要がある。

1) スケトウダラに最適な漁場施設の選定方法

既往知見によるスケトウダラ 0 歳魚の分布域について収集、整理した。被食等からの保護や増殖（増肉）を図ることを目的とした、スケトウダラ以外の魚種も含めた既存の漁場施設に関する情報を収集、整理し、スケトウダラ 0 歳魚の保護や増殖のために必要な機能や要件、構造を整理する。

2) 温暖化の影響による海洋環境の変化を鑑みた漁場整備候補地の選定

道東海域では、気候変動、特に高水温化の影響を受け、スケトウダラ 0 歳魚や捕食者として懸念される親魚の分布が深所化している可能性がある。

道東海域において、スケトウダラ 0 歳魚や親魚等の近年の分布やその水深に関する情報について、研究機関から聞き取る。また、道東海域における近年の海底水温や予測について収集・整理する。

3) 漁場整備によって発現する効果の定量化

整備する施設による効果を推定するために必要な項目を既往の事例から収集し、不足している情報や課題を整理する

1.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等

(調査のねらい・実施方針)

- ・浮魚礁をフロンティア漁場整備事業により整備していく上では、増殖効果の検証が必要である。そのため、浮魚礁によるカツオの増肉や産卵に関する技術的課題を整理する。
- ・また、浮魚礁の便益については、一定程度見積もることが期待されるが、燃油価格の高騰等が想定される中、長寿命化を含めたコストダウンが必要である。

1) 浮魚礁の保護、増殖礁としてのメカニズムの解明

既往調査等の情報収集により、浮魚礁の増殖（増肉、産卵）に関する実態を整理する。

カツオの浮魚礁周辺における増肉について、浮魚礁で採捕されたカツオの体長や体重等に関する情報を水産試験場等より収集、整理する。

カツオの浮魚礁周辺における産卵について、浮魚礁で採捕されたカツオの生殖腺等に関する情報を水産試験場等より収集、整理する。

カツオ等の浮魚礁周辺における行動に関する研究事例をヒアリングする。

流動シミュレーションを用いることで浮魚礁による増殖のメカニズム（餌料の集積等）を物理的に解明可能かヒアリングする。

2) 長寿命化を含めた費用対効果分析に資するコスト縮減

浮魚礁の長寿命化について、メーカーへヒアリングし、整理した。

対象とする浮魚礁は表層型浮魚礁の2タイプ（表層浮魚礁①：鋼FRP製浮体、合繊ロープ、表層浮魚礁②：鋼浮体、鋼製ロープ）とした。

1.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備

(調査のねらい・実施方針)

- ・ 既往のマアジの標識放流等の調査から、沖合のマウンド礁で放流されたマアジが沿岸の定置網で再捕された。
- ・ 隠岐海峡のマウンド礁周辺における漁獲データの整理、分析により、沖合だけでなく、沿岸の漁業にもマウンド礁の波及効果があることが窺えた。
- ・ これらのことから、沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備の可能性を裏付けられる。
- ・ マアジ以外の魚種についても、沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備の情報を収集、整理する。
- ・ マアジ以外では、ホッケが可能性として挙げられる。

1) マウンド礁の整備効果把握のための調査計画

マアジについては、令和6年度にマウンド礁の効果を検証した対馬海峡以外の海域についても沖合および沿岸の漁業に波及効果があるのか確認するために、五島西方沖のマウンド礁を対象に漁獲情報を収集、整理した。

波及効果の評価には、海域を類型化したうえで、マウンド礁と同様の海域環境となる範囲を対照区として設定し、Difference in Differences 法により分析した。

2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備

マアジ等以外で沖合域から沿岸域まで利用する魚種のひとつにホッケが想定される。

ホッケを対象に沖合から沿岸まで一体となった漁場整備方針を検討した。

ホッケの生態や分布等について、道総研や北水研、大学等にヒアリングし、不明点等の課題を整理した。

2. 次年度以降の調査計画案の策定

1.1 1.3 で整理した各課題を解決するための調査を計画する。

全体的な調査計画として、1-3 か年程度を想定する。

各調査に係る概算費用についても算定し、調査規模は5 千万円/年 程度として、スケジュールを示す。

調査計画案について、3 の検討会や専門家の指導の下、監督職員とも十分協議する。

2.1 北方海域における沖合漁場整備

(調査のねらい・実施方針)

- ・スケトウダラの保護育成礁の整備マニュアルを策定するうえで、1.1 で整理する課題等の未解明事項等を明らかにするための調査を設計する。

1) スケトウダラ0歳魚の魚礁性の検証

スケトウダラ0歳魚の漁場造成を計画する上で前提条件となる魚礁性を検証するための調査を計画する。

想定される調査には、計量魚探調査（航走型）、漁獲調査等が挙げられる。

調査地点については、検討海域における既往の漁場施設の分布を踏まえて設定する。

調査時期については、検討海域におけるスケトウダラ0歳魚の分布時季や海象を踏まえて設定する。

使用する船舶（調査船や漁船）や観測機器の条件等についても示す。

2) スケトウダラに保護・増殖に最適な漁場施設を選定するための調査

スケトウダラ0歳魚を保護、増殖するために必要な機能を発揮するための構造を選定するための調査を計画する。

想定される調査には、水槽実験の他、実海域での実証試験等が挙げられる。

3) 温暖化の影響による海洋環境の変化を鑑みた漁場整備候補地を選定するための調査

1) の調査を活用する。

また、スケトウダラ0歳魚の実海域における行動（滞留や鉛直、水平移動）を把握するための調査として、バイオテレメトリー調査が挙げられる。

バイオテレメトリー調査では、装着できる発信機は魚体サイズの制限を受けることを考慮して、実現可能な調査を計画する。

4) 漁場整備によって発現する効果の定量化するための調査

漁場整備によって発現する効果を定量的に算定するための調査を設計する。

想定される調査には、滞留期間を推定するための水温の連続観測、バイオテレメトリー調査等が挙げられる。

2.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等

（調査のねらい・実施方針）

- ・浮魚礁の漁場整備の展開を検討するうえで、1.2 で整理する課題等の未解明事項等を明らかにするための調査を設計する。

1) 浮魚礁の増殖（増肉）メカニズムの解明に向けて

浮魚礁の増殖（増肉）メカニズムを解明するための調査を計画する。

想定される調査には、計量魚探調査（設置型）、計量魚探調査（航走型）、餌料等生物分布調査、流動シミュレーション等が挙げられる。

調査地点：検討海域における浮魚礁の利用実態を踏まえて設定する。

調査時期：対象とする生物の分布時季や海象を踏まえて設定する。

使用する船舶（調査船や漁船）や観測機器等についても考慮する。

想定される調査には、計量魚探調査（航走型）、漁獲調査等が挙げられる。

調査地点については、検討海域における既往の漁場施設の分布を踏まえて設定する。

調査時期については、検討海域におけるスケトウダラ 0 歳魚の分布時季や海象を踏まえて設定する。

使用する船舶（調査船や漁船）や観測機器の条件等についても示す。

2) 浮魚礁の増殖（産卵場）効果の解明に向けて

浮魚礁の増殖（産卵場）効果を解明するための調査を計画する。

想定される調査には、漁獲調査、生殖腺分析等が挙げられる。

調査地点：検討海域における浮魚礁の利用実態を踏まえて設定する。

調査時期：対象とする生物の分布時季や海象を踏まえて設定する。

3) 浮魚礁の利用実態の解明に向けて

浮魚礁の利用実態を解明するための調査を計画する。

想定される調査には、バイオテレメトリー調査、バイオリギング調査、標識放流調査等が挙げられる。

調査地点：検討海域における浮魚礁の利用実態を踏まえて設定する。

調査時期：対象とする生物の分布時季や海象を踏まえて設定する。

調査で得られる成果の効率を上げるための手法を整理する。例えば、従来のバイオリギング調査では低い再捕率が課題である。データの回収率を上げる手法や、ケース数を考慮して計画する。

4) 長寿命化を含めたコスト縮減に向けて

浮魚礁の長寿命化を含めたコスト縮減するための調査を計画する。

想定される調査には、回収した浮魚礁の減耗把握調査、浮魚礁メーカーへの聞き取り調査等が挙げられる。

事業実施の経済効果を高めるため、浮魚礁の長寿命化を含むコスト縮減について既往の知見を整理するとともに、魚礁整備関係メーカーから最新の技術情報を収集し、取りまとめる。

2.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備

(調査のねらい・実施方針)

- ・マアジ等浮魚類を対象とした場合には、沖合の漁場整備では、実績のあるマウンド礁等が想定される。また、沿岸では高層魚礁等にマアジの蛸集がみられている。技術的課題の一つとしてこれらの配置が想定される。
- ・マアジ以外の魚種については、1.3 エラー！参照元が見つかりません。で抽出した課題を解明する調査を計画する。
- ・また、それぞれ、候補地を1地区以上提案し、使用できる事業名を明記（複数の場合は複数明記。）する。
- ・なお、使用可能な事業については、適用範囲（沿岸（領海）、沖合（排他的経済水域）、沿岸・沖合一体的に適用等）に留意する。

1) マウンド礁の整備効果把握のための調査計画

マウンド礁等、沖合域における漁場整備が沖合や沿岸域への波及効果が想定される。これらを定量的に評価するための調査を計画する。

2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備

ホッケ等で年齢別の分布が課題となった場合には、これに対する調査として、漁獲調査、標本船調査、バイオテレメトリー調査等が想定される。

3. 検討会の設置・運営及び専門家からの指導・助言

3.1 検討会

1) 委員の構成

検討委員会の構成メンバーを表 e-3-1 に示す。構成する委員は、学識経験者、研究機関、行政関係者、漁業関係者の 5 名とした。

委員の選定にあたっては、監督職員と協議の上決定する。

表 e-3-1 検討委員会の構成

氏名	所属	専門分野
中田 英昭	国立大学法人 長崎大学 名誉教授	水産海洋
高津 哲也	国立大学法人 北海道大学 水産科学研究院 海洋生物資源科学部門 教授	水産資源
岩田 繁英	国立大学法人 東京海洋大学 学術研究院 海洋生命科学部海洋生物資源学科 助教	水産資源
志田 修	国立大学法人 北海道大学 北方生物圏フィールド科学 センター 生態系変動解析分野 特任教授	水産資源
三浦 秀樹	全国漁業協同組合連合会 常務理事	漁業関係者

2) 開催時期および議事内容

東京都内において検討委員会を 2 回開催した。各回の開催時期、議題は以下のとおりである。

(1) 第 1 回検討会

令和 7 年 9 月 8 日にエッサム神田ホール 2 号館（東京都）において対面とオンライン会議システムの併用により開催した。

- ・令和 7 年度の調査内容
- ・中間報告 1：マウンドの整備効果把握手法
- ・中間報告 2：浮魚礁の長寿命化を含めたコスト縮減

(2) 第2回検討会

令和8年1月21日に一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所 会議室（東京都）において対面により開催した。

- ・第1回検討会の主な意見と対応
- ・沖合域での浮魚礁整備の展開に向けて
- ・浮魚礁の長寿命化を含めたコスト縮減
- ・北方海域で漁場整備の展開に向けて
- ・沿岸から沖合域まで一体となった漁場整備の展開

3.2 専門家からの指導・助言

1) 専門家の構成

(1) 北方海域

専門家の構成メンバーを表 e-3-2 に示す。専門家の構成メンバーは、学識経験者、国・都道府県研究機関研究者とした。

表 e-3-2 北方海域における専門家の構成

氏名	所属	専門分野
高津 哲也	国立大学法人 北海道大学 水産科学研究院 海洋生物資源科学部門 教授	水産資源
志田 修氏	国立大学法人 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 生態系変動解析分野 特任教授	水産資源

(2) 浮魚礁

専門家の構成メンバーを表 e-3-3 に示す。専門家の構成メンバーは、学識経験者、国・都道府県研究機関研究者とした。

表 e-3-3 浮魚礁における専門家の構成

氏名	所属	専門分野
中田 英昭	国立大学法人 長崎大学 名誉教授	水産海洋
岩田 繁英	国立大学法人 東京海洋大学 学術研究院海洋生命科学部海洋生物資源学科 助教	水産資源
織田 純生	高知県水産試験場 場長	水産資源
津野 健太郎	高知県水産振興部水産業振興課 課長	行政

2) 開催時期および議事内容

(1) 北方海域

令和7年11月18日に函館（北海道）において対面形式により開催した。

- ・北方海域におけるスケトウダラを対象とした漁場整備の方向性とその課題
- ・北方海域におけるホッケを対象とした漁場整備の方向性とその課題

(2) 浮魚礁

令和7年11月5日に（一財）漁港漁場漁村総合研究所（東京都）において対面形式により開催した。

- ・新規事業として有望なメニューの検討
- ・浮魚礁の増殖効果の解明に向けて

f) 結果および考察

1. 課題の抽出

1.1 北方海域における沖合漁場整備

1) スケトウダラに最適な漁場施設の選定方法

既往の調査によるスケトウダラ 0 歳魚の分布を図 f-1-1 に示す。

スケトウダラ 0 歳魚の着底場の条件は、水深：40-250m、流動：渦流（水深 200m で湾状）、傾斜：傾斜が大きいと親魚に近く被食の可能性あり、とされる。

スケトウダラ 0 歳魚の着底が確認されている地点は、北海道日本海北区では、2019 年 9 月の調査（稚内水試・中央水試）により、水深 200m 以深となっている。一方、北海道太平洋北区においては、1996 年の調査では、水深 30-80m（志田ら, 1999）、2023 年の調査では、水深 100-130m（R5 北方海域）において確認されている。

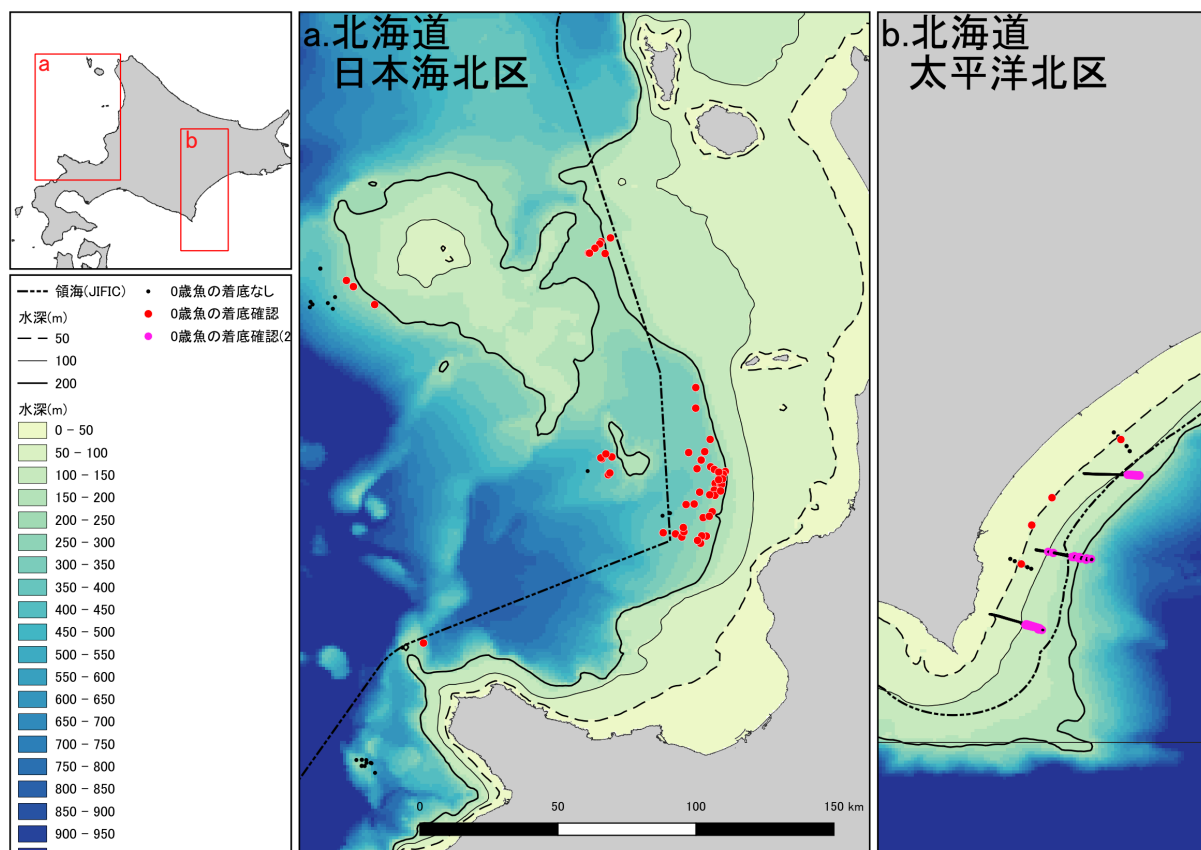


図 f-1-1 スケトウダラ 0 歳魚の分布

スケトウダラ 0 歳魚の魚礁性について、水槽実験では、対照区に比べ魚礁区に多く 0 歳魚が蟄集することが確認されている（北大鈴木ら・漁村総研, 2016）。また、海域では、北海道日本海北区の武蔵堆周辺の水深 200m において、砂泥底より、転石帯で 0 歳魚、オキアミ等の動物プランクトンが多い傾向が 2013 年の調査で確認されている（H25・26 沖合漁場整備の事業化検討調査, 2015）。北海道太平洋北区では、2023 年の調査により、道東の水深 100m の既設魚礁周辺においてスケトウダラ 0 歳魚の魚礁性が確認された（図 f-1-2）。

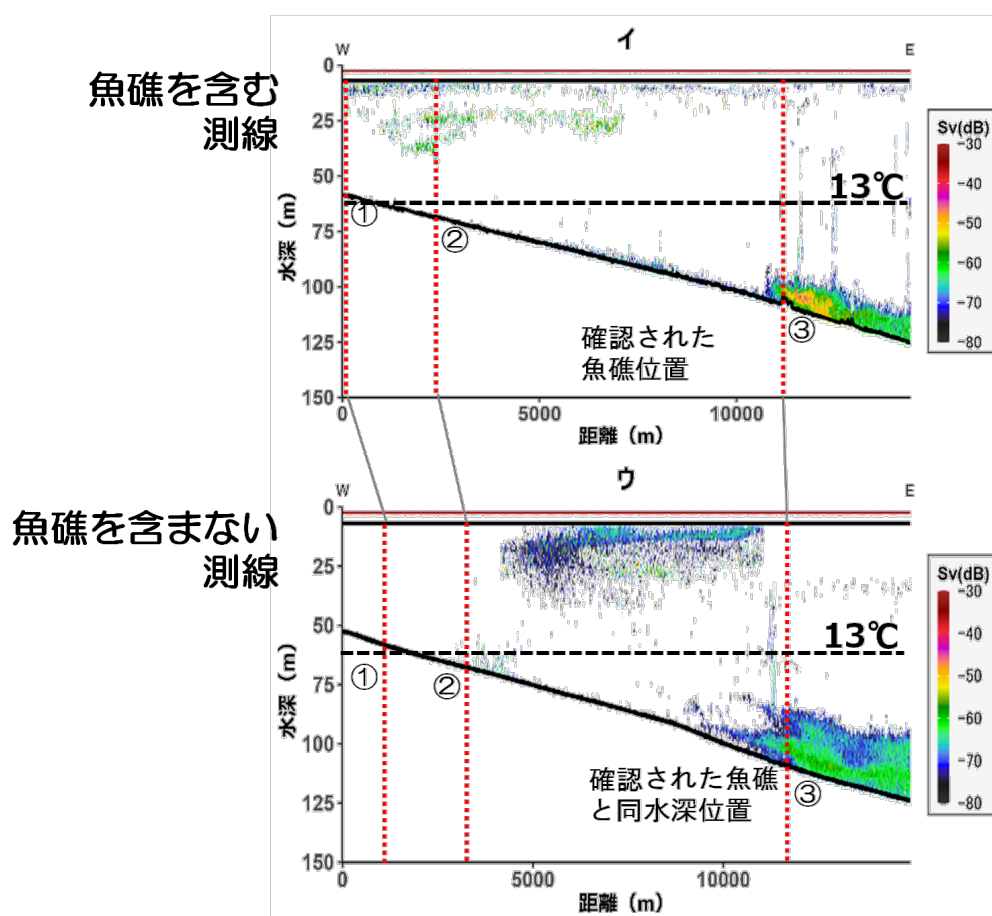


図 f-1-2 道東海域の水深 100m 帯の魚礁周辺に蟄集するスケトウダラ 0 歳魚（2023 年）

ただし、1996 年にスケトウダラ 0 歳魚の分布が確認されていた水深 30-80m 帯において、2021 年、2022 年に実施した調査では、魚礁とその周辺でスケトウダラ 0 歳魚を確認することはできなかった。これは、赤潮や海洋熱波、高水温などの影響によるものと考えられるが、水深 100m 帯で魚礁性が確認されたのは 1 例のみとなるため、スケトウダラ 0 歳魚に適した漁場施設を選定する上で、蓋然性を高めることが技術的な課題となる。

2) 温暖化の影響による海洋環境の変化を鑑みた漁場整備候補地の選定

1) で示したとおり、道東海域における 2021 年、2022 年に調査では、赤潮や海洋熱波、高水温などの影響により、スケトウダラ 0 歳魚の分布が想定された水深帯（水深 30-80m）で確認することができなかったと考えられる。道東海域で高水温化が進むと、スケトウダラ 0 歳魚の着底可能な水深帯は 100m 以深になると想定される。一方、当該海域の水深 100m 以深は沖合底引き網の漁場となっており、漁場整備の調整が困難になることが想定される。

そこで、道東海域の水温が将来的にどのようになり、スケトウダラ 0 歳魚の漁場整備の候補海域を検討するため、海洋モデルデータを収集・整理することとした。

検討した海洋データモデルの一覧を表 f-1-1 に示す。

収集するデータの期間には、道東海域においてスケトウダラ 0 歳魚の分布に関する調査が実施された 1996 年、2021-23 年、さらに将来予測のデータが含まれている必要がある。また、過去から未来を通して一貫したデータセットを使用することが望ましい。

表 f-1-1 検討した海洋モデルデータの一覧

	JCOPE 2M	JCOPE - T DA	JCOPE - T 1ks	JCOPE - FGO	FRA- ROMS2v2	MOVE - JPN	日本沿岸 海況監視 予測システム	SODA4	FORP - NP10 v4	FORP - JPN02 v4
計算期間	1993- 現在	2018- 現在	2024- 現在	1993- 現在	1993- 現在	2008- 2019	2020- 現在	1980.1- 2024.6	1970- 2100	1991-2018 2041-2100
時間 解像度	1日	1時間	1時間	1日、1ヶ月	1日	1日	1日	5日、10日、1 ヶ月	1ヶ月	1時間、1日
水平解像 度	1/12° (10km)	1/36° (3km)	1/120° (900m)	1/10° (11km)	1/10° (11km)	1/50° × 1/3 3° (約2km)	1/50° × 1/3 3° (約2km)	1/10° (11km)	lat1/11° ,lon 1/10° (10km)	(2km)
鉛直層	一般化σ座標 46層	一般化σ座標 46層	一般化σ座標 46層	一般化σ座標 44層	s座標 48層	z* 座標 60層(2-700m)	2-600m 60層	z*座標 75層	(z*座標?) 60層	(z*座標?) 60層
潮汐外力	-	11分潮	11分潮	-	-	8分潮	未確認	未確認	未確認	未確認
データ 同化	?	マルテスケール3次元変分法によって、衛星海面高度、衛星海面水温、現場水温塩分を1日毎に同化	JCOPE-T DA の水温、塩分場に緩和。水平200m緯線の海域は緩和なし	三次元変分法	EOF 結合モードを用いた3次元変分法	MOVE (incremental 4DVAR)	気象業務支援センター	線形逐次フィルタ	未確認	未確認

検討した海洋モデルデータの中に、全期間を通して利用可能な高解像度のデータセットはなかった。そのため、低解像度データセットと高解像度データセット、過去データセットと将来データセットを組み合わせることとした。

水平解像度は 10km と粗いが、過去から将来にかけてデータが存在する FORP-NP10、期間は限られるものの、高解像度データセットとなる FORP-JPN2 を収集・整理した（表 f-1-2）。

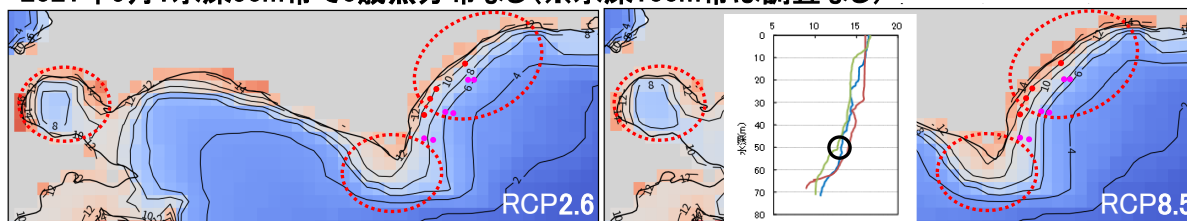
なお、FORP 系モデルは気候変動予測情報の創出が目的であり、JCOPE 系や FRA-ROMS 系モデルと再現性に対する考え方が異なるものと考えられる。

表 f-1-2 収集したデータセットの計算条件

データセット	海面境界条件 (CMPI5モデル)	シナリオ	計算期間
FORP-NP10v4	MIROC5	Historical	1981-2005年
		RCP2.6	2006-2100年
		RCP8.5	2006-2100年
	MIT-CGCM3	Historical	1981-2005年 →1996年
		RCP2.6	2006-2100年 →2021-2023, 2025年
		RCP8.5	2006-2100年 →2045年
	JRA-55	Historical	1970-2018年
FORP-JPN02v4	MIROC5	Historical	1991-2005年
		RCP2.6	2086-2100年
		RCP8.5	2086-2100年
	MIT-CGCM3	Historical	1991-2005年 →1996年
		RCP2.6	2041-2055,2086-2100年
		RCP8.5	2041-2055,2086-2100年 →2045年
	JRA-55	Historical	1991-2018年

道東海域で0歳魚を確認できなかった2021年と確認できた2023年9月の底層水温の水平分布を図f-1-3に示す。

2021年9月：水深50m帯で0歳魚分布なし(※水深100m帯は調査なし)



2023年9月：水深100m帯で0歳魚を確認、50m帯では分布なし

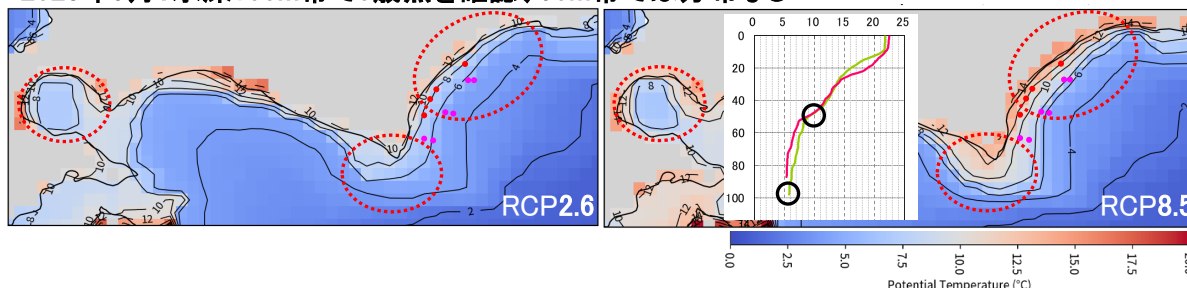


図 f-1-3 0歳魚を確認できなかった2021年、確認できた2023年の底層水温の水平分布

2021 年の水深 50m の底層水温は 10℃ (RCP2.6)、12℃ (RCP8.5)、水深 100m の底層水温は 6℃ (RCP2.6)、 8℃ (RCP8.5) であった。2023 年の水深 50m の底層水温は 8℃ (RCP2.6)、 11℃ (RCP8.5)、水深 100m の底層水温は 6℃ (RCP2.6)、8℃ (RCP8.5) であった。

このように、水深 50m の水温については、RCP8.5 の計算値の方が実測値と近似していた。

噴火湾から道東海域にかけての 2045 年 9 月の底層水温の分布予測を図 f-1-4 に示す。

2045 年の底層水温は、噴火湾で低下、或いはあまり変化しない、道東沿岸では低下と予測される。また、道東海域の底層水温は、水深 50m で 6℃ (RCP2.6)、7℃ (RCP8.5)、水深 100m で 4℃ (RCP2.6)、4℃ (RCP8.5) と予測される。

以上より、道東海域の水深 50m の 2045 年 9 月の底層水温は、2023 年よりも低下して 6-7℃ になると予測される。

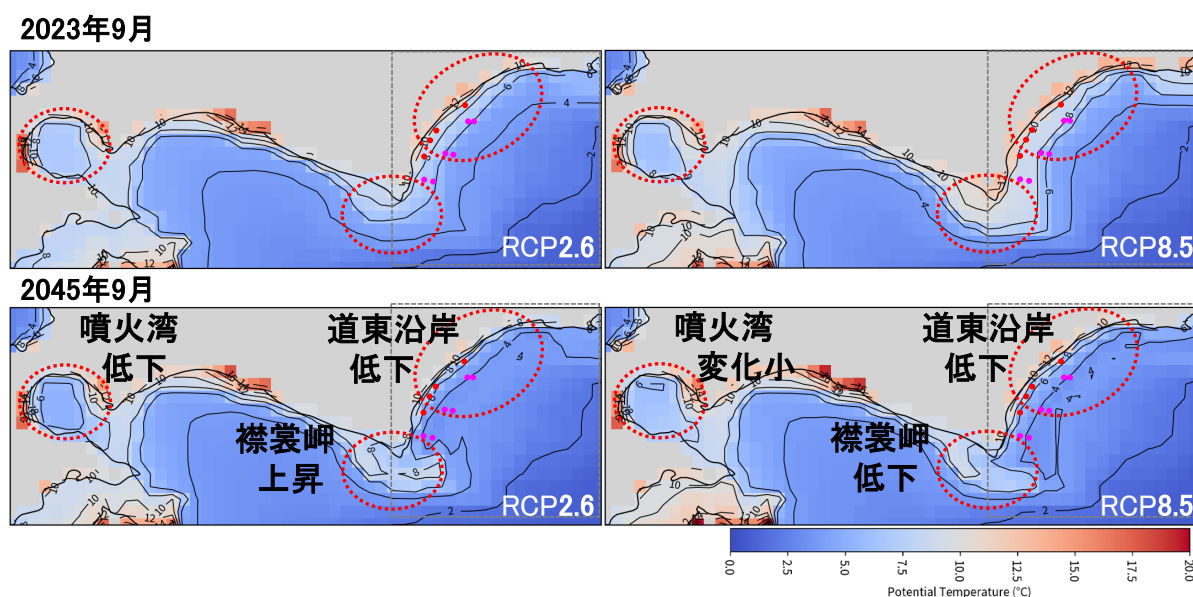


図 f-1-4 噴火湾から道東海域にかけての 2045 年 9 月の底層水温の分布予測

1996 年 (Historical)、2045 年 (RCP8.5) の道東海域の底層水温の分布を図 f-1-5 に示す。道東海域の底層水温は、水深 50m で 1996 年 : 11℃、2045 年 (RCP8.5) : 13℃、水深 100m で 1996 年 : 9℃、2045 年 (RCP8.5) : 9℃と予測される。

以上より、道東海域の水深 50m の 2045 年 9 月の底層水温は、1996 年よりも上昇トレンドと予測される。

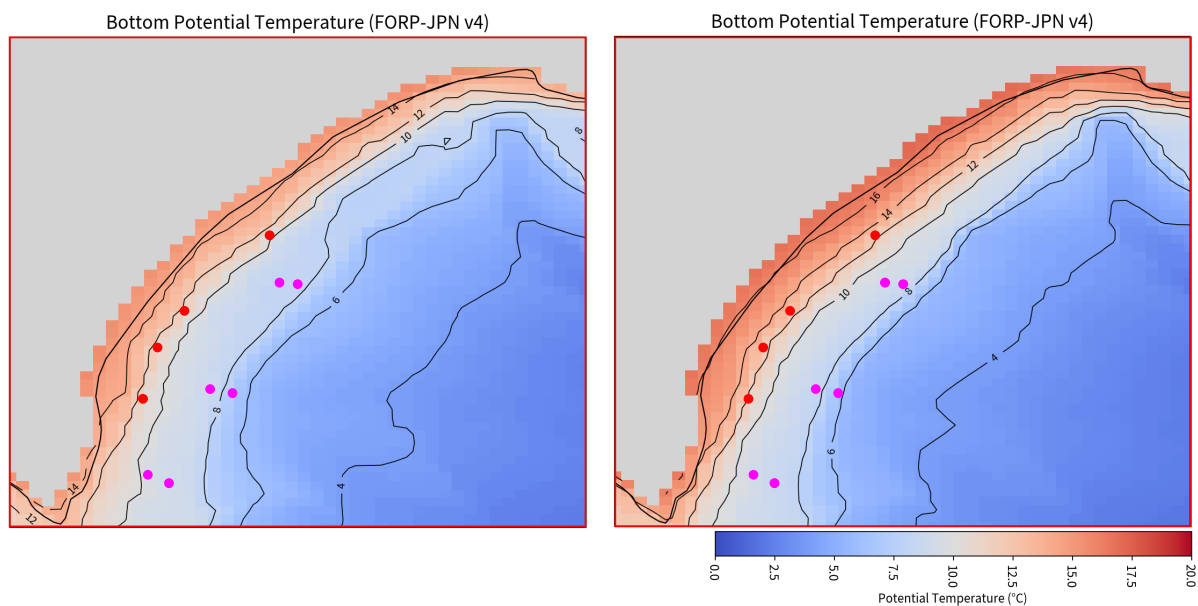


図 f-1-5 1996 年 (Historical)、2045 年 (RCP8.5) の道東海域の底層水温の分布

以上より、道東海域における 2045 年の底層水温は、水深 50m、水深 100m 帯では、2023 年よりも低下するとみられる。一方で、1996 年と比べると、2045 年の底層水温は上昇傾向にあることから、安全側でみると、水深 100m 以浅（70-80m）までは水温上昇と想定することが望ましい。

3) 漁場整備によって発現する効果の定量化

道東海域の水深 100m 帯の魚礁とその周辺でスケトウダラ 0 歳魚の蛸集が確認された 2023 年に襟裳や広尾の水深 100m 帯の魚礁区で採捕したスケトウダラ 0 歳魚の平均体長および体重は、対照区のものより大きく、肥満度についても、魚礁区の方が対照区よりも高いことも確認された（図 f-1-6）。このことより、魚礁区の餌料環境は、対照区よりも良好で増殖（増肉）効果を有する可能性が示唆された。

ただし、水深 100m 帯における増殖（増肉）効果を支持する事例は 1 例のみとなるため、蓋然性を高める必要がある。また、増肉効果を検討するための、スケトウダラ 0 歳魚の滞留期間や餌料量等の各パラメータについても収集・整理する必要がある。

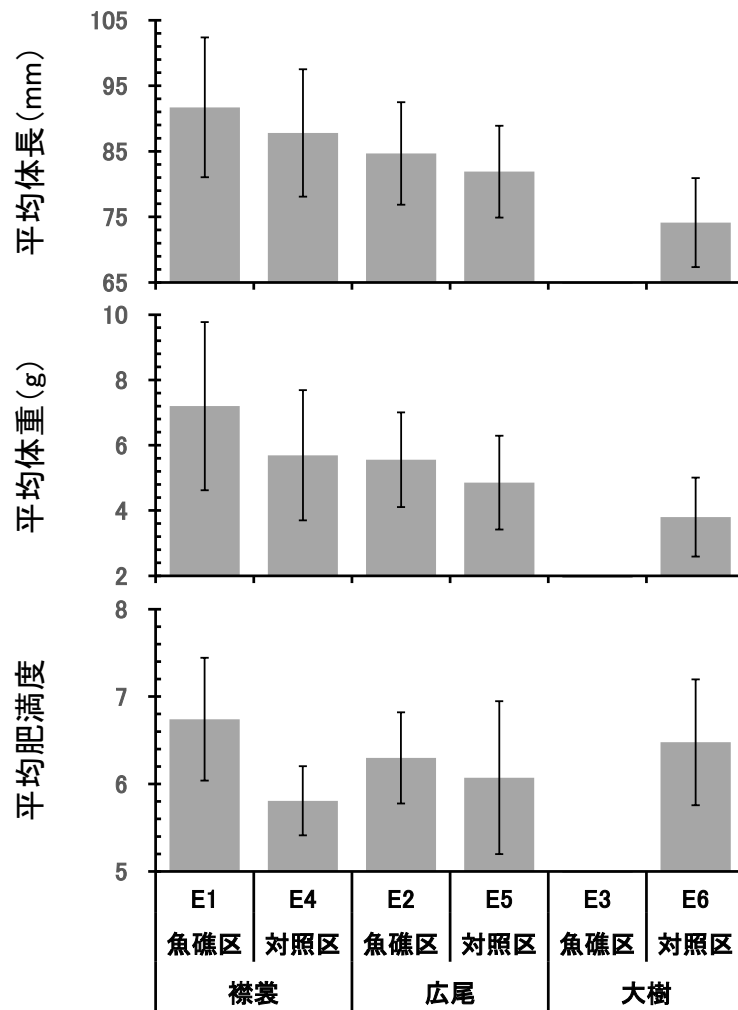


図 f-1-6 水深 100m 帯における魚礁区と対照のスケトウダラ 0 歳魚の比較 (2023 年)

1.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等

1) 浮魚礁の保護、増殖礁としてのメカニズムの解明

(1) 浮魚礁の増殖（増肉）効果

高知県沖浮魚礁で採捕したカツオの炭素・窒素安定同位体比を図 f-1-7 に示す。

既往知見によるカツオの三陸沖のツノナシオキアミや亜熱帯域の魚類マイクロネクトンのカツオの炭素・窒素安定同位体比を考慮すると、2020 年 6 月に採捕したカツオは、夏生まれ、三陸沖に来遊し、高知沖等で越冬したと考えられる。一方、2021 年、2022 年に採捕したカツオは、亜熱帯海域から来遊してきた個体群と考えられる。

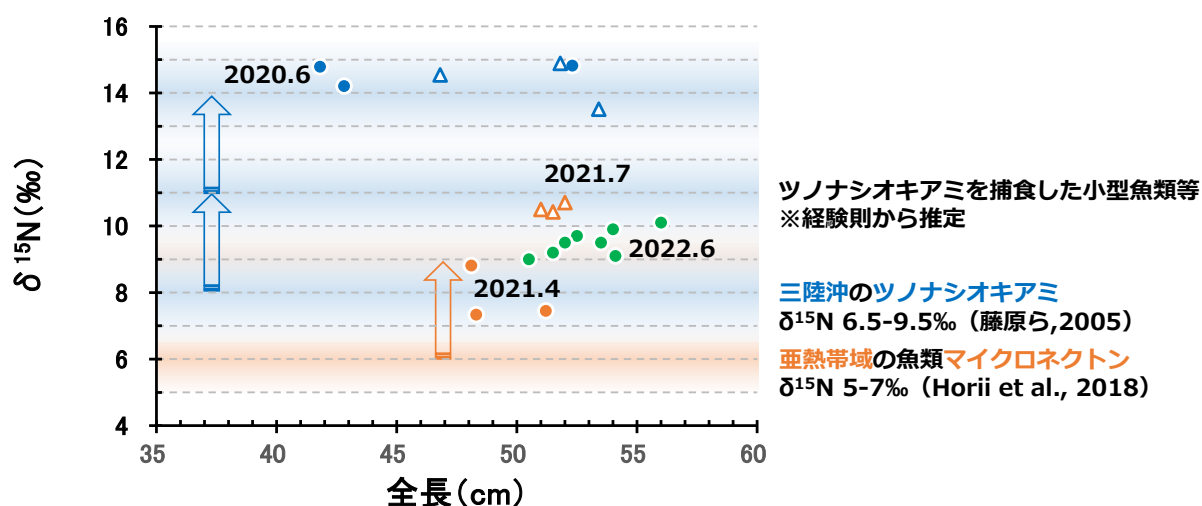


図 f-1-7 高知県沖浮魚礁におけるカツオの炭素・窒素安定同位体比

高知県沖浮魚礁（13 号）において採捕されたカツオの炭素・窒素安定同位体比を図 f-1-8 に示す。

2021 年 4 月から 7 月にかけてカツオの安定同位体比は、炭素・窒素ともに高くなった。この間にカツオの体サイズは、平均 2.3cm、130g 成長していた。また、2022 年 6 月に採捕されたカツオの安定同位体比は、体サイズが大きくなる程、炭素・窒素ともに高くなる傾向がみられた。なお、2021 年 4 月、2022 年 6 月に高知沖の浮魚礁で採捕されたカツオは亜熱帯海域から移動してきた個体群と考えられた（図 f-1-7）。

これらのことより、2021 年 7 月に高知沖の浮魚礁で採捕されたカツオは、浮魚礁やその周

辺で亜熱帯域に比べて窒素安定同位体比が高い餌料を利用し、成長したと考えられる。このように、炭素・窒素安定同位体比を指標にみると、高知県沖浮魚礁におけるカツオの摂餌や増肉が間接的に示唆された。ただし、カツオの胃内容物中には、未消化物が多く、直接的に浮魚礁周辺の餌料生物について把握されていないことが浮魚礁の増殖メカニズムを明らかにするうえでの課題の一つである。

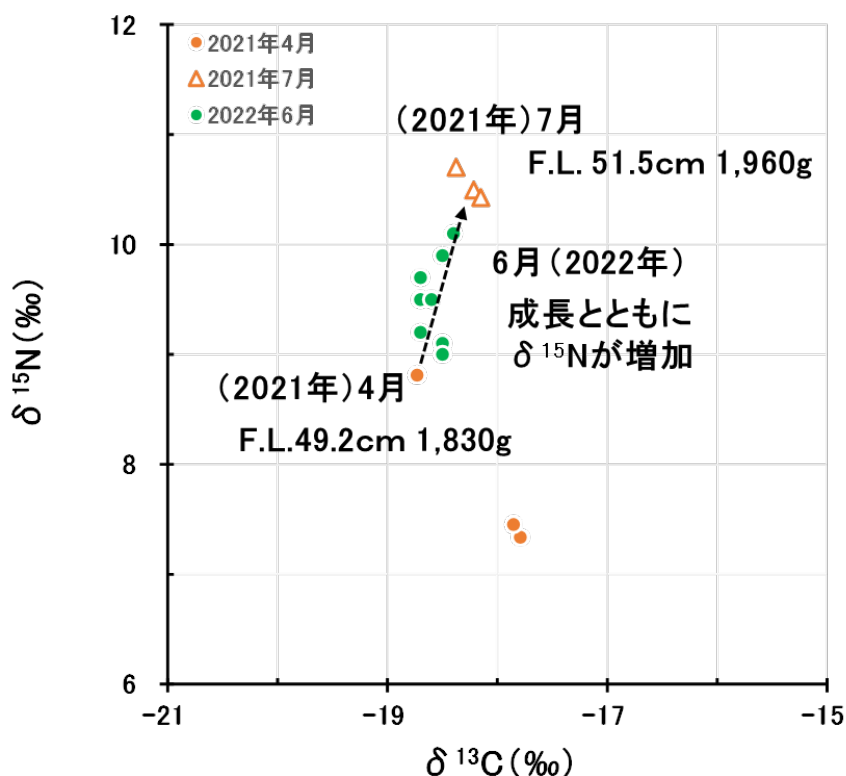


図 f-1-8 13 号におけるカツオの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の変化

計量魚探調査により把握されたカツオ、動物プランクトン、仔稚魚および小型魚類の分布を図 f-1-9 に、また、これを基に整理した浮魚礁からの距離別の密度を図 f-1-10 に示す。

カツオの密度は、浮魚礁から 200m までの範囲で多く、 $3.5\text{g}/\text{m}^2$ であった。

動物プランクトンに密度は、カツオと同様に浮魚礁近傍で高く、500m 以遠での変化は小さかった。仔稚魚の密度は、浮魚礁から 1,000m までの範囲で増加傾向を示した。小型魚類の密度は、浮魚礁近傍では低く、浮魚礁から 500m 以遠で増加し、3,000m では $0.012\text{g}/\text{m}^2$ であった。なお、沈設魚礁におけるバイオテレメトリー調査では、マアジは日中に人工魚礁に滞留

し、夜間には魚礁から 3km 程度離れ、明け方には魚礁に移動するという行動が確認されている。

このことから、浮魚礁に近いほどカツオが多く蟄集し、周辺の仔稚魚を捕食した結果、浮魚礁から離れるほど仔稚魚の分布量が増えたと考えられる。このような浮魚礁とその周辺におけるカツオや餌料動物の面的な分布を捉えた結果はこの 1 例のみとなっていることが、浮魚礁の増殖効果のメカニズムを解明する上での課題である。

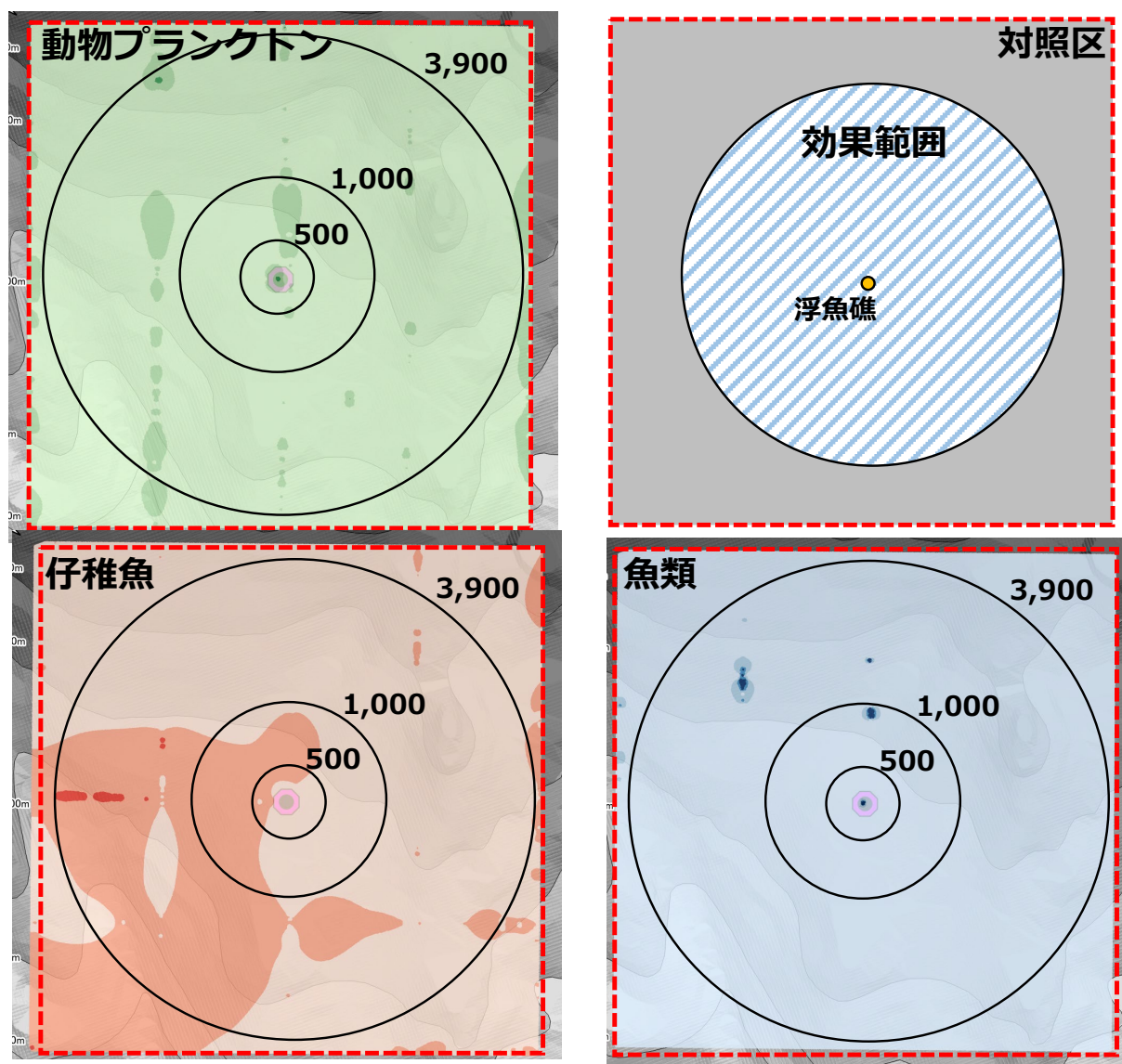


図 f-1-9 計量魚探調査による浮魚礁とその周辺におけるカツオと餌料生物の分布

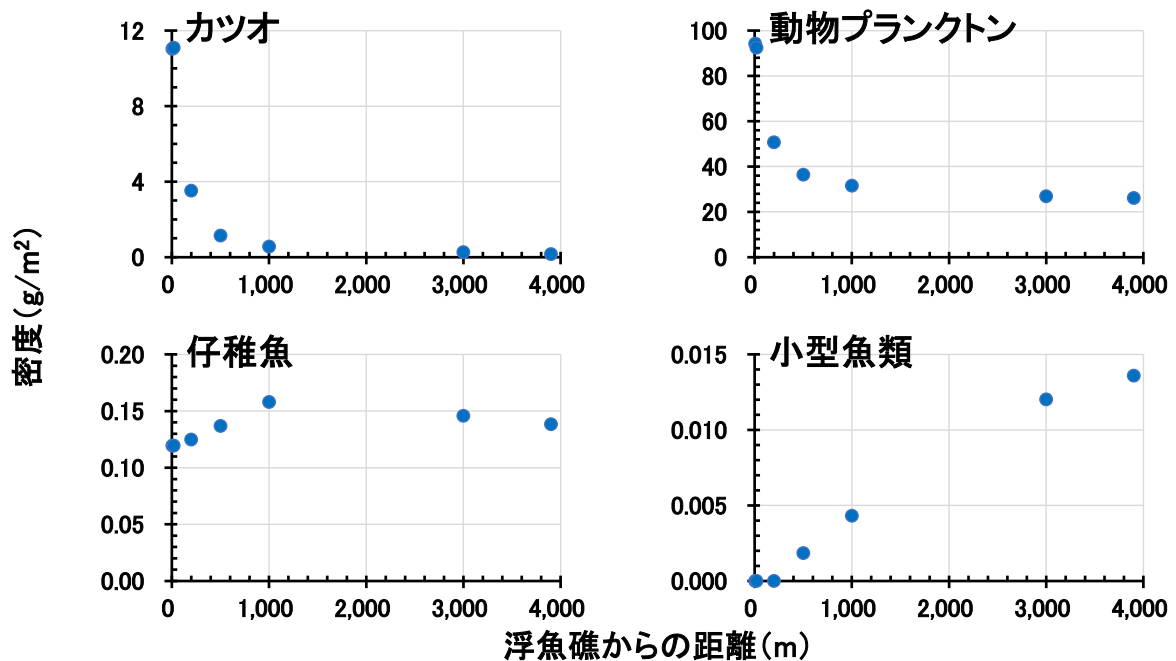


図 f-1-10 浮魚礁とその周辺におけるカツオと餌料生物の分布

高知県沖浮魚礁とその周辺におけるカツオの蟄集状況、滞留状況や餌料生物の分布、海域の特性等を踏まえ、次の A、B、C の 3 つの考え方にに基づき、5 通りの方法で増肉効果を試算した結果を以下に示す。

A. 浮魚礁周辺では流れの変化等により、餌料が集まり、効果範囲内の餌料量 $FE >$ 対照区の餌料量 FC となる : i

餌料現存量の差 ($FE - FC$) を出発点とし、年間餌料生産量の差から算定する年間増加体重の差を浮魚礁による増殖効果 (増肉) とする。

B. 浮魚礁効果範囲と対照区では餌料生物の分布に偏りはないものの、浮魚礁に滞留することとで良好な餌料環境下で効率的に摂餌することができる : ii、iii

対照区との餌料現存量の差 ($FC - FE$) は浮魚礁に滞留するカツオが捕食したと捉え、カツオ 1 尾の日間摂餌量から年間摂餌量を求め、年間増加体重を算定し、これを増殖効果 (増肉) とする。

C. カツオは浮魚礁では摂餌、成長するが、対照区では摂餌しないとする : iv、v

カツオの蛸集量または成長量から年間増加体重を算定し、これを増殖効果（増肉）とする。
ただし、この方法は浮魚礁と対照区の餌料量の差や成長の差のデータに基づいていない

i) 餌料量からの積み上げ

計量魚探調査により把握されたカツオの分布範囲：浮魚礁から 3,900m までを浮魚礁による効果範囲として、そこに蛸集する餌料生物量を積み上げた。浮魚礁周辺では流れの変化が生じることで、カツオの餌料等が集積、増加すると仮定した。

効果範囲と対照区におけるカツオおよび餌料生物の現存量、対照区との差を表 f-1-3 に示す。

表 f-1-3 効果範囲と対照区におけるカツオおよび餌料生物の現存量、対照区との差

(単位：kg)

	カツオ	小型魚類	仔稚魚	動物プランクトン
R3900m 内の現存量	7,981	650	6,615	1,249,274
同面積の対照区の現存量	0	584	6,077	1,155,697
効果範囲と対照区との差	+ 7,981	+ 66	+ 538	+ 93,577

浮魚礁による餌料供給（対照区との差）による、カツオの増加重量を下記の手順で算定した。

① 浮魚礁 1 基当たりの増加餌料動物現存量

小型魚類 66kg + 仔稚魚 538kg = 604kg = 0.6 トン

② 浮魚礁 1 基当たりの年間増加餌料動物生産量

① × 回転率 (365) × 利用率 (0.09) = 19.7 トン

回転率：遊泳力に乏しい稚仔魚は流れに移送されるため、毎日更新されると考えた。

利用率：カツオの日間摂餌率は 7.3%とされている。浮魚礁海域において日々、餌料現存量の 9%にあたる 583 kgの餌料生物が捕食されている。

③ 浮魚礁 1 基当たりのカツオの年間増加魚体重

② × 餌料転換効率 (0.128) = 2.5 トン

ii) 摂餌量からの積み上げ①

バイオテレメトリー調査においてカツオが滞留中に遊泳した範囲：浮魚礁から 200m までを浮魚礁による効果範囲（カツオの蛸集）とした。カツオが利用する餌料量の算定においては、下記に示す 2 つを仮定した。

仮定①：効果範囲と対照区で餌料の量は同じとする

仮定②：対照区との差分（小型魚類、仔稚魚）をカツオが浮魚礁への滞留期間中に摂餌した

効果範囲と対照区におけるカツオおよび餌料生物の現存量、対照区との差を表 f-1-4 に示す。

表 f-1-4 効果範囲と対照区におけるカツオおよび餌料生物の現存量、対照区との差

(単位：kg)

	カツオ	小型魚類	仔稚魚	動物プランクトン
R200m 内の現存量	443	0	16	6,371
同面積の対照区の現存量	15	2	17	3,217
効果範囲と対照区との差	428	1.669	1.357	

浮魚礁における摂餌量から、カツオの年間増加重量を下記の手順で算定した。

① カツオの滞留期間中に利用された餌料動物現存量

$$\text{小型魚類 } 1.67\text{kg} + \text{仔稚魚 } 1.36\text{kg} = 3.0\text{kg}$$

② ①の餌料を摂餌したカツオの尾数

$$428 \text{ kg} \div 2.4 \text{ kg/尾} = 178 \text{ 尾}$$

③ カツオ 1 尾が 1 日に利用する餌料の重量

$$\text{①} \div \text{②} = 3.0 \div 178 \times 10^3 = 16.8 \text{ g/日/尾}$$

④ 浮魚礁 1 基当たりで 1 年間にカツオが利用する餌料の重量

$$\text{③} \times \text{年間蛸集尾数} \times \text{滞留期間} = 16.8 \times 401500 \times 4 \text{ 日} \div 10^6 = 26.9 \text{ トン/年/基}$$

⑤ 浮魚礁 1 基当たりのカツオの年間増加魚体重

$$\text{④} \times \text{餌料転換効率 (0.128)} = 3.4 \text{ トン}$$

iii) 摂餌量からの積み上げ②

佐渡島の高層魚礁におけるバイオテレメトリー調査では、マアジは構造物から 3,000m の範囲を利用していたことから、浮魚礁から 3,000m までの範囲を浮魚礁による小型魚類の蜆集効果の範囲とした。また、ii) と同様の仮定を設定した。

効果範囲と対照区における餌料生物の現存量、対照区との差を表 f-1-5 に示す。

表 f-1-5 効果範囲と対照区における餌料生物の現存量、対照区との差

	小型魚類
R3,000m 内の現存量	339.9
同面積の対照区の現存量	402.4
推定される摂餌量	62.5

浮魚礁における摂餌量から、カツオの年間増加重量を下記の手順で算定した。

① カツオの滞留期間中に利用された餌料動物現存量

$$\text{小型魚類 } 402.4\text{kg} - \text{小型魚類 } 339.9\text{kg} = 62.5\text{kg}$$

遊泳力を有する小型魚類は、カツオの滞留期間中に同じ個体群が滞留すると考える。

② ①の餌料を摂餌したカツオの尾数

$$443.5 \text{ kg} \div 2.4 \text{ kg/尾} = 185 \text{ 尾}$$

③ カツオ 1 尾が 1 日に利用する餌料の重量

$$\text{①} \div \text{滞留期間} \div \text{②} = 63 \div 4 \div 185 \times 10^3 = 84.5 \text{ g/日/尾}$$

④ 浮魚礁 1 基における蜆集漁獲量

$$251.4 \text{ トン/年/基}$$

⑤ 漁獲効率

$$0.313$$

⑥ 浮魚礁 1 基の年間蜆集量

$$\text{④} \div \text{⑤} = 803 \text{ トン/年/基}$$

⑦ 浮魚礁 1 基当たりで 1 年間にカツオが利用する餌料量

$$\text{③} \times \text{⑥} \div 2.4 \text{ kg/尾} \times \text{滞留期間 } 4 \text{ 日} = 113 \text{ トン/年/基}$$

⑧ 浮魚礁 1 基当たりのカツオの年間増加魚体重

$$\text{⑦} \times \text{餌料転換効率 (0.128)} = 14.5 \text{ トン}$$

iv) 漁獲量からの積み上げ

参考として、浮魚礁におけるカツオの漁獲量から資源量を推定し、日間摂餌率から年間の摂餌量を算定した。本手法における前提条件および仮定は下記のとおりである。

前提条件：浮魚礁に蛸集したカツオは4日間の滞留中に摂餌、成長する。

仮定：カツオは浮魚礁では摂餌、成長するが、対照区では摂餌しないとする。

浮魚礁における漁獲量から、カツオの年間増加重量を下記の手順で算定した。

① 浮魚礁1基における蛸集漁獲量

251.4 トン/年/基

② 漁獲効率

0.313

③ 浮魚礁1基の年間蛸集量

① ÷ ② = 803 トン/年/基

④ 滞留期間

4 日/基

⑤ 浮魚礁1基における1滞留期間中の蛸集量

③ × ④ / 365 = 8.8 トン/日/基

⑥ カツオの日間摂餌率（1日に食べる餌の重量/カツオ1尾の重量）

7.3%

⑦ 浮魚礁1基当たりにおけるカツオによる年間の摂餌量

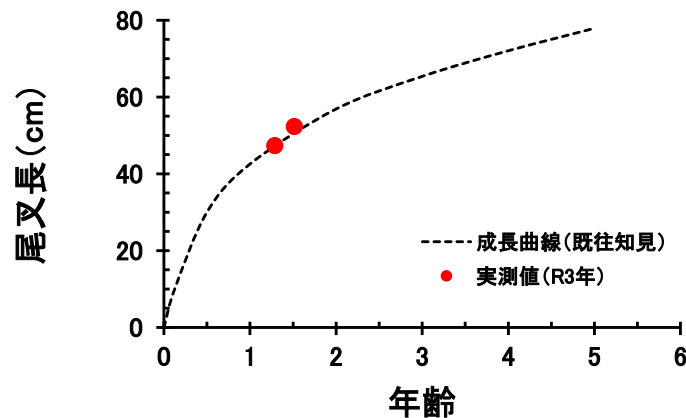
⑤ × ⑥ × 365 = 234 トン/年/基

⑧ 浮魚礁1基当たりのカツオの年間増加魚体重

⑥ × 餌料転換効率 (0.128) = 29.9 トン

v) 成長量からの積み上げ

参考として、浮魚礁におけるカツオの成長量から年間の増重量を算定した。なお、高知県沖浮魚礁におけるカツオの成長は、概ね既往知見の成長曲線と一致していた（図 f-1-11）。前提条件および仮定については、iv) のものと同様とした。



※成長曲線：「令和2年度 国際漁業資源の現況 カツオ 中西部太平洋（国際水産資源研究所，2021）」を元に作成

※2 実測値：R3年4月、7月に採集したカツオは冬生まれと考えられることから、R2年1月1日生まれと仮定

図 f-1-11 既往知見によるカツオの成長曲線と高知県沖浮魚礁で採集したカツオ(実測値)

浮魚礁における成長量から、カツオの年間増加重量を下記の手順で算定した。

- ① カツオ1尾の増重量(R3年4月 1,681g, 7月 2,354g)

$$667\text{g} \div 100\text{日} = 6.67\text{ g/日/尾}$$

- ② 浮魚礁における滞留期間

$$4\text{日/基}$$

- ③ 浮魚礁滞留期間中の1尾あたり増加重量

$$\text{①} \times \text{②} = 26.8\text{ g/4日/尾}$$

- ④ 浮魚礁における年間蛸集量

$$803\text{ トン}$$

- ⑤ 浮魚礁への来遊回数

$$365\text{日/②} = 91\text{ 回/基/年}$$

⑥ 1 来遊当たり魚群量

$$\textcircled{4}/\textcircled{5} = 8.8 \text{ t/年/基}$$

⑦ 1 来遊当たり尾数

$$\textcircled{6}/2.4 \text{ kg/尾} = 3,700 \text{ 尾/年/基}$$

⑤ 浮魚礁 1 基当たりのカツオの年間増加魚体重

$$\textcircled{3} \times \textcircled{7} \times \textcircled{5} = 8.9 \text{ t}$$

●高知沖浮魚礁における餌場効果の便益の試算

高知県沖に整備されている浮魚礁についての費用対効果分析を参照し（表 f-1-6）、i）－v）において算定した浮魚礁によるカツオの増肉にかかる便益を試算した。表中の網掛け部の漁獲量にかかる部分に増肉量を代入し、漁獲機会の増大効果および漁業外産業への効果を浮魚礁による餌場効果として試算した。増肉量の算定方法ごとの便益試算結果を表 f-1-7 に示す。

表 f-1-6 高知県沖の浮魚礁についての費用対効果分析

効果項目	年間増重量	年間便益額	数量	備考
水産物生産コストの削減効果	労働時間の削減	漁場探索時間の削減(千円/年)	2,782	
		空出漁による労働時間の削減(千円/年)	2,088	漁海況システムのあるブイのみ
	燃料費の削減	漁場探索時間の削減(千円/年)	3,340	
		空出漁による削減(千円/年)	2,505	漁海況システムのあるブイのみ
漁獲機会の増大効果	1 基当たりの漁獲量	(トン)	45.8	H21-30 年度,15 基平均
	単価	(円/kg)	419	H29 高知農林統計
	1 基当たりの漁獲金額	(千円)	19,190	
	漁労所得率	(%)	32.50	H29 農林水産統計
	1 基あたり年間便益額	(千円/年)	6,237	
漁業外産業への効果	1 基あたり漁獲量	(トン)	45.8	H21-30 年度,15 基平均
	単価差	(円/kg)	773	H29 東京都築地市場年報
	県外流通率	(%)	93.84	農林水産統計
	所得率	(%)	31.8	H29 総務省,卸売業・小売業
	1 基あたり年間便益額	(千円/年)	10,565	
(漁獲増に関する)年間便益額		(千円/年)	16,802	水産物生産コスト削減効果除く

表 f-1-7 浮魚礁におけるカツオの増肉量の算定方法別の便益試算結果

算定方法	年間増重量	留意事項
餌料量 からの積み上げ	2.5 トン	※浮魚礁で餌が増殖することを想定した方法 ・R4調査時における浮魚礁周辺(カツオの分布がみられた3,900mまで)の小型魚類、仔稚魚の対照区との差を基に算定
摂餌量 からの積み上げ①	3.4 トン	※カツオの餌料は一樣に分布し、浮魚礁に滞留することで効率的に摂餌できると想定した方法(以下同様) ・浮魚礁周辺(カツオの分布が特に多い200mまで)と対照区との差をカツオが利用したと仮定して算定
摂餌量 からの積み上げ②	14.5 トン	・浮魚礁周辺(小型魚類の蜻集範囲を3,000mまでと想定)と対照区との差をカツオが利用したと仮定して算定
(参考) 漁獲量 からの積み上げ	29.9 トン	※現地調査による餌料のデータを用いていない ・漁獲したカツオが浮魚礁への滞留中に摂餌する量をスマの日間摂餌量から算定
(参考) 成長速度 からの推定	8.9 トン	※現地調査による餌料のデータを用いていない ・漁獲したカツオが浮魚礁への滞留中に摂餌する量を成長速度から算定

(2) 浮魚礁の増殖（産卵場）効果

高知県沖浮魚礁で採捕したカツオの GI と浮魚礁における水温の季節変化を図 f-1-12 に示す。

カツオの産卵海域の表面水温 24-25℃以上であり、熱帯、亜熱帯域では周年産卵するが、日本近海では夏季に限定されると報じられている。高知県沖浮魚礁における、7-10 月の表面水温は 25 度以上であり、カツオの産卵海域の水温条件を満たしている。

高知県沖では、芦田ら（2007）の調査において、GI 2-3 の個体の約 6 割が成熟していたことから、GI 2 以上を成熟個体とみなしている。高知沖浮魚礁では、GI 2 以上となる個体は 7-8 月に漁獲されており、その平均尾叉長は 7 月が 51.1cm、8 月が 57.9cm である。

このような水温環境とカツオの成熟状況から、高知県沖の浮魚礁整備海域では、7 月、8 月はカツオの産卵期になっている可能性がある。ただし、吸水卵をもったカツオは確認されておらず、浮魚礁の増殖（産卵場）効果を示すうえでは、組織学的なエビデンスに欠けていることが課題である。

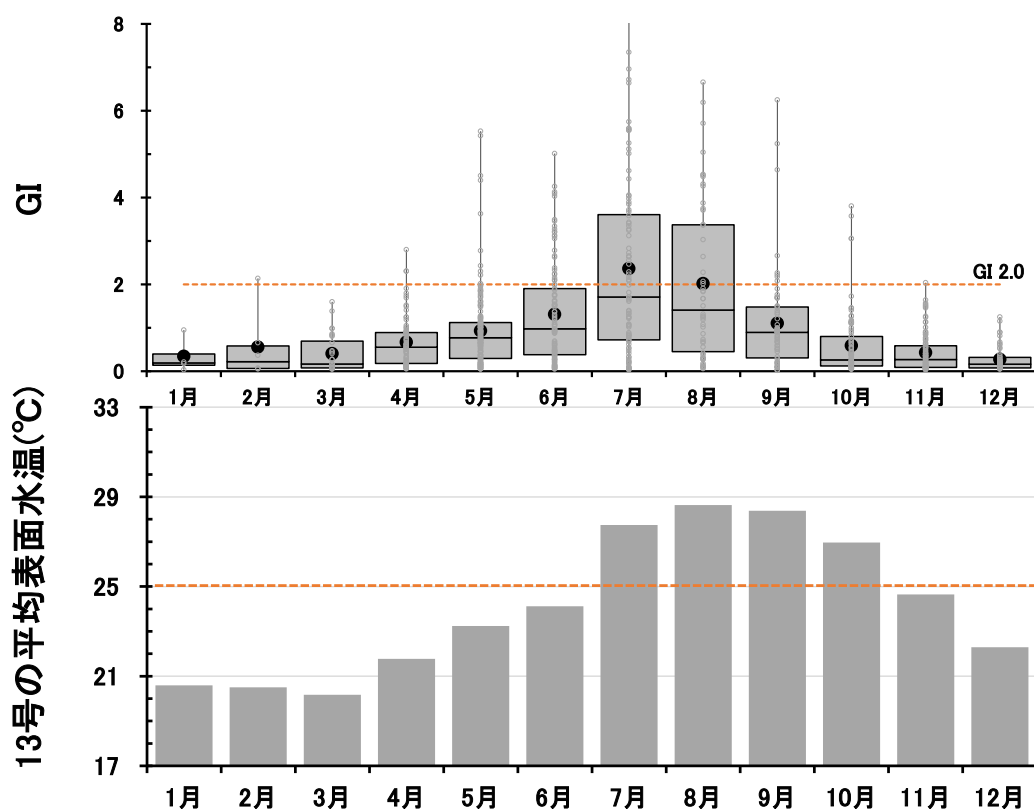


図 f-1-12 高知沖浮魚礁における水温とカツオ GI の季節変化

●浮魚礁における産卵効果の推定

浮魚礁におけるカツオの産卵効果を下図の流れで算定した。

産卵期の浮魚礁へのカツオ蛸集量に産卵親魚率を乗じて、産卵親魚蛸集量を推定した。産卵親魚率は、「体長組成から推定した産卵親魚の割合」と「日本近海における資源量に占める産卵親魚量の割合」の2通りを用い、双方の親魚由来の加入量と期待漁獲量を算定した。

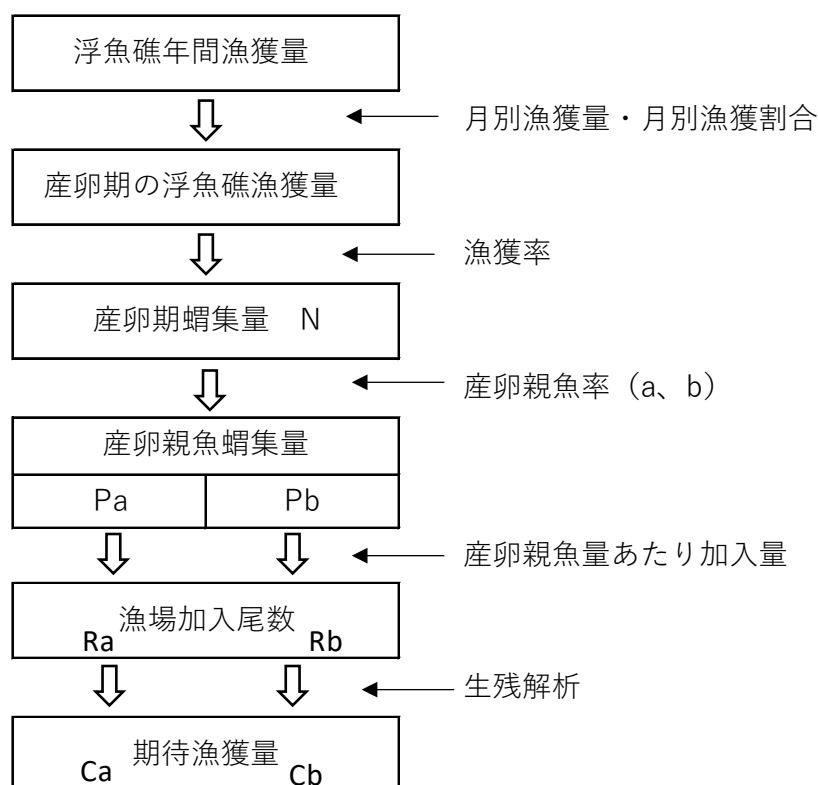


図 f-1-13 浮魚礁における産卵効果の算定フロー

i) 産卵期蛸集量

高知沖の13号浮魚礁に蛸集する産卵親魚量を次の通り求めた。

計量魚探による調査結果と漁獲量からの推計結果から、13号浮魚礁における年間蛸集量と765 tとした(再掲)。

生殖腺の成熟状況から当海域のカツオ産卵期は7-8月と考えられる。この間の漁獲量は年間漁獲量の21%(2016-2021 平均値)であり、蛸集量と漁獲量が比例関係にあるとすれば、

7-8 月の浮魚礁への蛸集量は 160 t と推定される。

$$\begin{aligned}\text{産卵期蛸集量} &= \text{年間蛸集量} \times \text{産卵期漁獲割合} \\ &= 765 \text{ t} \times 0.21 \\ &= 160 \text{ t}\end{aligned}$$

ii) 産卵親魚蛸集量

●手法 a 体長組成からの推定

7-8 月に高知沖浮魚礁で漁獲したカツオ成熟個体の平均尾叉長は 51cm であった。51cm 以上を成熟個体として、7-8 月の浮魚礁漁獲量に占める成熟魚の割合を算出すると 47%であった。

これより、浮魚礁に蛸集する産卵親魚量は 75 t と推定される。

$$\begin{aligned}\text{産卵親魚蛸集量 (Pa)} &= \text{産卵期蛸集量} \times \text{産卵親魚割合} \\ &= 160 \text{ t} \times 0.47 \\ &= 75 \text{ t}\end{aligned}$$

●手法 b 資源量あたり産卵親魚量からの推定

WCPFC(中西部太平洋まぐろ類委員会) 科学小委員会の SPC(太平洋共同体事務局) 専門家グループの資源評価によれば、2016 年-2021 年の日本近海における資源量あたり産卵親魚量の平均は 0.73 であった 1)。これより、産卵期の高知沖 13 号浮魚礁に蛸集した産卵親魚量は 116 t と推定される。

$$\begin{aligned}\text{産卵親魚蛸集量 (Pb)} &= \text{産卵期蛸集量} \times \text{資源量あたり産卵親魚量} \\ &= 160 \text{ t} \times 0.73 \\ &= 116 \text{ t}\end{aligned}$$

iii) 漁場加入尾数

WCPFC 科学小委員会の SPC 専門家グループの資源評価によれば、2016 年-2020 年の日本近海における産卵親魚量 1 t あたりの平均加入尾数は 519 尾であった 1)。この尾数はカツオが回遊しながら 1 年間に産んだ全ての卵から生産されたものである。ここでは、1 時期を過ごした浮魚礁滞留中に産んだ卵に由来する加入尾数を基に計算を進めることになる。

カツオの産卵間隔は 2 日とされており、浮魚礁に滞留する 4 日間 17) の産卵回数は 2 回である。一方でこれまでの研究ではカツオ 1 個体の産卵回数は分かっていない。ここでは 1 個体の産卵期間を 2 カ月として（高知沖の 7-8 月）、産卵回数を 30 回とした。

以上より、浮魚礁における産卵数を総産卵数の 1/15 と考え、体長組成より求めた浮魚礁産卵親魚量 75 t から生産される浮魚礁由来の加入尾数を 2,500 尾とした。

また、資源量あたり産卵親魚比率より求めた産卵親魚量 116 t から生産される加入尾数を 4,000 尾とした。

$$\begin{aligned}\text{加入尾数 (Ra)} &= \text{産卵親魚量 Pa} \times \text{産卵親魚量 1 t あたり加入尾数} \times \text{期間率} \\ &= 75 \text{ t} \times 519 \text{ 尾/t} \times 1/15 = 2,500 \text{ 尾}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{加入尾数 (Rb)} &= \text{産卵親魚量 Pb} \times \text{産卵親魚量 1 t あたり加入尾数} \times \text{期間率} \\ &= 116 \text{ t} \times 519 \text{ 尾/t} \times 1/15 = 4,000 \text{ 尾}\end{aligned}$$

iv) 期待漁獲量

●手法 a 体長組成からの推定

高知沖 13 号浮魚礁におけるカツオの産卵により、2,500 尾が漁業資源として加入し、その期待漁獲量は 6.0 t と推定される。

解析に用いた資源特性値及び諸元は以下の通りである。

表 f-1-8 カツオの資源特性値

カツオ		未成魚	成魚	備考
全減少係数	Z	0.54	0.75	$Z = M + F$
自然死亡係数	M	0.25	0.25	田中の方法 $M=2.5/\text{最高年齢}$
漁獲係数	F	0.29	0.50	令和4年度国際漁業資源の現況 (2017-2021年平均値)
生残率	S	0.583	0.472	$S = \exp(-Z)$
全減少率	1-S	0.417	0.528	
自然死亡率	D	0.193	0.176	$D = (1-S)M/Z$
漁獲率	E	0.224	0.352	$E = (1-S)F/Z$
漁獲前自然死亡率	D'	0.221		$D' = 1 - \exp(-M)$

表 f-1-9 生残解析における計算諸元

	尾叉長	年齢	
加入魚	30cm	0.5歳	
生物学的最小形	51cm	1.5歳	
	漁獲年齢	平均年齢	平均体重
未成魚	1.0-1.5	1.25	2,199
成魚	1.5-2.0	1.75	4,393
	2.0-3.0	2.5	6,393
	3.0-4.0	3.5	8,159
	4.0-5.0	4.5	10,240

日本近海には尾叉長 30cm 台後半以上のカツオが来遊する¹⁾。20cm 程の小型個体も稀に漁獲されるが資源評価の加入量モデルでは稚魚や小型個体を含まない 33cm までを加入魚としていることから¹⁸⁾、ここでは加入魚のサイズを尾叉長 30cm に設定した。

漁獲対象となるのは主に尾叉長 40cm、年齢にして 1 歳弱からであり、ここまでは漁獲による間引きは殆どなく、減耗の全ては自然死亡と考える（漁獲前自然死亡）。

満 1 歳になるとほぼ完全な漁獲対象となるが、1.5 歳までの未成魚期とそれ以降の成魚期では漁獲率が異なる。

表 f-1-10 高知沖 13 号浮魚礁におけるカツオの産卵効果

年齢	体重 g	期首資源 尾数	生残率	全減少尾数	自然死亡 尾数	漁獲尾数	漁獲重量 t
0.5-1.0	1,000	2,500	0.882	294	294	0	0
1.0-1.5	2,199	2,206	0.763	522	242	280	0.6
1.5-2.0	4,393	1,684	0.687	527	244	283	1.2
2.0-3.0	6,393	1,158	0.472	611	283	328	2.1
3.0-4.0	8,159	547	0.472	289	134	155	1.3
4.0-5.0	10,240	258	0.472	136	63	73	0.7
合計					1,259	1,119	6.0

●手法 b 資源量あたり産卵親魚量からの推定

生残解析の結果は加入尾数に比例することから、期待漁獲量は 9.6 t と推定される。

$$\text{期待漁獲量 } C_b = \text{期待漁獲量 } C_a \times \text{加入尾数 } R_b / \text{加入尾数 } R_a$$

$$= 6.0 \text{ t} \times 4,000 \text{ 尾} / 2,500 \text{ 尾}$$

$$= 9.6 \text{ t}$$

(3) 黒潮離接岸による高知県沖浮魚礁整備海域の生物生産への影響

高知県沖浮魚礁における黒潮接岸時と離岸時の基礎生産（植物プランクトン・動物プランクトン）の分布量を図 f-1-7 に示す。

海域の生物生産の基盤となる植物プランクトン、動物プランクトンは、いずれも黒潮の接岸時に比べ、離岸時（R2-4）において豊富であった。なお、熊野灘では、黒潮の大蛇行期では反流により、沿岸域が黒潮暖水系の影響を受けやすく、直進期では、沿岸系水に覆われやすくなる。その結果、大蛇行期では、動・植物プランクトン現存量が減少する（山田ら, 2007）。これらのことより、高知県沖の浮魚礁整備海域では、黒潮離岸時には、黒潮暖水系の影響が小さく、沿岸水が支配的となり、基礎生産が良好になると考えられる。

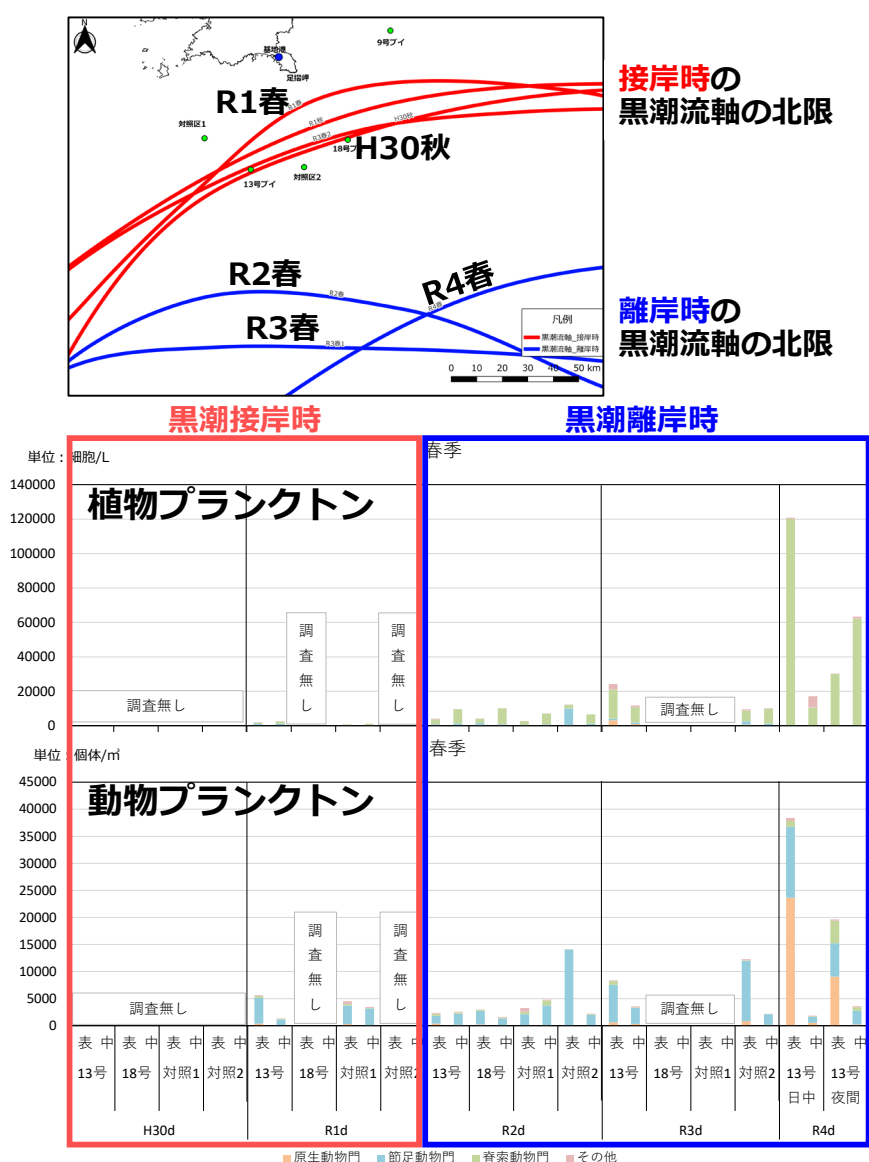


図 f-1-14 高知沖浮魚礁における黒潮接岸時と離岸時の基礎生産の分布量

黒潮の離接岸と高知沖浮魚礁の漁獲量の関係を図 f-1-15 に示す。

黒潮の離接岸と高知県沖浮魚礁における漁獲量には相関がみられ、特に沖側の浮魚礁では、黒潮流路の離岸時にカツオ漁獲量が増加する。

このように、黒潮の離接岸は高知県沖浮魚礁における基礎生産だけではなく、カツオの生産にも大きな影響を及ぼすと考えられる。浮魚礁の増殖メカニズムを精査する上でも、黒潮の離接岸や水温の変動についても把握する必要がある。

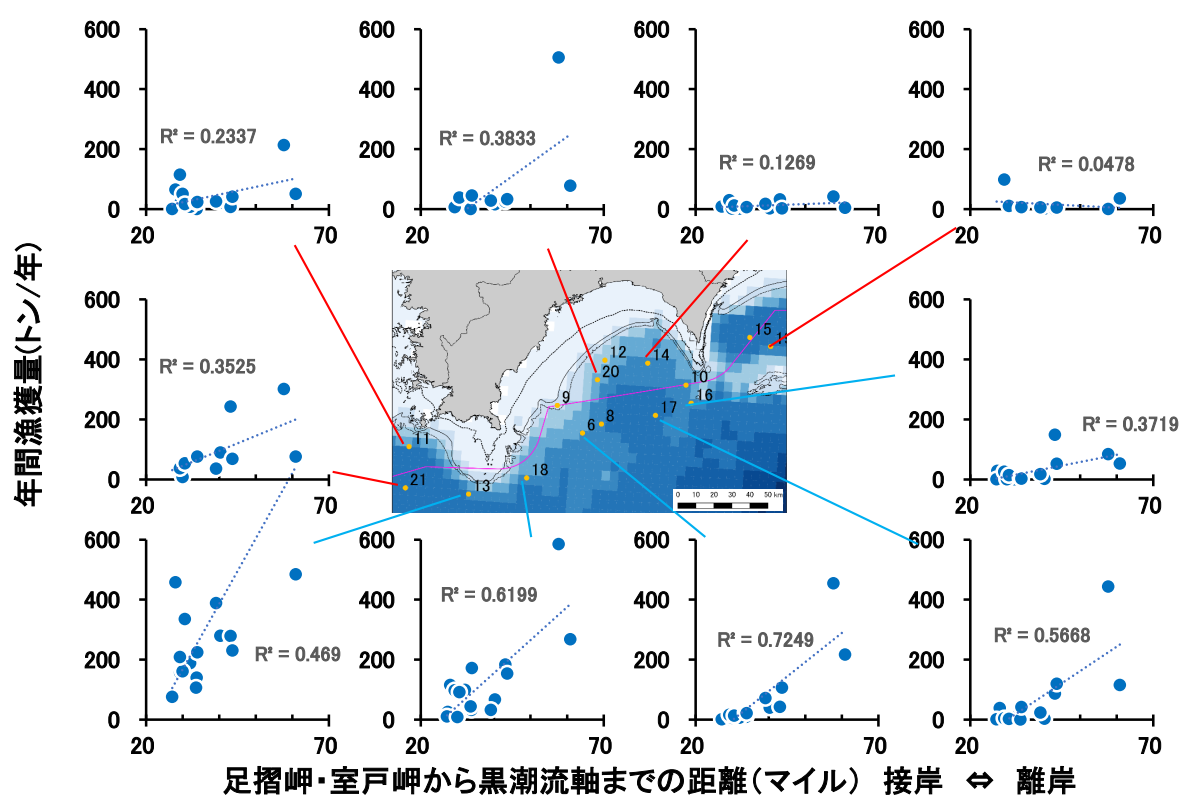
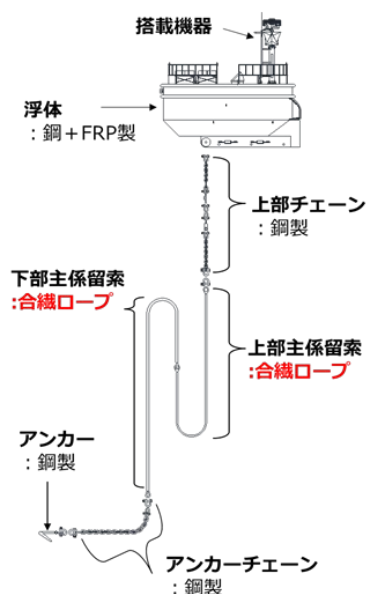


図 f-1-15 黒潮の離接岸と高知沖浮魚礁の漁獲量の関係

2) 長寿命化を含めた費用対効果分析に資するコスト縮減

対象とした 2 タイプの表層型浮魚礁（表層浮魚礁①：鋼 FRP 製浮体、合繊ロープ、表層浮魚礁②：鋼浮体、鋼製ロープ）の仕様と特徴を図 f-1-16 に示す。

表層浮魚礁①：鋼FRP浮体、合繊ロープ



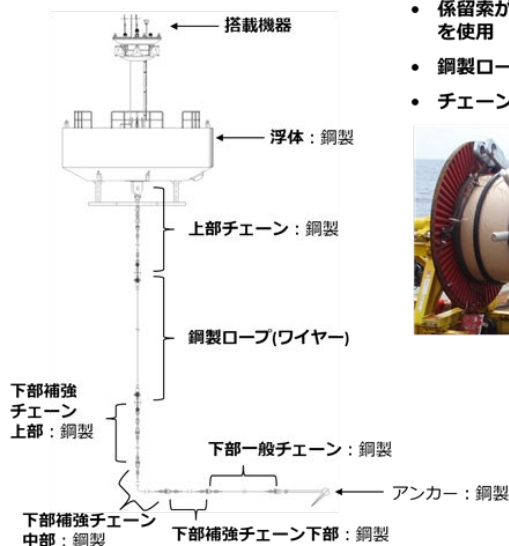
- 鋼製浮体を軽量且つ堅牢なFRPで被覆
- 係留索中部に軽量且つ超高強度の合繊ロープを使用
- 上部主係留索はワイヤーと樹脂で被覆(漁具対策)
- 特殊な船団を必要とせず、地元業者で施工(設置・撤去)が可能

合成繊維ロープは、軽く柔らかいのが特長。

切断に弱い、経年劣化する等のデメリットもあるが、浮体の軽量化・小型化、係留金具の摩耗抑制等の効果があり、経済性、施工性、安全性にメリット有り。



表層浮魚礁②：鋼浮体、鋼製ロープ



- 鋼製浮体
- 係留索が全て鋼製、中間部は鋼製ロープ(ワイヤー)を使用
- 鋼製ロープ(ワイヤー)は樹脂を被覆し、防食
- チェーンは部位に応じて規格を変更

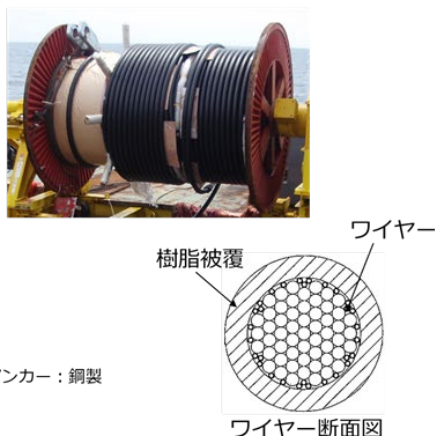


図 f-1-16 対象とした 2 タイプの表層浮魚礁の仕様と特長

(上：表層型浮魚礁①、下：表層型浮魚礁②)

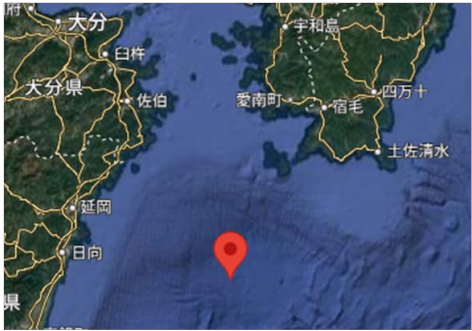
(1) 最新の技術的情報

表層型浮魚礁の長寿命化およびコスト縮減に関連する最新の技術的情報について聞き取ったところ、設置から 15 年が経過してから、撤去された表層浮魚礁①に関する情報が得られた。

① 浮魚礁の概要

15 年経過した表層浮魚礁①は、愛南漁業協同組合により愛媛県愛南町沖に 2010 年 1 月に設置、2025 年 3 月に撤去されたものである。撤去された浮魚礁の概要を表 f-1-11、図 f-1-17 に示す。

表 f-1-11 15 年経過した表層浮魚礁①の概要

【浮魚礁概要】		【設計条件】	
事業主体	愛南漁業協同組合	設置水深	1650m
魚礁名	えひめ1号	設計波(H1/3)	15.3m
設置日	2010年1月	波高周期	17.2s
回収日	2025年3月	風速	62.0m/s
経過年数	15年2カ月	流速(表層)	3.3kt
機種	A-1型表層浮魚礁	底質	軟泥
設置位置	愛媛県愛南町沖合 	供用年数	10年

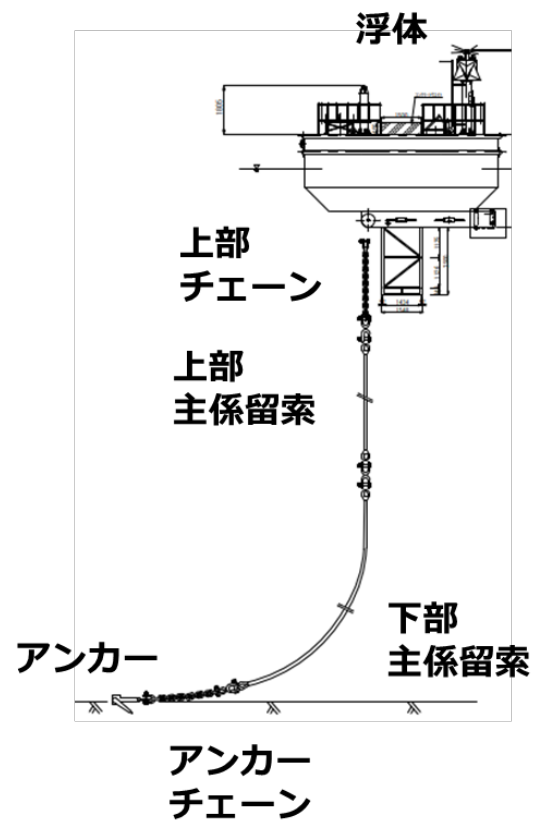


図 f-1-17 15 年経過した表層型浮魚礁の概要

② 撤去した浮体

浮体外観を調査した結果、回収作業時に発生したと考えられる損傷が散見されたのみで、構造的な問題は確認されず、搭載機器類も機能していた。事業主体にヒアリングしたところ、搭載機器類のメンテナンスは毎年おこなっており、消耗品の交換以外は大規模な修繕、交換作業等は行っていないとのことだった（図 f-1-18）。係留環の孔径は係留方向への摩耗が大きく、最大 6.1mm であった。想定摩耗量 18mm/10 年に対し、34%程度の摩耗量だった（図 f-1-19）。浮体内部については、側面に一部さび汚れが見られたが、その他異常は見られなかった（図 f-1-20）。



図 f-1-18 浮体外観（左：甲板、右：正面）



図 f-1-19 係留環（左：右舷外側、右：左舷外側）



図 f-1-20 浮体内部（左：底面、右：天井）

③ 撤去した係留システム

係留システムを調査した結果、鋼材類は 15 年運用されていても想定量(耐用年数 10 年分)まで摩耗していた部材は確認されなかった。アンカーチェーンの海底との接触部と想定される個所においても摩耗量は 1.9mm。想定摩耗量 20mm/10 年の 10%程度であった (表 f-1-12)。

表 f-1-12 係留システム鋼材類 摩耗量計測結果

係留金具類名称				規格値(初期値) (mm)	測定値 (mm)	差 (mm)	10年換算 摩耗量(mm)	10年間摩耗量 設計値(mm)
浮体	係留環		穴径	85	91.3	6.3	4.2	18
浮体連結部	軽量シャックル		U部外径	67	66.3	0.7	0.5	18
			ピン部外径	80	67.2	12.8	8.5	18
三角プレート上部	軽量シャックル		U部外径	67	68.2	0.0	0.0	18
			ピン部外径	80	-	-	-	18
三角プレート下部	軽量シャックル		U部外径	67	66.8	0.0	0.0	18
			ピン部外径	80	-	-	-	18
スィベル上部	軽量シャックル		U部外径	67	66.6	0.4	0.3	18
			ピン部外径	80	-	-	-	18
スィベル下部	軽量シャックル		U部外径	67	67.2	0.0	0.0	18
			ピン部外径	80	-	-	-	18
スィベル直下	上部チェーン	普通リンク	リンク径	48(48.5)	46.6	1.9	1.3	18
		拡大リンク	リンク径	52.8(55.0)	53.3	1.7	1.1	18
		特殊リンク	リンク径	58(59.1)	57.6	1.5	1.0	18
上部主係留索	深溝グランドコース		先端部長さ	176(176)	172.0	4.0	2.7	18
			厚さ	194(198)	191.0	7.0	4.7	18
下部主係留索上部	軽量シャックル		U部外径	78(77.2)	71.3	5.9	3.9	20
			ピン部外径	90(90.0)	88.2	1.8	1.2	20
下部主係留索	深溝グランドコース		先端部長さ	176(177)	168.0	9.0	6.0	20
			厚さ	194(200)	191.0	9.0	6.0	20
下部主係留索下部	軽量シャックル		U部外径	78(77.2)	71.3	5.9	3.9	20
			ピン部外径	90(90)	88.2	1.8	1.2	20
アンカーチェーン上部	軽量シャックル		U部外径	77(77)	-	-	-	20
			ピン部外径	90(90)	91.0	0.0	0.0	20
アンカーチェーン上部	アンカーチェーン	普通リンク	リンク径	60	58.7	1.3	0.9	20
8m付近	アンカーチェーン	普通リンク	リンク径	60	58.1	1.9	1.3	20
20m付近	アンカーチェーン	普通リンク	リンク径	60	59.7	0.3	0.2	20
アンカー連結	軽量シャックル		U部外径	77(77)	78.4	0.0	0.0	20
			ピン部外径	90(90)	89.8	0.2	0.1	20

※ 上部チェーン式の鋼材摩耗量を 18mm/10 年、これより下部の鋼材摩耗量を 20mm/10 年と想定し設計

上部チェーン及びアンカーチェーンについて、試験体を採取し(図 f-1-21)、残存強度を調査した結果、上部チェーンについては、初期強度(規格)1810kN、設計必要強度 734kN に対し、残存強度(破断)は 2200kN であった。これは設計時摩耗量を 18mm/10 年で想定し 734kN で検討していたが、2200kN の強度が残っていたことを示している。初期強度の 122%、設計強度の 300%を保持していた。アンカーチェーンについては、初期強度(規格)2770kN、設計必要強度 1280kN に対し、残存強度(破断)は 3560kN であった。これは設計時摩耗量を 20mm/10 年で想定し、1280kN で検討していたが、3560kN の強度が残っていたことを示している。初期強度(規格)の 129%、設計必要強度の 278%の強度を保持していた。(注：初期強度よりも残存強度が高い理由は、初期強度はメーカーによる規格値であり、破断強度ではないため)

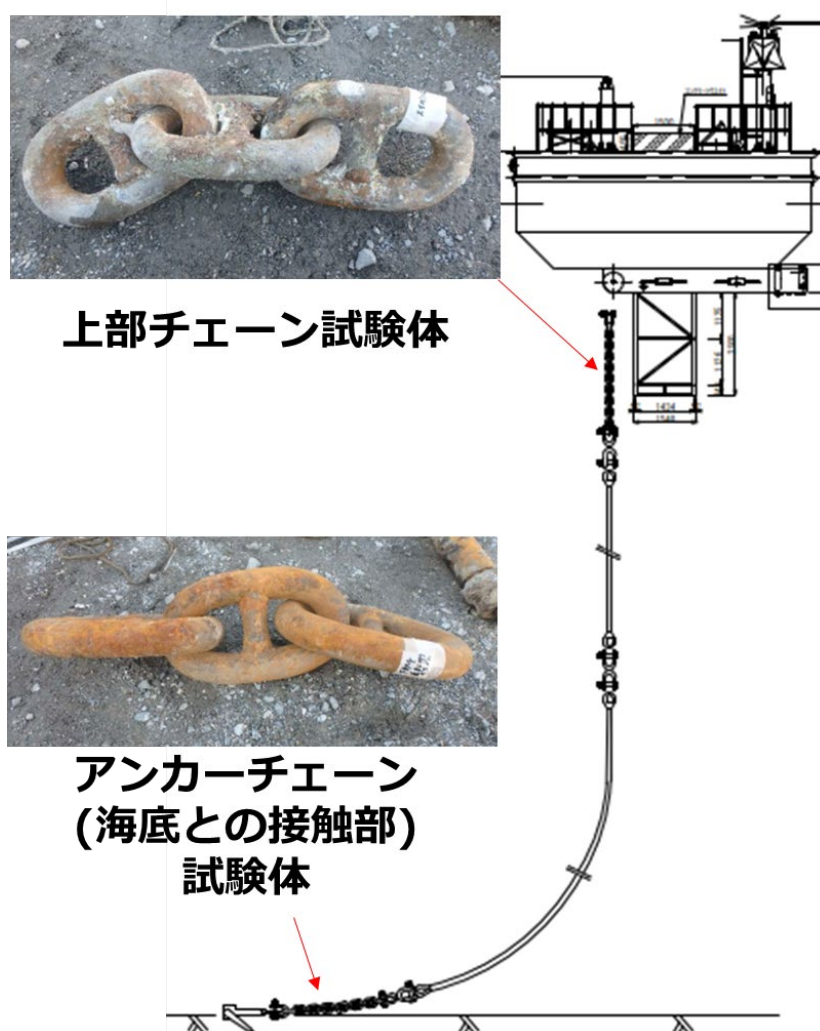


図 f-1-21 チェーン類残存強度調査か所

上部主係留索、下部主係留索で使用している合繊ロープについて、試験体を採取し(図7)、残存強度を調査した結果、上部主係留索については、初期強度(規格)1660kN、設計必要強度579kNに対し、残存強度(破断)1404kNであった。これは年間低減率を10%と想定し、供用年数10年では初期強度の35%まで低下するため、設計では579kNで検討していたが、1404kNの強度が残っていたことを示している。初期強度(規格)の85%、設計必要強度の242%の強度を保持していた。年間低減率は1.1%だった。下部主係留索については、初期強度(規格)1620kN、設計必要強度565kNに対し、残存強度(破断)1291kNであった。上部主係留索と同様に初期強度(規格)の35%まで低下するため、設計では565kNで検討していたが、1291kNの強度が残っていたことを示している。初期強度(規格)の80%、設計必要強度の228%の強度を保持していた。年間低減率は1.5%だった。

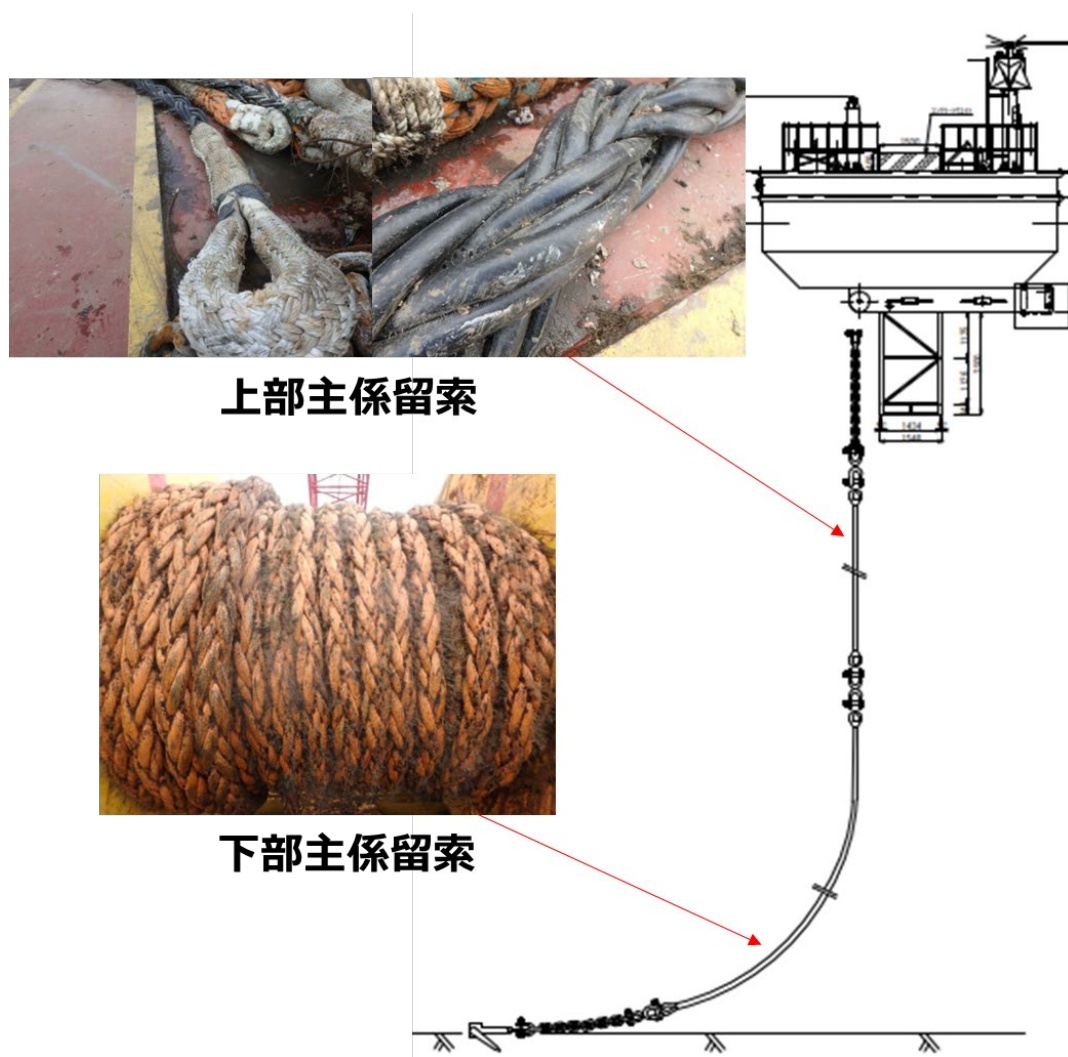


図 f-1-22 係留索残存強度調査か所

④ その他

その他、本浮魚礁は、浮体の振れ周り抑制のため、2010年1月の設置後、2011年4月と同年10-11月の計2回、浮体を係留系から取り外し、以下の改修作業を行っている。

【2011年4月】海上で浮体を起重機船甲板に引き揚げ、改修。上部チェーンを甲板に固定した状態で作業を実施。半日で作業は終了し、再設置。

【2011年10月】海上で浮体を起重機船甲板に引き揚げ、上部チェーンの三角プレート下シヤックルを切断。係留システムに仮ブイを連結し、設置。浮体を持ち帰り、岸壁で改修作業を実施。

【2011年11月】浮体を起重機船に積み込み現場海域へ。仮ブイを取り上げ、取り外し、再び浮体を連結して、再設置。

⑤ まとめ

- ・ 供用年数10年仕様の表層浮魚礁①が、15年間運用され回収された。
- ・ 浮体：外観および内部において構造的な問題は発生しておらず、係留環の摩耗も供用年数10年想定以上の摩耗代が残っていた。
- ・ 搭載機器類：毎年メンテナンスは行っていたものの、消耗品の交換以外は大規模な修繕、交換作業等を行っていなかったが、15年間運用できていた。
- ・ 係留システム：鋼材類の摩耗および係留索の残存強度（破断）の調査結果の全項目で、供用年数10年想定以上の摩耗代や強度が残されていることが確認された。
- ・ 浮体を2回船上に取り上げ、その内1回は浮体を完全に係留システムから切り離し、再び連結している。表層浮魚礁①について、このような作業が可能であること、並びに係留システムへの影響も軽微であったことが示された。

(2) コスト縮減の試算

上述の「15 年経過した表層浮魚礁①」や令和 5 年度の調査より、耐用年数満了後撤去された表層浮魚礁を調査した結果、係留システムにおいて、想定よりもロープ強度が低減していなかった（表層浮魚礁①）、あるいは鋼材の摩耗量が少ない部位があった（表層浮魚礁②）。そこで、これらの余力のあった部分について、従来の設計条件を変更した場合、どの程度コスト縮減に影響があるのか試算した。

① 検討条件

表層浮魚礁①は、ロープの年間強度低減率を現行(10%減/年)と 5%減にした場合の 2 ケース、表層浮魚礁②は、チェーン摩耗量の少ない部位の摩耗代を現行と 50%低減した場合の 2 ケースについて検討した。それぞれの対象部位と内容を図 f-1-23、図 f-1-24 に示す。

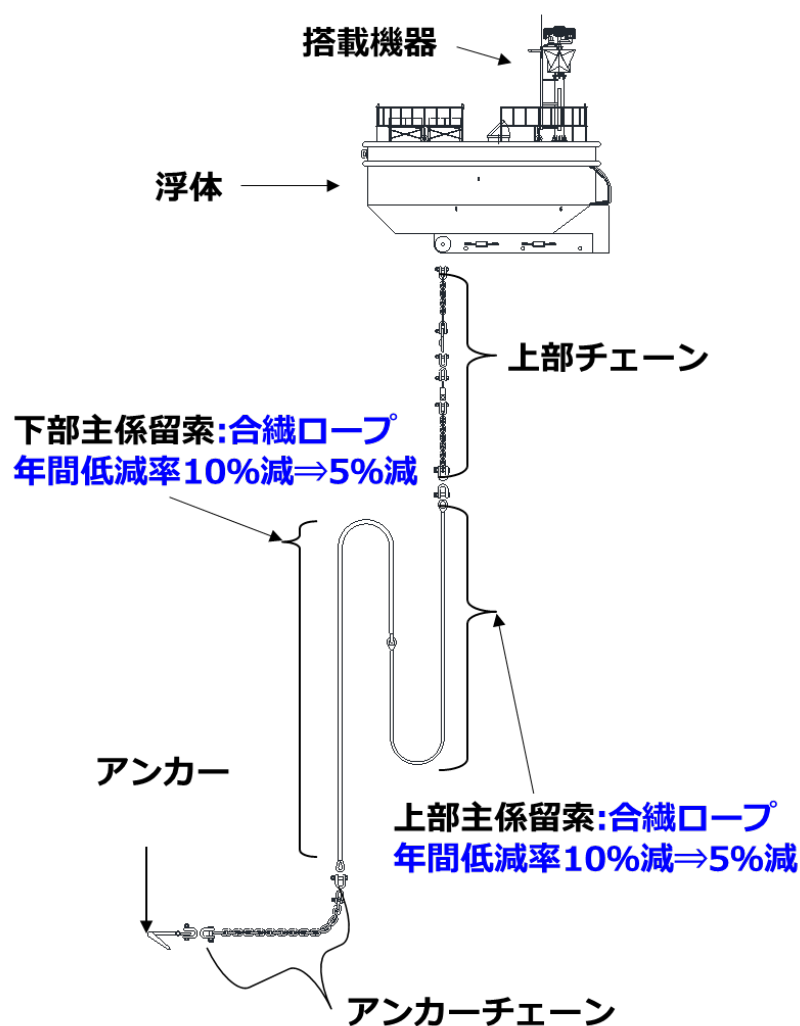


図 f-1-23 表層浮魚礁①の対象部位と内容（青字）

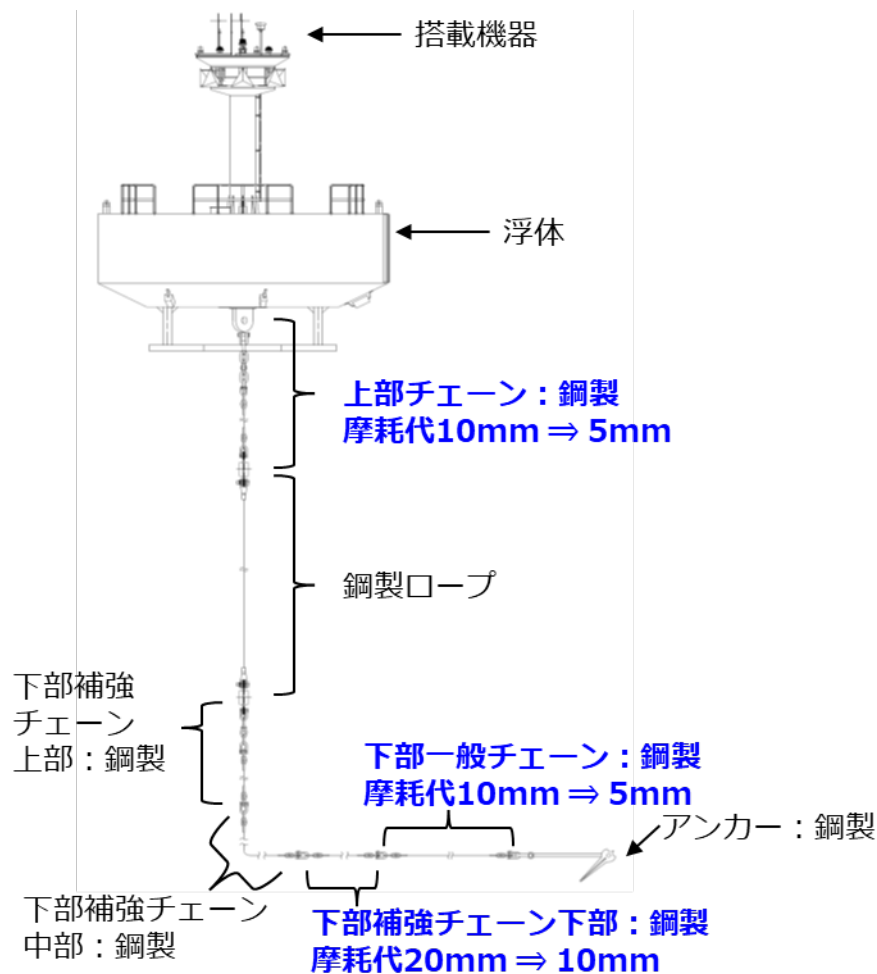


図 f-1-24 表層浮魚礁②の対象部位と内容（青字）

設計条件は、高知県黒潮牧場の過去の設計条件を参考に、水深の異なる 2 通り（条件 A：500m と条件 B：1,000m）で設定した（表 f-1-13）。

各水深において、表層浮魚礁①については 2 ケースのロープ年間低減率（10%；現行、5%）、表層浮魚礁②については 2 ケースの設計摩耗代（現行、50%減）を設計し、コスト縮減の程度を比較した。

表 f-1-13 コスト縮減検討の設計条件

黒牧No.			20号	21号	18号	10号	15号	13号	9号	条件A	条件B
耐用年数	年		10	10	10	10	10	10	10	10	
水深	m		710	1640	795	775	1280	730	245	500	1000
底質			シルト	粘土	シルト	シルト	シルト	砂	砂	砂	
最大波高	Hmax	m	25	25	25	25	25	25	25	25	
波高	H1/3	m	14.5	14.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	14.5	
周期	T1/3	s	16.3	16.8	16	16	16	16	16	16.8	
風速	U10	m/s	59	59	59	59	59	58	58	59	
流速(表層)		m/s	1.8	1.29	2.16	2.32	2.32	2.06	1.8	2.32	
海底勾配			1/23	1/222	1/92	1/30	1/140	1/40	1/50	1/23	
付着物量	N/m2		80	80	80	80	80	80	80	80	
浮体本体への付着物量	cm		7	7	7	7	7	7	7	7	
上部チェーンへの付着物量	cm		2	2	2	2	2	2	2	2	

表 f-1-14 表層浮魚礁①の検討ケース

	設計条件	ロープ年間低減率
ケース 1	A : 500m	現行(10%)
ケース 2		5%
ケース 3	B : 1000m	現行(10%)
ケース 4		5%

表 f-1-15 表層浮魚礁②の検討ケース

	設計条件	設計摩耗代
ケース 1	A : 500m	現行
ケース 2		50%減
ケース 3	B : 1000m	現行
ケース 4		50%減

② 表層浮魚礁①

供用年数満了後に回収された浮魚礁の調査結果を踏まえ、係留システムの合繊ロープに対して、年間低減率を 5%にした場合に、どの程度コスト縮減に寄与するか検討した。水深ごとのコスト比較の結果、浮魚礁製作工事ベース(部材輸送費、設置、撤去費用は含んでいな

い)で水深 500m では約 6%、水深 1000m では約 11%のコスト縮減となった(表 f-1-16、表 f-1-17)。水深 500m で縮減率が小さかった要因は、水深が浅く係留索長が短くなるためだと考えられる。

表 f-1-16 表層浮魚礁①のコスト縮減の検討結果（水深 500m）

	ロープ外径		【参考】 長さ(m)
	現行(10%減)	5%減	
上部主係留索	Φ105mm	Φ75mm	340
下部主係留索	Φ120mm	Φ95mm	440
浮魚礁製作費 比率	1.00	0.94	—

表 f-1-17 表層浮魚礁①のコスト縮減の検討結果（水深 1000m）

	ロープ外径		【参考】 長さ(m)
	現行(10%減)	5%減	
上部主係留索	Φ120mm	Φ85mm	750
下部主係留索	Φ135mm	Φ110mm	800
浮魚礁製作費 比率	1.00	0.89	—

③ 表層浮魚礁②

供用年数満了後に回収された浮魚礁の調査結果を踏まえ、摩耗量が小さい部材（上部チェーンおよび下部補強チェーン、下部一般チェーン）に対して設計摩耗代を 50%低減したケースを設定し、現行の設計摩耗代を用いた場合とのコスト比較を実施した。結果、摩耗代を 50%低減した場合の浮魚礁製作工事費は、水深 500m および 1000m の両ケースにおいて 2～3%程度縮減されることが確認された(表 f-1-18、表 f-1-19)。水深の違いに応じて全体的に費用が変動する。よって、水深が変わっても、下部チェーン摩耗代削減によるコスト縮減効果はあまり変わらなかった。

表 f-1-18 表層浮魚礁②のコスト縮減の検討結果（水深 500m）

パーツ	供用年数10年の必要チェーン 径(mm)		参考長さ(m)
	現行	設計摩耗代 50%低減	
上部チェーン	70	65	25
下部補強チェーン 上部	73		25
下部補強チェーン 中部	100		50
下部補強チェーン 下部	68	58	25
下部チェーン 浮体側	60	55	155
下部チェーン 中間	58	53	155
下部チェーン アンカー側	58	53	155
金額比率	1.00	0.97~0.98	－
※ブイ製作費を含む金額に対する比率			

表 f-1-19 表層浮魚礁②のコスト縮減の検討結果（水深 1000m）

パーツ	供用年数10年の必要チェーン 径(mm)		参考長さ(m)
	現行	設計摩耗代 50%低減	
上部チェーン	87	82	25
下部補強チェーン 上部	87		25
下部補強チェーン 中部	114		80
下部補強チェーン 下部	81	71	25
下部チェーン 浮体側	73	68	190
下部チェーン 中間	73	68	190
下部チェーン アンカー側	73	68	185
金額比率	1.00	0.97~0.98	－
※ブイ製作費を含む金額に対する比率			

なお、設計摩耗代の見直しに際しては、設置位置での条件や回収調査結果、部材ごとの摩耗特性を把握したうえで、適切な摩耗代を設定する必要がある。

(3) 長寿命化の検討

表層浮魚礁①、表層浮魚礁②の長寿命化の実現性について検討した。検討に当たっては、「A. 現行設計基準で供用年数延長」、「B. 回収品調査結果による供用年数延長」の2つの観点から整理した。なお、「A. 現行設計基準で供用年数延長」については、現行の設計基準で供用年数を15年、20年とする場合の実現性について検討し、「B. 回収品調査結果による供用年数延長」については、撤去した浮魚礁の回収品調査結果を設計に反映し、供用年数を15年、20年とした場合の実現性を検討した。

① 表層浮魚礁①

表層浮魚礁①の長寿命化（供用年数延長）について、既往の回収品調査結果とこれまでに得られた調査・検討結果に基づき、供用年数延長の可能性とその課題について改めて整理した（表 f-1-20）。

表 f-1-20 表層浮魚礁①の長寿命化に関する検討結果の概要

	A.現行設計基準で供用年数延長	B.回収品調査結果による供用年数延長
浮体	○	○
搭載機器	▲ 交換の可能性	▲ 交換の可能性
係留システム	▲ 将来的に可能性	▲ 年間低減率改訂
係留基礎	○	○
実現の可能性	▲	▲

[可能性大 ○ > ▲ > △ > ▼ > × 可能性小]

A. 現行設計基準で供用年数延長

浮体・係留基礎については、個々に対応可能か確認が必要ではあるものの、現段階で明確に障壁となる課題は見当たらない。

搭載機器については、(1)最新の技術的情報において、浮体切り離し・再連結を行っても15年運用できた実績が確認されている。1例ではあるが、搭載機器及び浮体の交換自体は可

能であることが考えられる。

係留システムについては、洋上風力発電施設の係留システム開発で、将来的に従来よりもさらに高強度ロープの生産環境が整備される可能性がある。しかしながら、その環境整備の実現性および時期については不透明であることに加え、仮に生産環境が整備されても物のボリュームがかなり増えることが想定されるため、生産コスト、輸送コスト、設置コストを考慮した場合、現実的ではないことが想定される。

以上を踏まえ、現行設計基準での供用年数延長の実現性については以下の 3 点を解決・考慮した検討が必要である。

- ① 搭載機器の交換・メンテナンス手法の開発
- ② 高強度ロープの生産環境整備状況
- ③ 係留システムのコストアップに伴う費用対効果の検証

B. 回収品調査結果による供用年数延長

浮体・係留基礎については、令和 5 年度調査結果と同様に個々に対応可能か確認が必要ではあるものの、現段階で明確に障壁となる課題は見当たらない。

搭載機器については、上記「A」と同様に搭載機器及び浮体の交換自体は可能であることが考えられる。

係留システムについては、令和 5 年度調査で示された結果に加え、本調査（(1)最新の技術的情報）でも、耐用年数を経過し回収・調査した係留索（繊維ロープ・チェーン）において、残存強度、チェーン・係留金具類の摩耗量が、設計の想定ほど低下・摩耗していないことが確認されている。そのため、これらの設計値（低減率・摩耗量）を引き下げられる可能性はあり、それにより供用年数延長の可能性も考えられる。

以上を踏まえ、係留索の低減率変更による供用年数延長の実現性については以下の 5 点を解決・考慮した検討が必要である。

- ① 「A」と同様に搭載機器の交換・メンテナンス手法の開発
- ② 係留索の疲労度も考慮した適正な低減率の検討
- ③ 「漁港・漁場の施設の設計参考図書」の改訂
- ④ 係留金具(チェーン、シャックル類)への影響
- ⑤ 回収時に係留索にかかる荷重

② 表層浮魚礁②

表層浮魚礁②の長寿命化（供用年数延長）について、既往の回収品調査結果とこれまでに得られた検討成果に基づき、供用年数延長の可能性とその課題について改めて整理した（表 f-1-21）。

表 f-1-21 表層浮魚礁②の長寿命化に関する検討結果の概要

	A.現行設計基準で供用年数延長	B.回収品調査結果による供用年数延長
浮体	△ 塗装の耐用年数	△ 塗装の耐用年数
搭載機器	▲ 交換・追加手法の検討	▲ 交換・追加手法の検討
係留システム	▲ サイズアップによる許容摩耗量の増加 製造可否検討 浮体・係留システム重量増・コスト増	▲ 発注者の仕様改訂（摩耗量）
係留基礎	○	○
実現の可能性	▲	▲

[可能性大 ○ > ▲ > △ > ▲ > × 可能性小]

A. 現行設計基準で供用年数延長

浮体については、塗装の耐用年数を 10 年以上とすることができるとは明らかでない。

搭載機器については、寿命を 10 年とすることが一般的であることから、供用期間を延長するには供用中の機器の交換が必要となり、交換の具体的な方法については検討する必要がある。

係留システムについては、供用年数の延長期間に応じて許容摩耗量を大きくする必要がある、係留システムのサイズアップすることで供用期間の延長が可能となる。ただし、係留システムのサイズを大きくした場合、浮体の必要浮力が増加するため、全体のコストアップにつながる懸念がある。

現行基準のまま供用期間延長する実現性については、以下の 4 点を解決する必要がある。

① 浮体に適用される塗料の耐用年数確認

② 搭載機器の供用中の機器交換方法

③ 係留チェーンの製造可否確認（特に下部補強チェーン中部、JIS 認定含む）

④ 係留チェーンサイズが大きくなることによる浮体設計への影響

なお、係留基礎については、個々に対応可能か確認が必要ではあるものの、現段階で明確に障壁となる課題は見当たらない。

B. 回収品調査結果による供用年数延長

浮体については、塗装の健全性を確認することで、耐用年数を 10 年以上とすることができるか否かの評価指標とすることができる。

搭載機器については、前述のように寿命を 10 年とすることが一般的であることから、供用中の機器の交換が必要となる。

係留システムについては。回収品調査結果から下部補強チェーン（上部・中部）では設計値を上回る摩耗が確認されている一方で、その他のチェーンについては、摩耗が確認されていないことも多いようである。したがって、供用期間を延長するために下部補強チェーン（上部・中部）について、サイズアップすることによる許容摩耗量の増加が必要であるが、その他のチェーンについては現状のサイズのままでも供用年数延長の可能性が示唆される。下部補強チェーン（上部・中部）をサイズアップする場合には、浮体の必要浮力が増加するため、全体のコストアップにつながる可能性にも注意が必要である。

回収品調査結果により供用年数延長する実現性については、以下の 5 点を解決する必要がある。

① 浮体に適用される塗料の耐用年数確認

② 搭載機器の供用中の機器交換方法

③ 係留チェーンの設計摩耗代の見直し（仕様策定者による）

④ 係留チェーンの製造可否確認（特に下部補強チェーン中部、JIS 認定含む）

⑤ 係留チェーンサイズが大きくなることによる浮体設計への影響（下部補強チェーンの中部、上部の設計摩耗量の緩和は推奨されないため）

なお、係留基礎については、個々に対応可能か確認が必要ではあるものの、現段階で明確に障壁となる課題は見当たらない。

1.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備

1) マアジ等を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備

(1) データの諸元

検討に用いたデータの諸元を以下に示す。

- 海域 : 五島西方沖 (図 f-1-25)
- 施設 : マウンド礁
- 漁獲情報 : 大中型まき網漁獲成績報告書
- 期間 : 整備前 H14-22 (9 年間)
整備中 H23-27
整備後 H28-R05 (9 年間)
- CPUE : 年間漁獲量 (トン) / 揚網数 (網)
- 魚種 : 植物プランクトン食 : マイワシ、いわし類
動物プランクトン食 : マアジ、さば類 (マサバ小一大)
魚食 : スルメイカ、ぶり類 (ブリ、カンパチ、ヒラマサ)
魚食 : かつお類、まぐろ類
その他

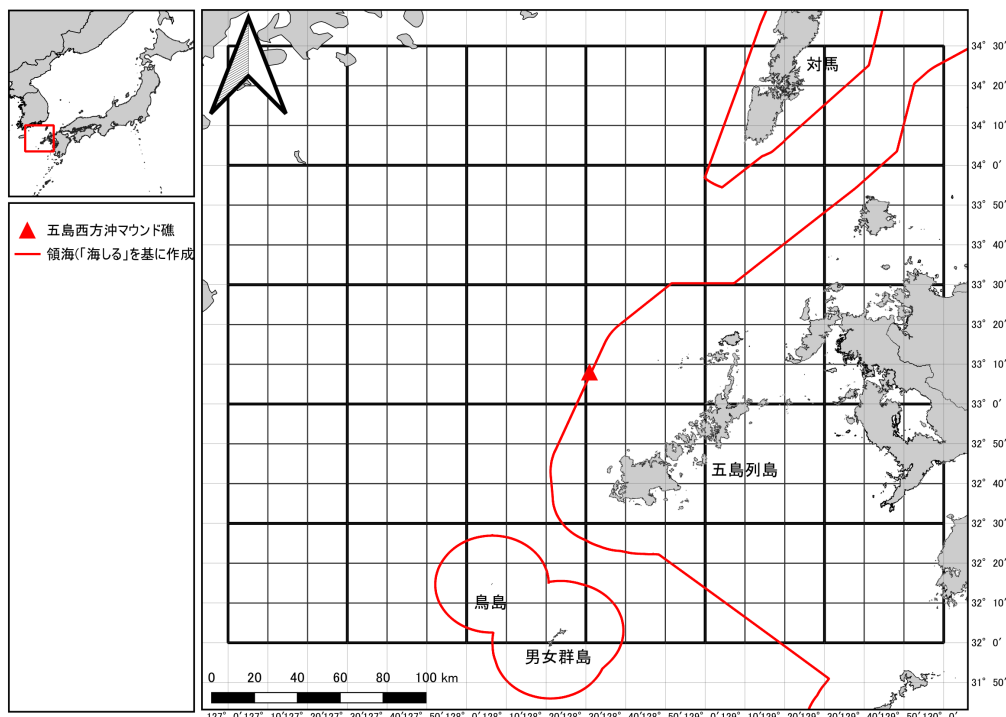


図 f-1-25 五島西方沖マウンド礁の波及効果分析の調査海域

(2) 対象範囲の設定

マウンド礁と類似した海域環境で比較し、マウンド礁の波及効果を算定するために、以下の要領で対象範囲を設定した。

五島西方沖のマウンド礁周辺における海域環境（水深、水温、塩分、クロロフィル、流況；東西・南北流速）を指標にクラスター分析を行った。

水深（解像度：3‘メッシュ、出典：General Bathymetric Chart of the Oceans）

水温、塩分、クロロフィル、流況（水深：表層、期間：2014-2018 年のマアジの漁獲が多い4-8月の平均、解像度：5‘メッシュ、出典：FRA-ROMS）

漁獲データの位置情報の解像度が10‘メッシュであることから、これらの要素をGISの集計ツールにより10‘メッシュで整理した（図 f-1-26）。

整理した270メッシュ（6項目）をクラスター分析（Ward法）により類型化し、マウンド礁の整備海域と同様の海域環境をDiDの対象範囲として設定した。

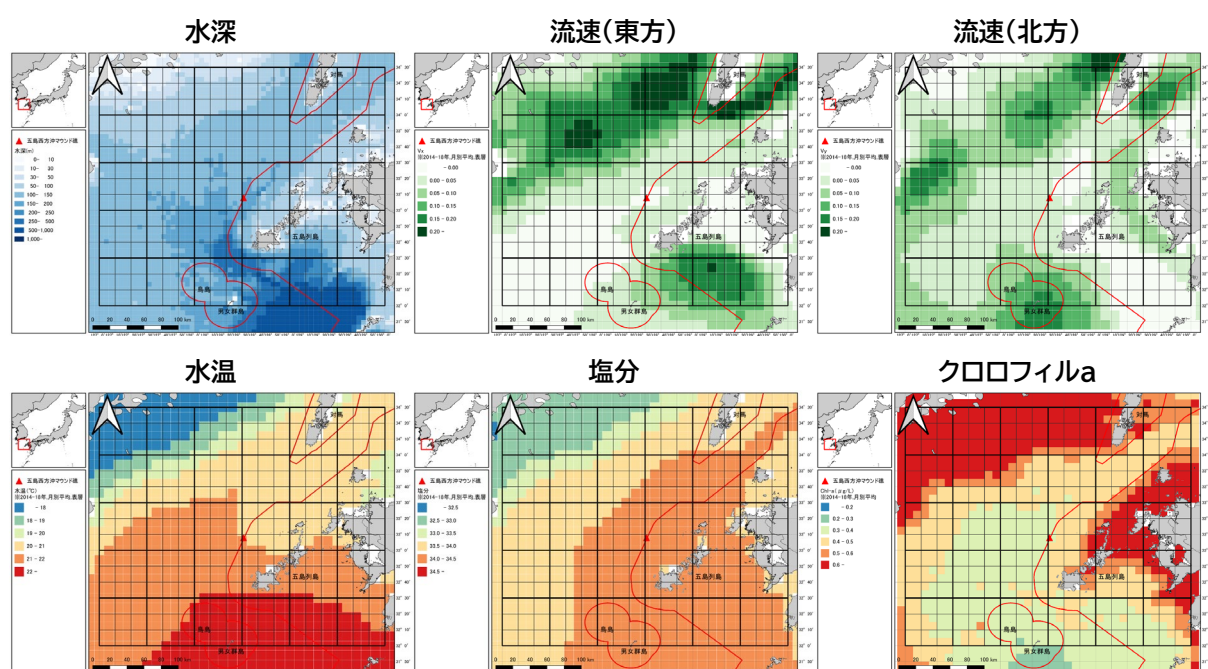


図 f-1-26 調査海域調査海域における海域環境の水平分布

クラスター分析した結果を図 f-1-27 に示す。

距離 18 で切断すると、五島西方沖マウンド礁を含む海域 2 は大村湾周辺にまで及び、広範囲となった。距離 7 で切断すると、五島西方沖マウンド礁は海域 2.2 に類型化される。海域 2.2 のうち、五島列島北部のマウンド礁を含む海域を DiD 分析の対象範囲とした。

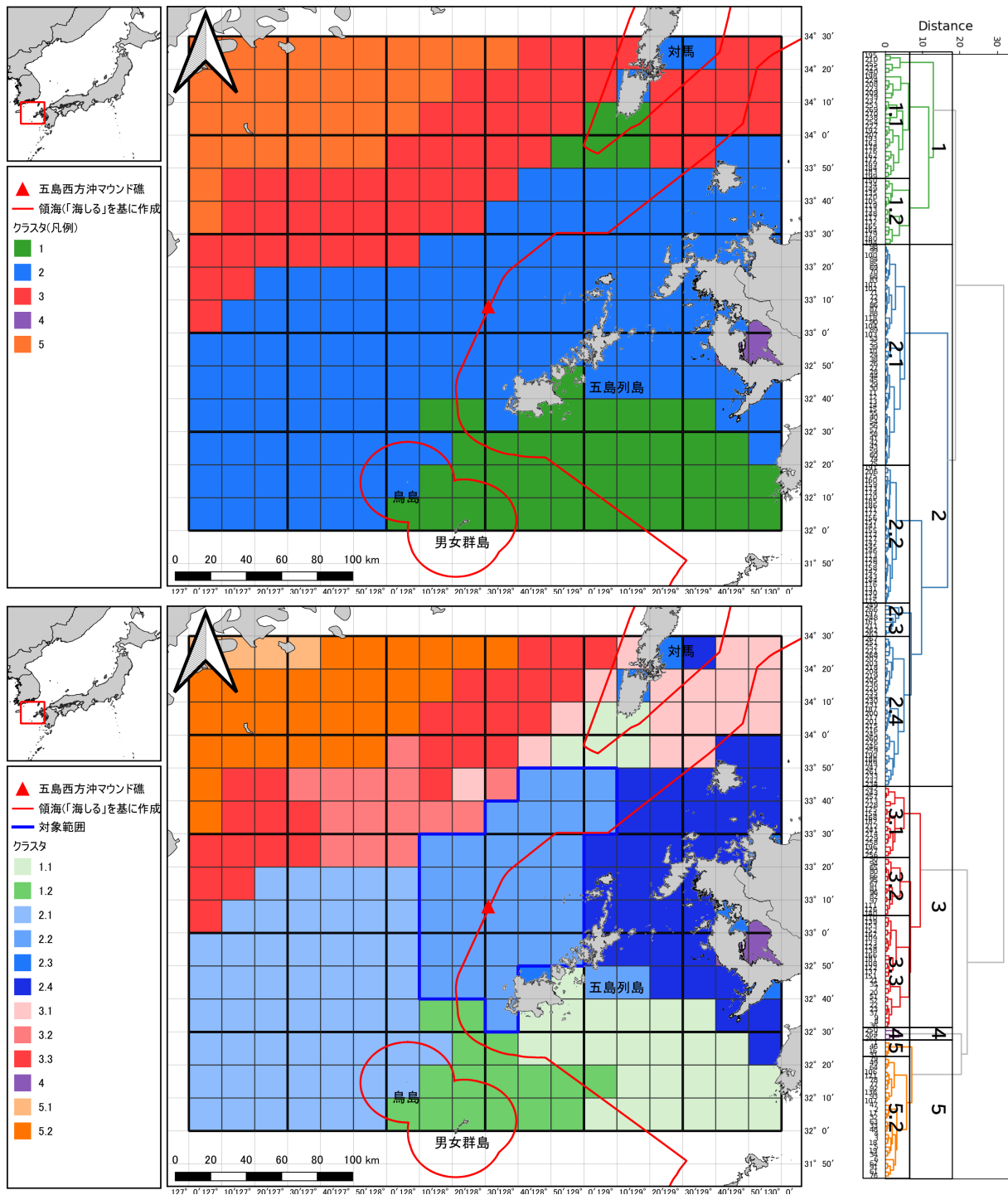


図 f-1-27 調査海域の類型化と DiD 分析の対象範囲

対象範囲とした海域 2.2 およびその他の各海域区分の海域環境は表 f-1-22 に示すとおりである。なお、クラスター分析に用いた水温等はモデルによる推定値である。水温について、既往の調査で観測された実測値と比較したところ、符合していることを確認した（図 f-1-28）。

表 f-1-22 表層浮魚礁②の長寿命化に関する検討結果の概要

	Depth(m)	Sal	Temp(°C)	Vx(m/s)	Vy(m/s)	Chl-a(μg/L)
1.1	-246	33.8	23.3	0.15	-0.01	0.4
1.2	-297	33.8	23.9	0.10	0.12	0.3
2.1	-141	33.5	23.0	0.01	0.09	0.4
2.2	-139	33.7	22.6	0.03	0.03	0.4
2.3	124	16.8	11.2	0.00	0.00	0.7
2.4	-51	33.7	22.4	0.01	0.06	0.6
3.1	-108	33.7	22.0	0.19	0.13	0.5
3.2	-114	33.4	22.2	0.18	0.10	0.5
3.3	-106	33.2	21.8	0.20	0.18	0.6
4	129	11.2	7.6	0.00	0.00	7.1
5.1	2	32.6	20.2	0.02	0.01	2.5
5.2	-63	32.6	20.4	0.16	0.07	1.1

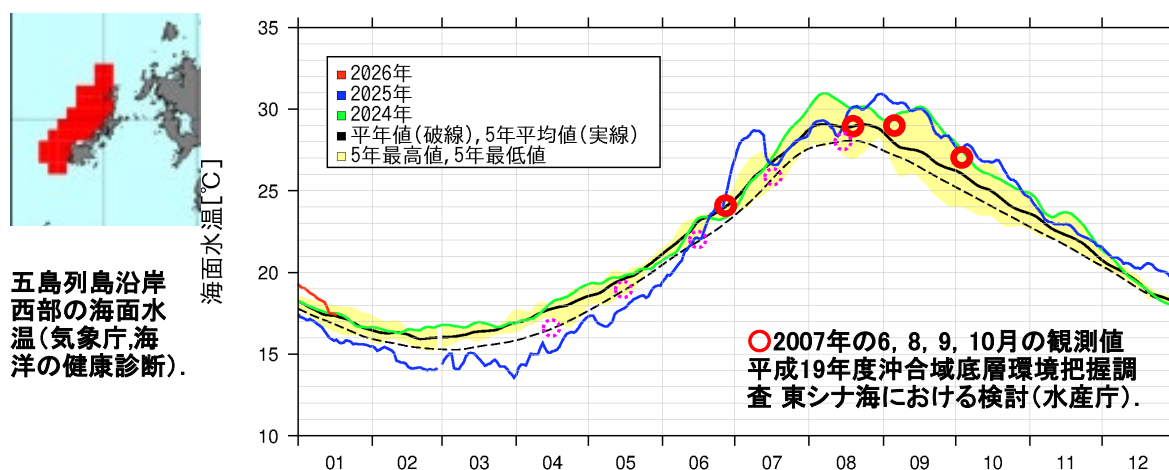


図 f-1-28 海域 2.2 における水温の実測値と推定値

(3) DiDによるマウンド礁の波及効果

魚種ごとのCPUEの推移、整備前の効果範囲と対照範囲のCPUEの関係、整備前後のCPUEの変化を図f-1-29、図f-1-30に示す。

マアジ：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（強い相関）。マアジに対する効果（CPUE）は、+0.8トン/網と算定された。

さば類：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドは確認されなかった。

マイワシ：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（強い相関）。ただし、マイワシのCPUEは他の魚種に比べ非常に低く、効果（CPUE）は、-0.03トン/網と算定された。

いわし類：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（強い相関）。

スルメイカ：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（非常に強い相関）。スルメイカに対する効果（CPUE）は、+0.2トン/網と算定された。

ぶり類：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（強い相関）。ぶり類に対する効果（CPUE）は、+0.2トン/網と算定された。

かつお類：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドは確認されなかった。

まぐろ類：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認され（非常に強い相関）、効果（CPUE）は、+4.4トン/網と算定された。ただし、整備前、整備後で漁獲がみられたのは、H20-22（H21がピーク）のみで、その他では漁獲されていないことに留意が必要である。

その他：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（非常に強い相関）。その他に対する効果（CPUE）は、+0.4トン/網と算定された。

全体：効果範囲と対照範囲における整備前のCPUEに平行トレンドが確認された（中程度の相関）。全体に対する効果（CPUE）は、+6.4トン/網と算定された。

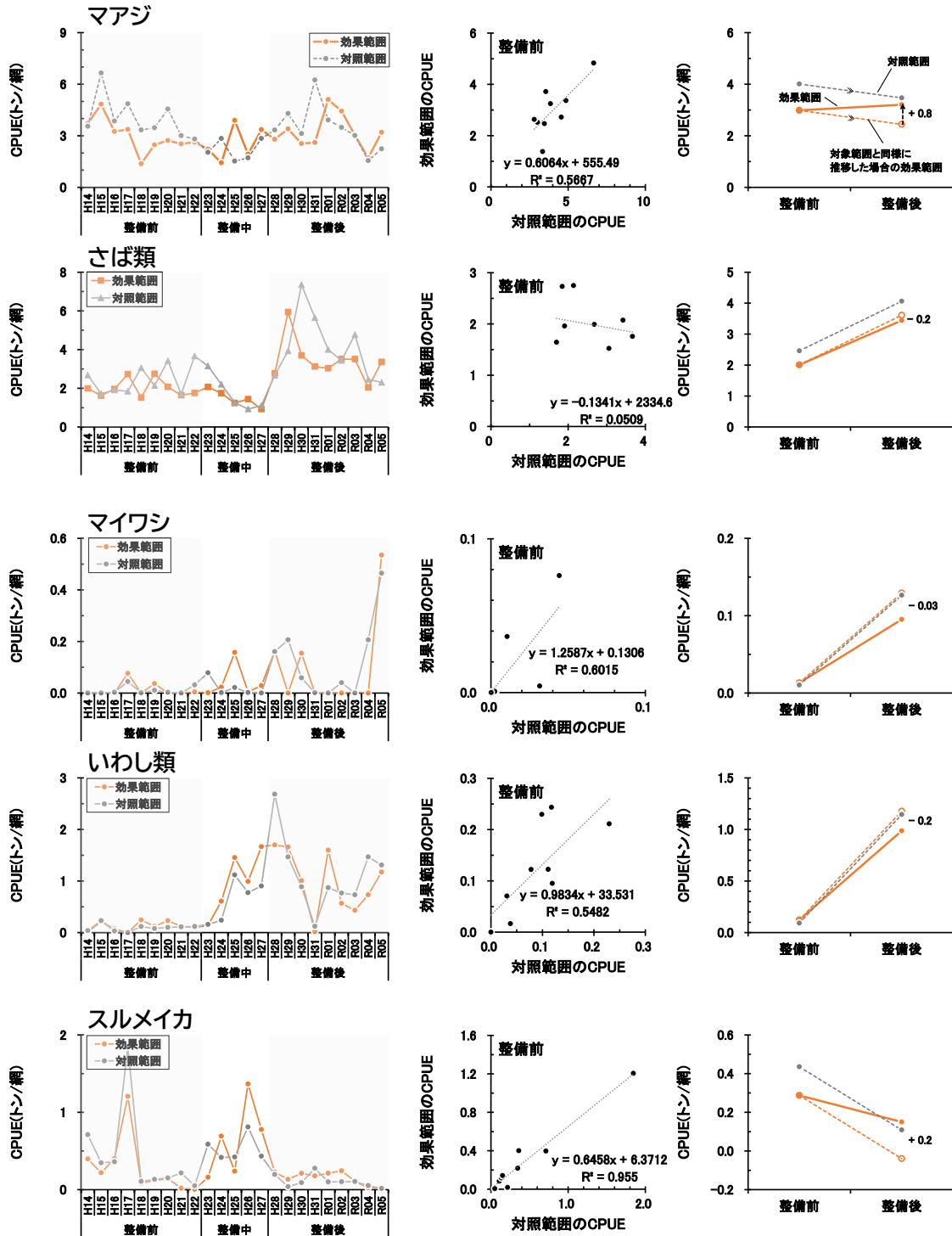


図 f-1-29 CPUE の推移、整備前の効果範囲と対照範囲の CPUE 関係、整備前後の CPUE 変化
(マアジ、さば類、マイワシ、いわし類、スルメイカ)

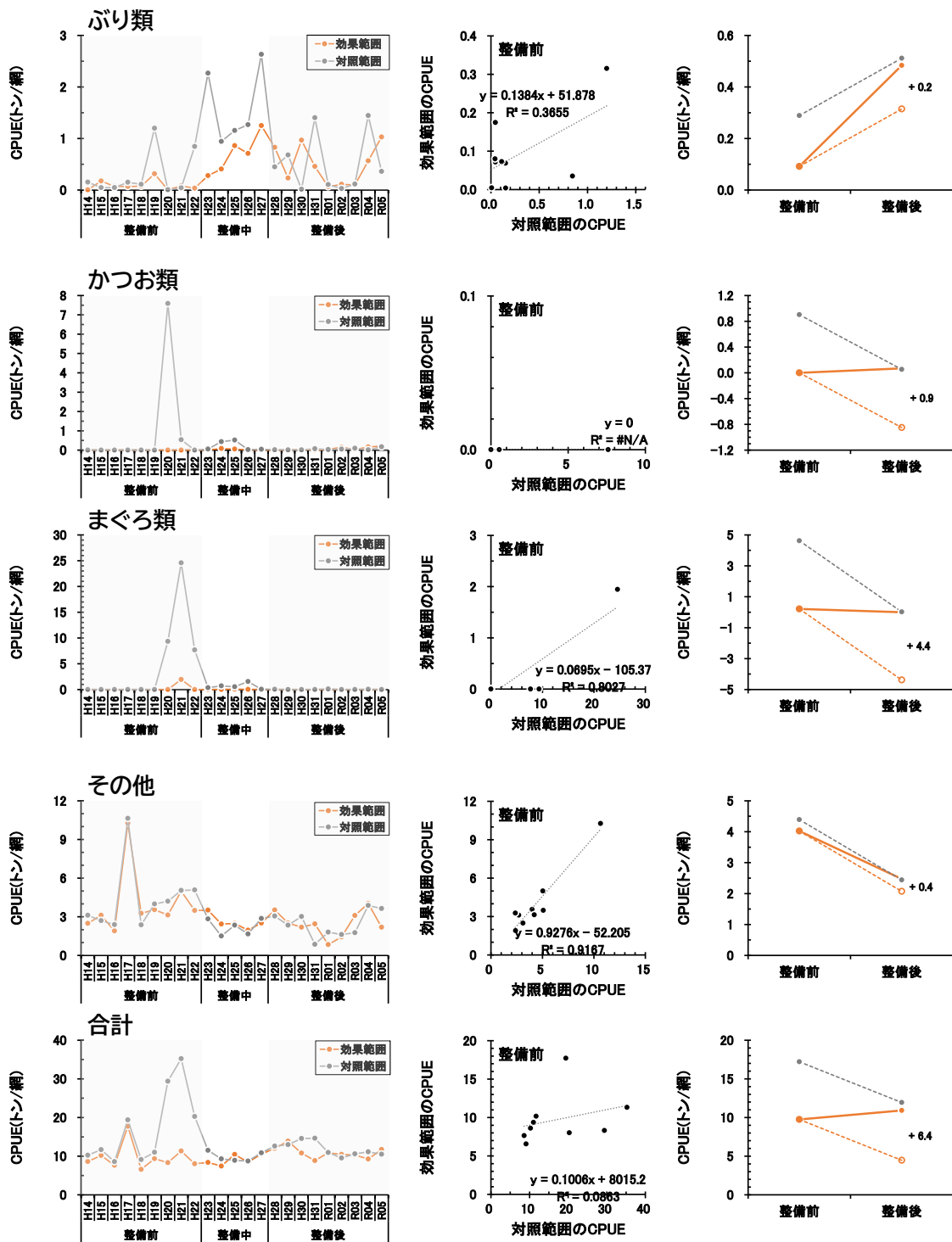


図 f-1-30 CPUE の推移、整備前の効果範囲と対照範囲の CPUE 関係、整備前後の CPUE 変化
(ぶり類、かつお類、まぐろ類、その他、合計)

マウンド礁によるまき網への波及効果の便益を表 f-1-23 に示す。

マウンド礁周辺における、まき網の漁獲に対するマウンド礁の波及効果は、漁獲量ベースでは、マアジ 174 トン/年、スルメイカ 43 トン/年、ぶり類 38 トン/年、その他 92 トン/年と推定された。

表 f-1-23 マウンド礁によるまき網への波及効果の便益

	効果量 (トン/網)	相関係数	網数※1 (網)	漁獲増加量 (トン)
マアジ	0.8	0.75	230	174
さば類	-0.2	-0.23	230	-38
マイワシ	-0.0	0.78	230	-8
いわし類	-0.2	0.74	230	-43
スルメイカ	0.2	0.98	230	43
ぶり類	0.2	0.60	230	38
かつお類	0.9	-	230	211
まぐろ類	4.4	0.90	230	1,007
その他	0.4	0.96	230	92
全体	6.4	0.29	230	1,477

※相関係数の目安：＜0.2 ほとんど相関なし、＜0.4 弱い相関、＜0.6 中程度の相関、＜0.8 強い相関、＜1.0 非常に強い相関

●まとめ

対照海域を客観的な根拠により設定（類型化）し、また、解析期間についても整備前と整備後で統一した上で、DiD 法により、五島西方沖のマウンド礁による沖合域の波及効果を分析した。その結果、昨年度に分析した隠岐海峡海域と同様に、五島西方沖においてもマウンド礁によるマアジ等浮魚類の漁獲量の増加を確認することができた。

2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備

(1) ホッケの資源と主な水揚地

ホッケは、茨城県以北から千島列島周辺の北太平洋、対馬海峡以北の日本海、黄海、沿海地方、オホーツク海に分布する。我が国では北海道近海に多く、北海道近海のホッケは分布や産卵期の違いから道南系群と道北系群の2つの系群と根室海峡・北方四島・道東・日高・胆振海域に生息するグループに分けられると考えられている。北海道立水産試験場（旧名）では、道北系群と道南系群の分布の境界を茂津多岬付近（後志支庁と檜山支庁の境界）としている。

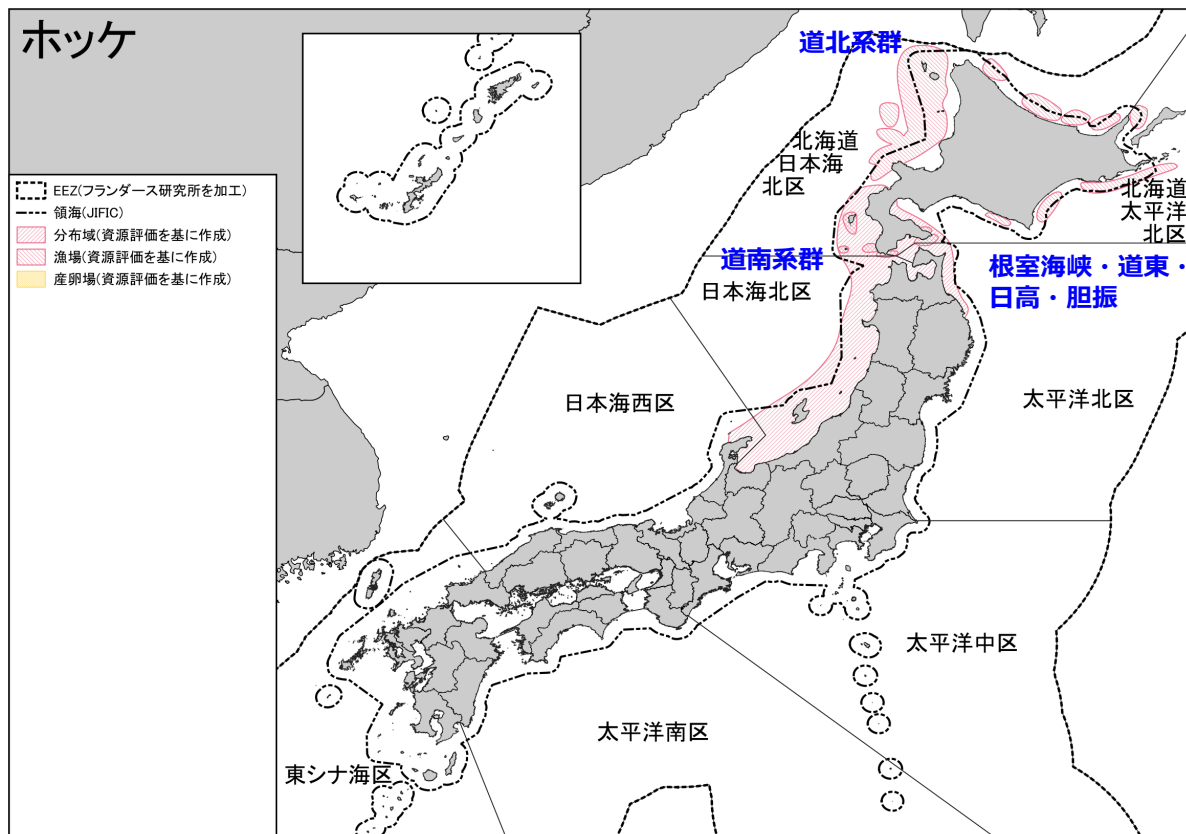


図 f-1-31 ホッケの分布

これら 3 グループの資源規模は道北系群が最も大きく、2022 年の漁獲量は 3 万 t であった。以下、道南系群が 0.4 万 t、道東のグループは 0.2 万 t であった。いずれのグループも 30 年スパンでみると直近 10 年の漁獲量は低い水準にある。

ホッケの殆どは北海道に水揚げされており、道北系群の分布域に位置する稚内と小樽が 2 大水揚地である。稚内には沖合底びき網、刺網、底建網で漁獲されたホッケが水揚げされ、小樽には定置網、底建網、刺網の漁獲物が主に揚がっている。

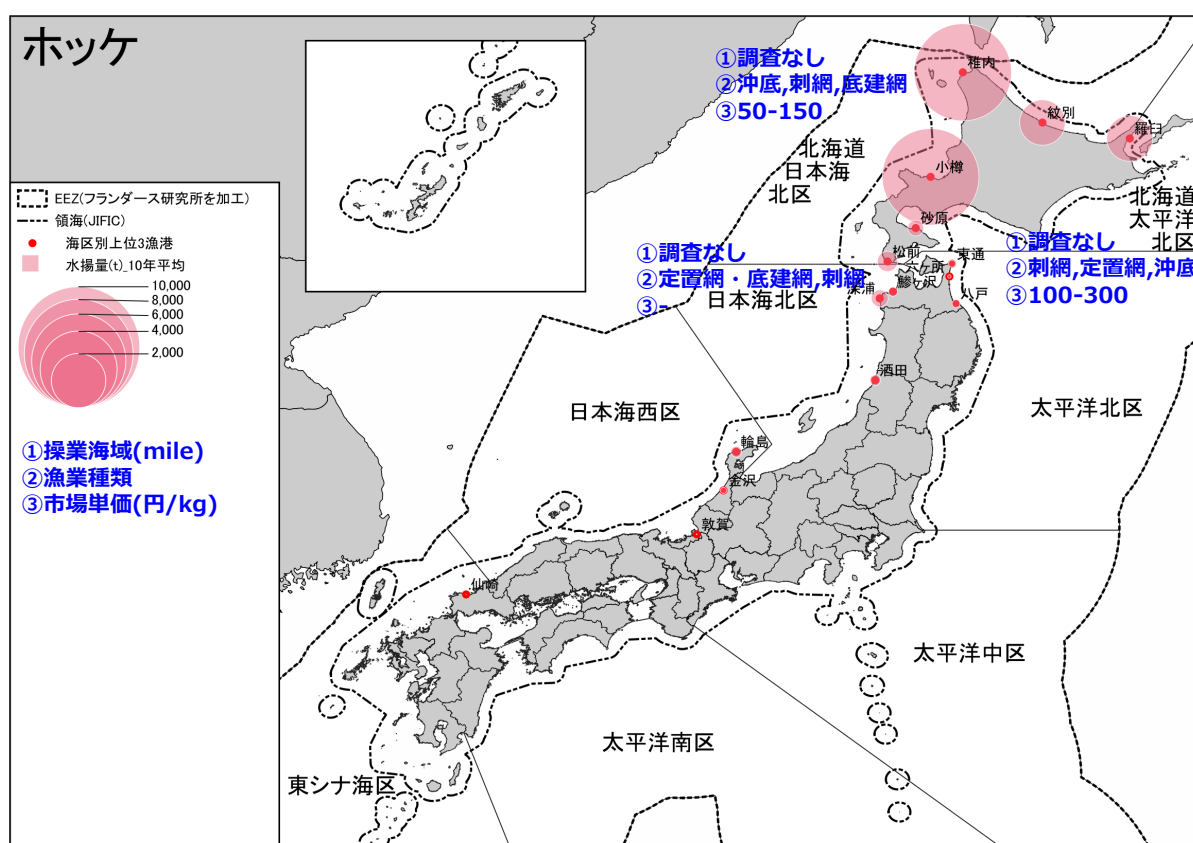


図 f-1-32 ホッケの主な水揚地

(2) ホッケの生活史と生態

ホッケの生活史を図 f-1-33、生息場と産卵場を図 f-1-34 に示す。

稚魚期, アオボッケ : 0 歳の冬から夏にかけては表層で生活する。

ロウソクボッケ : 0 歳の夏から冬にかけて、水深 100m 前後の大陸棚上に移動して底生生活に移行する。

ハルボッケ：1歳の3-6月ごろには沿岸域に接岸し、沿岸に分布するヨコエビ類を盛んに摂餌する。

ネボッケ：この時期を過ぎると再び沖合に移動し、大陸棚上の岩礁域に定着する（夏目, 2003）

分布：岩礁域が多い地域で漁獲が多く、オホーツク海のように砂地が多く岩礁域が少ない領域では漁獲が少ない。親魚の分布、行動は不明な点が多い。

環境：ホッケは水温の影響を受けやすい。

餌料：浮遊期には流水などの影響で栄養塩が多く、餌も多いオホーツク海で生息し、着底する時期には岩礁の多い日本海側に戻ると考えられる。ヨコエビやオキアミ、端脚類もよく食べる。

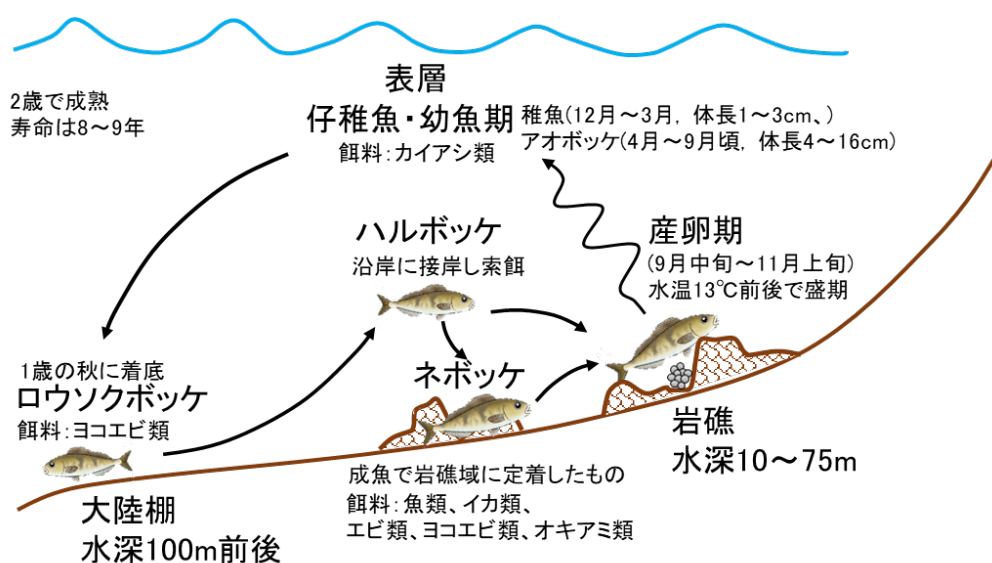


図 f-1-33 ホッケの生活史

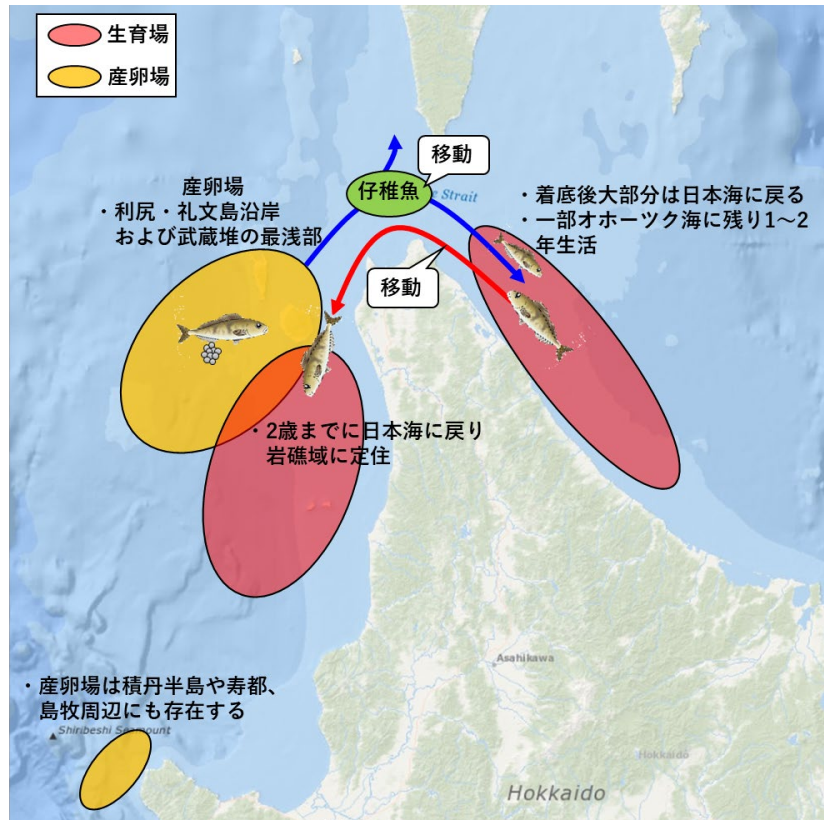


図 f-1-34 ホッケの生息場と産卵場

(3) ホッケの産卵行動の特徴

産卵場：日本海側では利尻島や礼文島沿岸、武蔵堆、積丹半島以南の日本海沿岸、太平洋側では、恵山岬や鹿部沿岸および日高沿岸である。一般的に産卵場は、水深 20-50m に形成される。稚内水試によると利尻では 30-40m の岩礁域、その他、奥尻や松前、恵山周辺の岩礁域が産卵場であるとみられる。

産卵行動：雄が産卵適所になわばりをつくり、雌を誘い込むことで始まる。1 回の産卵期に 5-10 回程度産卵する。岩礁の凹凸や亀裂に雄が縄張りを作り、雌が窪みに産卵し、それを雄が守る。縄張りの距離は 2m 程度とみられる。水槽実験による観察状況から、一定程度流れがある場所が望ましいとみられる。

若齢個体の産卵回数は少なく、卵塊も小さい。一方、大型の親から生まれた卵は質が高いとみられる。ホッケの加入量は、親魚量が一定量以上いないと大きく減少するとされている。ホッケ資源の回復には、いかに産卵の適齢まで親魚を残すかが重要であると考えられている。

(4) ホッケの魚礁性

利尻町沖合の水深約 90m に整備されている高層魚礁（高さ 15m）において、魚礁天端から上方に 40m、水平方向に 100m にわたり、魚群反応が 2019 年 6 月に確認された。この魚群の構成魚種は主にホッケであり、メバル類も混ざった。漁獲されたホッケは、平均全長 28.7cm、平均体重 295g であり、ホッケが魚礁周辺で何かを捕食するような行動が観察された。胃内容物中には、小型甲殻類とみられる生物が多数確認された。

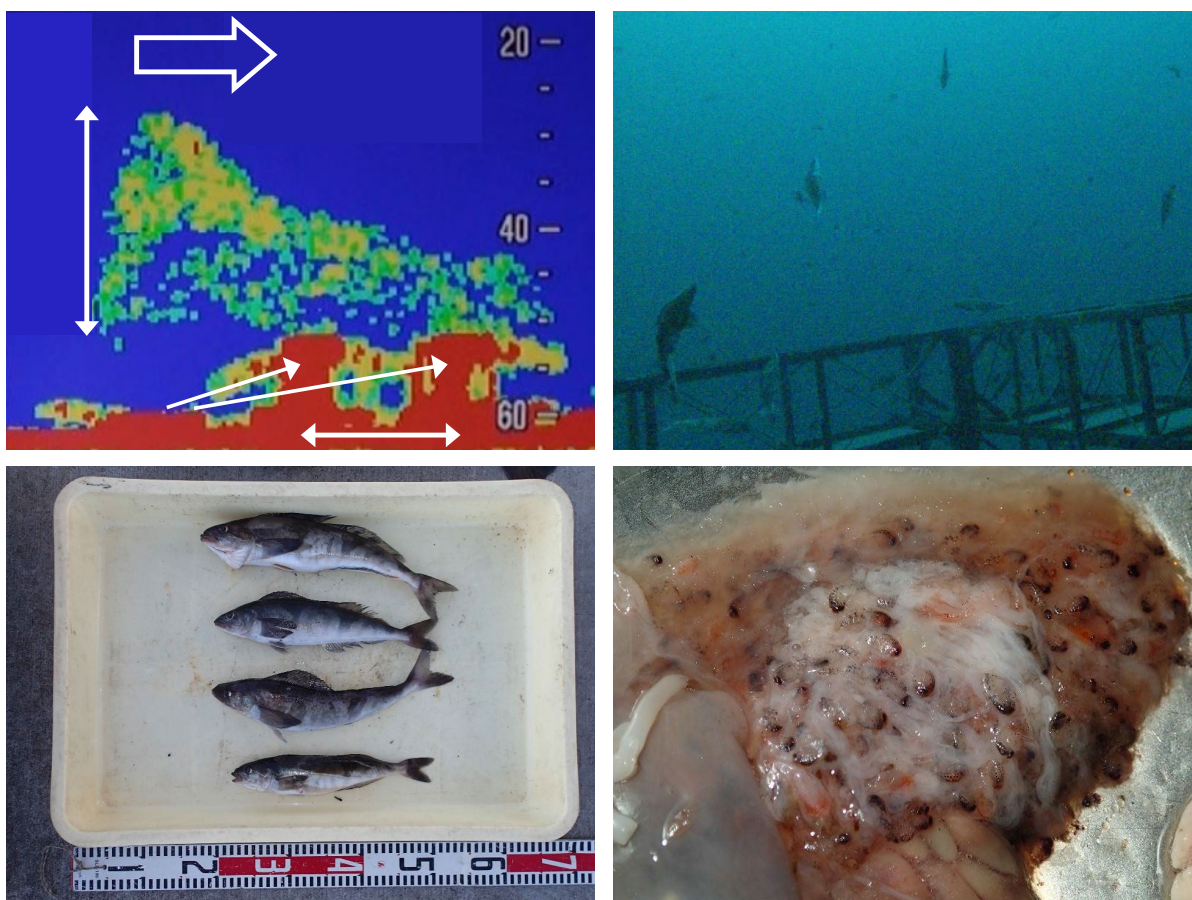


図 f-1-35 高層魚礁におけるホッケの鯖集状況

(5) 沖合から沿岸域まで一体となったホッケの漁場整備の方針（案）

道北系群は浮遊期を餌料の豊富なオホーツクで過ごした後、岩礁の少ないオホーツク海を離れ、日本海側の岩礁に着底し、水深 100-150m に分布するとされる。着底期以降のホッケは魚礁性を有しているものと考えられることから、日本海北区の沖合域において魚礁を整備

し、ホッケを滞留、増殖（増肉）を図ることが想定される。

また、ホッケは産卵期に水深 20-50m 程度の岩礁において、縄張りを作りながら、岩の凹凸等に卵を産み付ける。この時期の底引き網等による漁獲が資源に及ぼす影響が懸念される。そのため、産卵場機能を有した構造物を沿岸域に整備することで産卵場を造成し、増殖を促進するとともに、漁獲からの保護を図ることが想定される。

このように、「①沖合で高層魚礁等により、ホッケを蟄集、滞留させ、②沿岸では産卵場機能を有した漁場施設や既往の産卵場までを③誘導することで、生活史全体でホッケの増殖の促進を図る」といった、沖合から沿岸域まで一体となったホッケの漁場整備を想定することができる（図 f-1-36）。

ただし、適正な施設の配置を計画する上でも、ホッケの着底後の発育段階別の分布（特に親魚）については不明であることが課題である。また、ホッケは水温の影響を受けやすいとみられ、気候変動により分布水深帯も変化することが想定される。

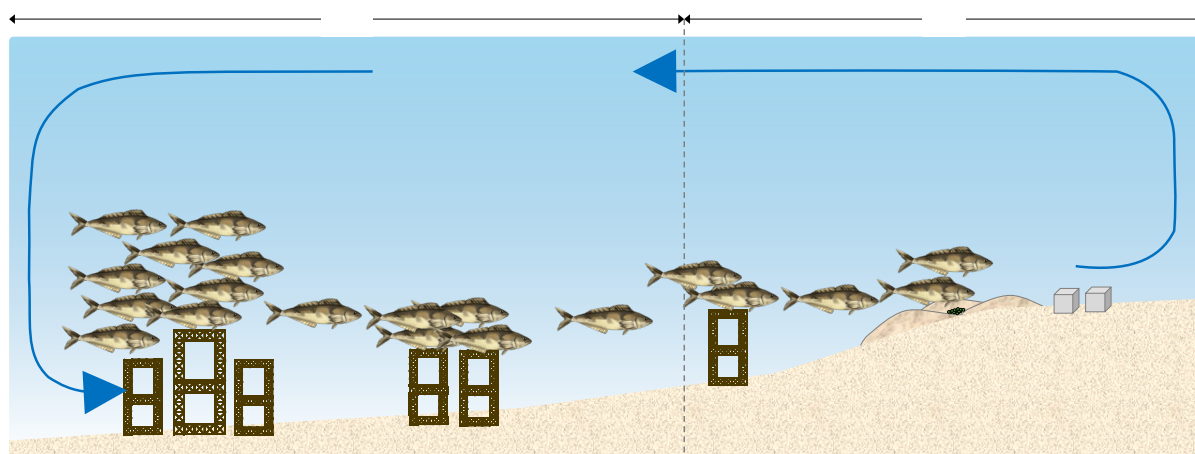


図 f-1-36 沖合から沿岸域まで一体となったホッケの漁場整備の方針（イメージ）

2. 次年度以降の調査計画案の策定

2.1 北方海域における沖合漁場整備

1) スケトウダラ0歳魚の魚礁性の検証

<調査のねらい>

スケトウダラ0歳魚の魚礁性については、北海道日本海北区の武蔵堆周辺の水深200mにおいて、砂泥底より転石帯で0歳魚やオキアミ等の動物プランクトンが多い傾向が2013年の調査で確認されている。また、北海道太平洋北区では、2023年の調査により、道東の水深100mの既設魚礁周辺においてスケトウダラ0歳魚の魚礁性が確認されている。ただし、2021年、2022年に実施した調査では、1996年にスケトウダラ0歳魚の分布が確認されていた水深30-80m帯において、魚礁とその周辺でスケトウダラ0歳魚を確認することはできなかった。これは、調査当時発生した赤潮や海洋熱波、高水温などの影響によるものと考えられる。水深100m帯で魚礁性が確認されたのは1例のみとなるため、スケトウダラ0歳魚に適した漁場施設を選定する上で、蓋然性を高める必要がある。

スケトウダラ0歳魚の魚礁性を検証するため、道東海域において(1)計量魚探調査および(2)漁獲調査を実施し、魚礁やその周辺におけるスケトウダラ0歳魚の分布状況を明らかにする。

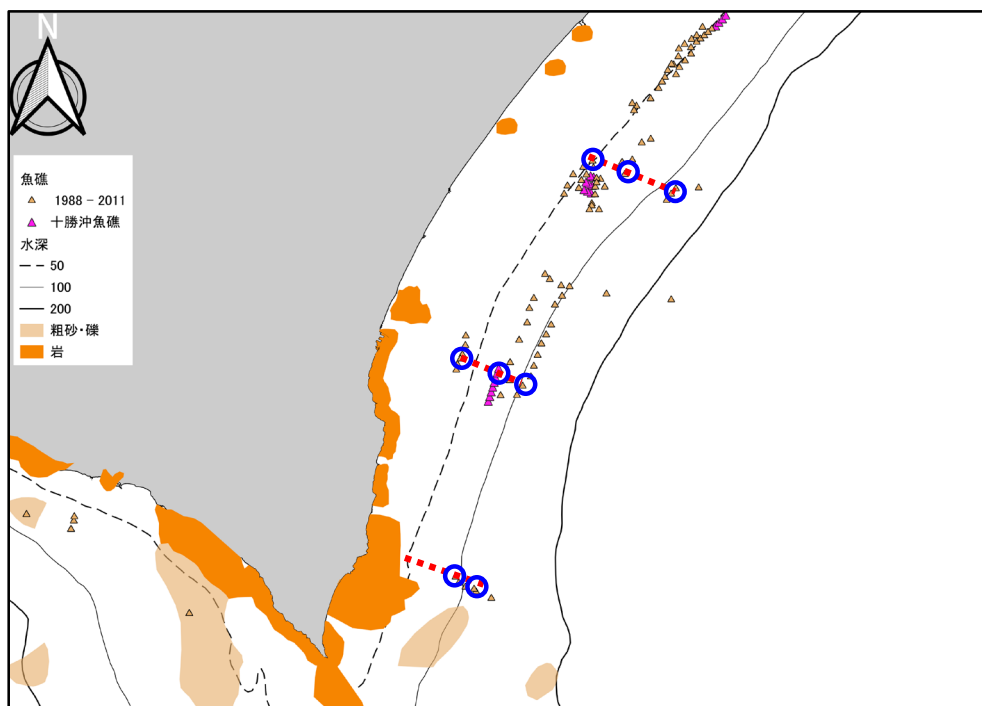


図 f-2-1 調査海域

(1) 計量魚探調査（航走式）

道東海域におけるスケトウダラ 0 歳魚の分布状況を把握するため、計量魚群探知機により観測する。観測結果から、魚礁区と非魚礁区におけるスケトウダラ 0 歳魚の密度、分布等进行分析し、スケトウダラ 0 歳魚の魚礁性を検証する。

道東の 3 海域の水深 50-100m 帯の魚礁とその周辺において、スケトウダラ 0 歳魚の着底時期に 1 回実施する。

観測には、スケトウダラ 0 歳魚等の魚類とプランクトンを区別して観測できる機種を用いる。

(2) 漁獲調査

道東海域におけるスケトウダラ 0 歳魚の体サイズや胃内容物等を把握するために、スケトウダラ 0 歳魚を対象とした漁獲調査を実施する。

調査位置は（1）計量魚探調査で実施する調査か所と同様とする。

スケトウダラ 0 歳魚は桁引き等により採集する。分析するスケトウダラ 0 歳魚は 20 検体/地点を想定し、採捕後、尾数を計数、体長、体重を計測する。

2) スケトウダラ 0 歳魚の増殖（増肉）効果の検証

<調査のねらい>

道東海域の水深 100m 帯の魚礁とその周辺でスケトウダラ 0 歳魚の蛸集が確認された 2023 年の調査において、魚礁区で採捕したスケトウダラ 0 歳魚の平均体長および体重は、対照区より大きく、肥満度についても、魚礁区の方が高いことも確認された。このことより、魚礁区の餌料環境は、対照区よりも良好で増殖（増肉）効果を有する可能性が示唆された。ただし、水深 100m 帯における増殖（増肉）効果を支持する事例は 1 例のみであり、蓋然性を高める必要がある。また、増肉効果を検討するための、スケトウダラ 0 歳魚の滞留期間や餌料量等の各パラメータについても収集・整理する必要がある。

スケトウダラ 0 歳魚の増殖（増肉）効果を検証するため、道東海域において（1）餌料等生物調査、（2）胃内容物分析、（3）炭素・窒素安定同位体比分析を実施し、スケトウダラ 0 歳魚の餌料の分布や、利用する餌料について明らかにする。

(1) 餌料等生物調査

魚礁とその周辺における、スケトウダラ 0 歳魚の餌料環境の詳細（出現種や組成等）を把握するため、プランクトンを定量採集する。

1) (2) 漁獲調査と同様に 3 海域で実施し、調査地点は、魚礁区と対照区の 2 点/海域とする。

プランクトンの採集には、試料の採水、濾過等による。採集したプランクトンの一部は冷凍して、(3) 炭素・窒素安定同位体比の分析試料とし、その他は 10%ホルマリンで固定する。固定した試料について、種ごとに個体数を計数し、動物プランクトンの種組成、出現量を把握する。

(2) 胃内容物分析

道東海域の魚礁区においてスケトウダラ 0 歳魚が摂餌する餌料の組成を直接的に把握するために、採捕したスケトウダラ 0 歳魚の胃内容物を分析する。

スケトウダラ 0 歳魚の胃を摘出し、10%ホルマリンで固定し、内容物の種類、重量を計測し、胃充満度を分析する。

(3) 炭素・窒素安定同位体比分析

(1) 餌料等生物調査および 1) (2) 漁獲調査で採集した試料について、炭素・窒素安定同位体比を分析する。

分析試料は 12 検体（スケトウダラ 0 歳魚 6 検体、プランクトン 6 検体）とする。

3) スケトウダラ 0 歳魚の保護

＜調査のねらい＞

スケトウダラ太平洋系群の加入量は、底層生活に移行した 0 歳魚の親魚等による被食の程度に依存するとされる。被食を抑制する機能を有した構造物を整備することで、道東海域のスケトウダラ資源の増大を図ることが期待されるが、その構造や効果について解明する必要がある。

既存の魚礁において、スケトウダラ 0 歳魚の保護効果を確認するため、(1) 捕食生物の胃内容物調査を実施、スケトウダラ親魚等による被食状況を明らかにする。また、被食からの保護のための構造について検討するため、(2) 水槽実験を行う。さらに、保護効果を算定するために、(3) バイオテレメトリー調査を実施し、スケトウダラ 0 歳魚の魚礁への滞留期間を明らかにする。

(1) 捕食生物の胃内容物

既設の魚礁によるスケトウダラ 0 歳魚の保護効果を把握するため、捕食者として想定されるスケトウダラ親魚、マダラの胃内容物を分析する。

漁獲調査や標本船調査により、スケトウダラ親魚やマダラを採集する。採集した魚類の胃を摘出し、10%ホルマリンで固定し、内容物の種類、重量を計測し、胃充満度を分析する。

(2) 保護のための構造検討の水槽実験

スケトウダラ 0 歳魚の被食からの保護するための構造を検討するため、水槽実験を行う。

スケトウダラ 0 歳魚が避難できて、かつ、捕食者が入れない構造を検討し、水槽実験により検証する。

(3) バイオテレメトリー調査

魚礁におけるスケトウダラ 0 歳魚の滞留期間を把握するために、バイオテレメトリー調査（設置型）を実施する。

既設の魚礁等に受信機を設置し、3 か月程度観測する。スケトウダラ 0 歳魚 30 個体に発信機を装着し、放流する。

4) 全体計画

北方海域におけるスケトウダラ 0 歳魚を対象とした漁場整備の展開に向けて、最優先で解決すべき課題は、0 歳魚の魚礁性の確認と考えられる。そのことを踏まえ、3 か年で調査の全体計画を図 f-2-2 に示す。

	1年目	2年目	3年目
魚礁性			
計量魚探(航走)	○	○	
漁獲調査	○	○	
増殖効果(増肉)			
プランクトン	○	○	
胃内容物	○	○	
CN安定同位体比	○	○	
保護効果			
構造検討 水槽実験		○	○
滞留期間 計量魚探(設置)		○	○
バイオテレメトリ			○
生息環境			
気候変動の把握	← 資料収集・整理 →		

図 f-2-2 北方海域における漁場整備の展開に向けた調査の全体計画

2.2 浮魚礁の増殖メカニズムの解明等

1) 浮魚礁の増殖（増肉）メカニズムの解明に向けて

<調査のねらい>

高知県沖の浮魚礁では、過年度の計量魚探調査（航走式）により、浮魚礁近傍でカツオ等により小型魚類が摂餌されていることが一部認められるものの、単発的な結果にとどまっており、蓄積が不十分である。また、バイオテレメトリー調査により、カツオは1基の浮魚礁に4日間程度滞留し、炭素・窒素安定同位体比分析により、浮魚礁周辺で摂餌する可能性が間接的に示されているものの、胃内容物中には不明消化物が多く、摂餌に関する直接的根拠も不十分である。

浮魚礁の周辺で餌料が増加し、カツオ等が増殖（増肉）するというメカニズム（仮説）を、データに基づいて実証（検証）する必要がある。そのために、高知県沖浮魚礁とその周辺において（1）計量魚探調査、（2）餌料等生物調査、（3）炭素・窒素安定同位体比分析、（4）胃内容物分析、（5）バイオテレメトリー調査、（6）流況水槽実験を実施し、カツオの蟄集や滞留状況、餌料生物の蟄集や滞留状況、分布を明らかにする。

（1）計量魚探調査（定点式、航走式）

浮魚礁とその周辺におけるカツオやカツオの餌となる小型魚類（マアジ、マサバ、マイワシ等）の蟄集状況を把握するため、計量魚群探知機により観測する。観測結果から、浮魚礁からの距離に応じた個体の密度、分布等を分析し、浮魚礁による蟄集効果を検証する。

① 計量魚探調査（定点式）

高知県沖の浮魚礁に計量魚探を設置し、2か月程度連続観測する。

観測には、カツオ、小型魚類、プランクトンを区別して観測できる機種を用いる。

② 計量魚探調査（航走式）

高知県沖の浮魚礁とその周辺において、①の連続観測中に2回実施する。

観測には、カツオ、小型魚類、プランクトンを区別して観測できる機種を用いる。

観測範囲は、浮魚礁の近傍を高解像度で把握するための狭領域と浮魚礁とその周辺を巨視的に把握するための広領域の2領域とする。

（2）餌料等生物調査

浮魚礁とその周辺における、カツオの餌料環境の詳細（出現種や体サイズ等）を把握する

ため、稚魚ネット等により、小型魚類やプランクトンを採集する。

高知県沖の浮魚礁とその周辺において、(1) ②計量魚探調査（航走式）と同様に 2 回実施する。調査地点は、浮魚礁と対照区の 2 点とする。

小型魚類の採集には、稚魚ネット等を用いる。採集した小型魚類の一部は冷凍して、(3) 炭素・窒素安定同位体比の分析試料とし、その他は 10%ホルマリンで固定する。固定した試料について、種ごとに個体数を計数し、全長、体重を計測して、小型魚類の種組成、出現量を把握する。

プランクトンの採集には、丸稚ネットを用いる。採集したプランクトンの一部は冷凍して (3) 炭素・窒素安定同位体比の分析試料とし、その他は 10%ホルマリンで固定して試験室に搬入する。固定した試料について、種ごとに個体数を計数し、動物プランクトンの種組成、出現量を把握する。

(3) 炭素・窒素安定同位体比分析

(2) 餌料等生物調査および 2) (1) 漁獲調査で採集した試料について、炭素・窒素安定同位体比分析する。

分析試料は 1 回あたり 9 検体（カツオ 3 検体、小型魚類 3 検体、プランクトン 3 検体）、計 3 回とする。

(4) 胃内容物分析

高知県沖の浮魚礁においてカツオが摂餌する餌料の組成を直接的に把握するために、採捕したカツオの胃内容物を分析する。

カツオの胃を摘出し、同定が可能な胃内容物については、10%ホルマリンで固定し、内容物の種類、重量を計測し、胃充満度を分析する。

(5) バイオテレメトリー調査

浮魚礁におけるカツオの滞留期間や高知県沖浮魚礁群の利用状況を把握するために、バイオテレメトリー調査（設置型）を実施する。

浮魚礁 5 基に受信機を設置し、7 か月程度観測する。カツオ 30 個体に発信機を装着し、放

流する。

(6) 流況水槽実験

物理的環境から浮魚礁の増殖効果を検証するために、浮魚礁周辺の流況を把握するための水槽実験を行う。

水槽内に浮魚礁の模型を設置し、トレーサー粒子や染料で流れの向き・速度を可視化して観測する。

2) 浮魚礁の増殖（産卵場）効果の解明に向けて

<調査のねらい>

高知県沖で採集したカツオの生殖腺熟度指数および既往知見による産卵場の水温条件と浮魚礁における水温の照合から、高知県沖浮魚礁では、7月から8月にかけて、浮魚礁に増集したカツオが産卵している可能性があることが推察されている。ただし、吸水卵を持ったカツオは未確認となっており、組織学的な成熟状況の把握が必要である。

これらを十分なデータに基づき実証するため、浮魚礁周辺のカツオの漁獲内容の定量的な把握、成熟度の分析等を行い、増殖（産卵場）効果を検証、解明する。

(1) 漁獲調査

浮魚礁におけるカツオの成熟状況や摂餌の状況を把握するために、カツオを対象とした漁獲調査を実施する。

調査位置は1) 浮魚礁の増殖（増肉）メカニズムの解明で実施する浮魚礁と同様とする。

調査時期は、高知県沖の表層水温がカツオの産卵海域の水温条件（25℃以上）となり、既往の調査でも生殖腺熟度指数（GI；Gonad Index、以下「GI」という）が成熟の目安（GI>2）となる7月から8月にかけてとする。

カツオは曳き縄釣りまたは買い上げにより採集する。分析するカツオは20検体を想定し、捕獲後、種別尾数を計数、重量・尾叉長を計測し、漁獲内容を定量的に把握する。

(2) 生殖腺分析

浮魚礁の産卵場としての機能について検討するため、採捕したカツオの生殖腺重量を分析

する。また、客観的なデータに基づいて、浮魚礁を産卵場として利用していることを示すために、カツオの生殖腺を組織学的に観察する。

生殖腺を秤量し、GI を算出（ $GI = \text{生殖腺重量(g)} \div \text{尾叉長(cm)} \times 104$ ）し、成熟度を判定する。また、秤量した生殖腺をホルマリンで固定しする。生殖腺の組織切片を作製、染色して、光学顕微鏡で検鏡し、吸水卵の有無を確認する。

3) 気候変動の把握

<調査のねらい>

過年度の調査では、黒潮離岸時に基礎生産が高く、接岸時に低い傾向がみられている。カツオの漁獲量も離岸時に多く、接岸時に少ない傾向がみられている。また、黒潮大蛇行は令和7年4月に終息したとみられており、黒潮の流路や離接岸についても調査時の状況を把握する必要がある。そのため、調査海域周辺の海域環境情報を既存資料により収集する。

(1) 海水温

カツオや小型魚類等餌料生物の生息を規定する基本的な条件、また、カツオの産卵場として成立する条件を確認するために、調査の対象とする浮魚礁や周辺の水温を把握する。

高知県沖浮魚礁やその周辺海域における水温の観測データを収集し、調査実施期間中の水温を整理する。

(2) 黒潮の流路

浮魚礁におけるカツオ漁獲量や基礎生産の多寡を左右する条件を確認するために、黒潮の流路を把握する。

4) 増殖効果（増肉・産卵場）の算定

浮魚礁の増殖（増肉・産卵場）効果について、調査結果を踏まえて便益を試算する。また、フロンティア漁場整備事業による浮魚礁の整備を想定した場合に事業要件として必要になる保護措置とその効果による便益についても試算する。さらに、浮魚礁整備により期待される効果全体に対する増殖効果が占める割合を検証し、事業の費用便益分析に向けて必要な事項を

整理、考察する。

浮魚礁による増殖（増肉・産卵場）効果の便益を整理するとともに、浮魚礁整備に伴う漁獲増等による便益を高知県より収集・整理し、浮魚礁整備により期待される効果全体に対する増殖効果が占める割合を分析する。また、マウンド礁など既往のフロンティア漁場整備事業の総便益に対する増殖効果の割合と比較し、フロンティア漁場整備事業による浮魚礁整備の見込み等について考察する。

5) 全体計画

フロンティア漁場整備事業を想定した浮魚礁整備の展開に向けて、最優先で解決すべき課題は、増殖（増肉）効果の解明と考えられる。そのことを踏まえ、3 か年で調査の全体計画を図 f-2-3 に示す。

	1年目	2年目	3年目
増殖（増肉） 餌料蛸集状況 餌料生物 摂餌実態 流動状況(水槽)	← 計量魚探(設置型) ← 小型魚類等採集 ← 胃内容物,CN安定同位体	→	← 水槽実験、数値sim →
配置計画・増殖 利用実態		← バイオテレメトリー	→
増殖（産卵場） 成熟状況	← GI,組織切片	→	
生息環境 気候変動の把握	← 資料収集・整理（水温、黒潮離接岸）	→	
増殖効果	← 増殖（増肉、産卵場）効果の定量評価	→	

図 f-2-3 沖合域における浮魚礁整備の展開に向けた調査の全体計画

6) 長寿命化を含めたコスト縮減に向けて

現状における表層浮魚礁①、表層浮魚礁②における長寿命化およびコスト縮減を実現に対し、課題とその課題解決のための調査手法について、提案する。

(1) 長寿命化

長寿命化を実現するに際しては、搭載機器および蓄電池、係留システムの課題を検討・解決する必要があると考える。

搭載機器および蓄電池は一般に寿命が約 10 年程度であり、浮体の供用年数を延ばすには、これら機器類の長寿命化が不可欠である。搭載機器の交換、メンテナンスを実施することで、解決できる可能性がある。交換については、浮体を陸上に引き上げて機器を交換する方法と、海上で機器のみを交換する方法が考えられる。浮魚礁メーカーや機器メーカー、管理者へのヒアリングを実施し、交換作業性や交換周期などの実態を把握し、安全性、施工性、経済性、効率性を考慮した手法の検討が必要である。

係留システムについては、表層浮魚礁①および表層浮魚礁②それぞれの係留システムに合わせた調査が必要となる。表層浮魚礁①（合繊ロープおよびチェーン）では、現行の合繊ロープ年間低減率で供用年数を延長すると必要な初期強度が増大する。従来よりも高強度のロープを開発、探索するか、もしくは合繊ロープの強度年間低減率の見直しを検討する必要がある。より高強度ロープの開発または探索を行う場合については、「4.1. 表層浮魚礁①の結果」に記した通り、洋上風力発電の係留システム開発で将来的に従来よりもさらに高強度ロープの生産環境が整備される可能性がある。しかしながら、整備時期が未定であることに加え、物の体積が大きくなることが想定され、各種コストアップにつながり、実現性に課題がある。ロープメーカーへのヒアリングや洋上風力発電施設の開発状況調査を行い、実現性、経済性を考慮した検討が必要である。合繊ロープ強度の年間低減率の見直しについては、1.2 2) (3)長寿命化の検討で記した通り、回収品の残存強度調査結果から、年間低減率を引き下げられる可能性がある。ただし、ロープ疲労進行具合、チェーン・係留金具類に対する影響、回収時に作用する荷重に対する安全性等、引き下げたことによる影響の確認が必要である。回収品調査結果の整理・蓄積、回収施工業者へのヒアリング、洋上風力発電施設の開発状況調査、回収作業に立ち会っての荷重調査、実機の試験設置による疲労・摩耗量調査等を行い、安全性に考慮した検討が必要である。

表層浮魚礁②（鋼製ワイヤーおよびチェーン）では、鋼製チェーンの設計摩耗代を適切に再評価することで、チェーンの交換周期を延ばし、係留システム全体の長寿命化が期待できる。浮魚礁メーカーへのヒアリングや回収品調査結果の整理を行い、実現性、安全性を考慮した検討が必要である。

(2) コストカット

コスト削減を実現するに際しては、設計条件の妥当性、係留システムの課題の2点を検討する必要があると考える。

設計に用いる波高・潮流・風速などの設計条件が適切に再評価されれば、係留システムに作用する負荷が小さくなる可能性がある。その結果として、係留システムのサイズダウン、浮体のサイズダウンなど、浮魚礁全体のコスト削減が期待できる。浮魚礁メーカーへのヒアリングや他港湾や海上、海中設備で用いられている設計条件を調査し、安全性に考慮した検討が必要である。

また、係留システムについては表層浮魚礁①（合繊ロープおよびチェーン）においては、ロープ年間低減率を引き下げられる可能性があり、これが実現すればコスト削減にも寄与することが期待できる。表層浮魚礁②（鋼製ワイヤーおよびチェーン）においては、過去の回収品調査で実際の摩耗量が設計摩耗代より小さい事例が確認されている鋼製チェーンの摩耗代を見直すことで係留システムの軽量化やコスト削減が期待できる。これらの調査手法は2.2.6）(1)長寿命化に記載した内容と同様である。

(3) 浮魚礁の設計基準・制度の見直しに係る技術的検討

浮魚礁の設計基準・制度の見直しに係る種々の技術的検討にあたっては、有識者から構成される技術検討委員会を設定して検討する必要がある。委員会のメンバーとしては、学識経験者（大学、研究機関等）、浮魚礁メーカー、水産庁、地方自治体（高知県、宮崎県など）などが想定される。

2.3 沿岸域から沖合まで一体となった漁場整備

1) マウンド礁の整備効果把握のための調査計画

(1) マウンド礁による沖合域における漁獲への波及効果

① データの収集

沖合域における漁獲への波及効果を検討するために、下記のデータを収集する。

i) 対象海域

フロンティア漁場整備事業により、マウンド礁が整備されている海域

ii) 漁獲情報

マアジ、さば類、マイワシ等のマウンド礁が対象とする魚種を沖合域で漁獲する漁業についての漁獲情報（例：大中型まき網漁獲成績報告書、中小型まき網漁獲成績報告書、魚種別漁獲場所別漁獲量、魚種別漁獲場所別漁獲努力量）

iii) 対象期間

整備前：対象とするマウンド礁が整備される前の10年間程度※¹

整備中：対象とするマウンド礁の整備が着手されてから完了するまでの期間

整備後：対象とするマウンド礁が整備された後の10年間程度※²

※1) DiD法において、平行トレンドを検証するのに必要な期間の検討が必要。

※2) 整備前の期間と同じが望ましい。

iv) 対象範囲

対象とするマウンド礁を中心とした半径100kmの円に外接する正方形を含む漁区（30'メッシュ）

対象とするマウンド礁周辺における海域環境（水深、水温、塩分、クロロフィル、流況；東西・南北流速）を指標にクラスター分析を行う。

水深（解像度：3'メッシュ、出典：General Bathymetric Chart of the Oceans）

水温、塩分、クロロフィル、流況（水深：表層、期間：調査海域において対象魚種の漁獲が多い時期の平均、解像度：5'メッシュ、出典：FRA-ROMS等）

漁獲データの位置情報の解像度（10‘メッシュ）等に合わせ、これらの要素を GIS の集計ツールにより整理する。

整理したメッシュの各指標を用いてクラスター分析により類型化し、マウンド礁と同じ海域区分を DiD の対象範囲として設定する。

② 分析手法

i) 効果範囲と対照範囲の設定

対象海域における植物プランクトンの効果範囲等（五島西方沖の事後評価では 25km×20km）を参考に小漁区（10‘メッシュ）や大漁区（30‘メッシュ）で設定する。

対照範囲については、iv) の対象範囲のうち、効果範囲以外を想定する。

ii) 効果の指標

ある場所での漁獲量は、操業隻数や頻度等の漁獲努力量により変化することが想定されることから、効果の指標は、CPUE（例：トン/網）とすることを基本とする。

iii) 波及効果の算定

DiD 法により、波及効果を算定する。

整備前の効果範囲と対象範囲の CPUE の相関等により、両範囲で平行トレンドが成立することを検証する。

効果範囲における整備前後の差と対象範囲における整備前後の差から、マウンド礁整備による効果を算定する。

(2) マウンド礁による沿岸域における漁獲への波及効果

① データの収集

沿岸域における漁獲への波及効果を検討するために、下記のデータを収集する。

i) 対象海域

フロンティア漁場整備事業により、マウンド礁が整備されている海域

ii) 漁獲情報

マアジ、さば類、マイワシ等のマウンド礁が対象とする魚種を沿岸域で漁獲する漁業についての漁獲情報（例：大中型定置網、小型定置網、魚種別漁場別漁獲量、魚種別漁場別漁獲努力量※定置網の場合は統数）

iii) 対象期間

整備前：対象とするマウンド礁が整備される前の10年間程度※¹

整備中：対象とするマウンド礁の整備が着手されてから完了するまでの期間

整備後：対象とするマウンド礁が整備された後の10年間程度※²

※1) DiD法において、平行トレンドを検証するのに必要な期間の検討が必要。

※2) 整備前の期間と同じが望ましい。

iv) 対象範囲

対象とするマウンド礁を中心とした半径100km圏内

② 分析手法

i) 効果範囲と対照範囲の設定

(1)で検討する沖合域における波及効果範囲等を参考に、沿岸域における漁獲への波及効果範囲を設定する。

対照範囲については、iv)の対象範囲のうち、効果範囲以外を想定する。

ii) 効果の指標

ある場所での漁獲量は、操業隻数や頻度等の漁獲努力量により変化することが想定されることから、効果の指標は、CPUE（例：トン/統）とすることを基本とする。

iii) 波及効果の算定

DiD 法により、波及効果を算定する。

整備前の効果範囲と対象範囲の CPUE の相関等により、両範囲で平行トレンドが成立することを検証する。

効果範囲における整備前後の差と対象範囲における整備前後の差から、マウンド礁整備による効果を算定する。

2) マアジ等以外を対象とした沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備

1.3 2) (5)で整理したとおり、ホッケを対象に沖合から沿岸域まで一体となった漁場整備を想定することができるが、ホッケの着底後の発育段階別の分布については不明であることが課題である。また、高層魚礁による蛸集効果や増殖効果については、一部の調査で示唆されているが、定量的な評価が必要である。これらを明らかにするための調査を以下に示す。

(1) 発育段階別分布

ホッケの分布については、研究機関等によるホッケの分布や水温に関する最新の情報を収集するとともに、下記に示す標本船による漁獲調査や耳石の酸素安定同位体比より把握する。

① 標本船による漁獲調査

発育段階別のホッケの分布を直接的に把握するために、標本船による漁獲調査を実施する。

操業ごと（採捕日、採捕場所；緯度、経度、水深）に採捕したホッケを買い取り、もしくは試験操業により採集する。

採集したホッケについて、体長、体重を計測する。また、耳石を採集し、輪紋から年齢査定する。

② 耳石の酸素安定同位比

ホッケの経験水温を推定するために、ホッケの耳石の酸素安定同位体比分析を行う。また、経験水温の推定に必要となる、耳石の酸素安定同位体比と水温の関係についての情報を収集・整理する。

(2) 蛸集効果

高層魚礁等によるホッケの蛸集効果を定量的に把握するため、計量魚探調査（航走式、定点式）、定点カメラ調査を実施する。

① 計量魚探調査

浮魚礁とその周辺におけるカツオやカツオの餌となる小型魚類（マアジ、マサバ、マイワシ等）の蛸集状況を把握するため、計量魚群探知機により観測する。観測結果から、浮魚礁からの距離に応じた個体の密度、分布等进行分析し、浮魚礁による蛸集効果を検証する。

i) 計量魚探調査（航走式）

高層魚礁等やその周辺におけるホッケの蛸集状況を面的に把握するために、計量魚探調査（航走式）を実施する。

観測には、ホッケ、プランクトンを区別して観測できる機種を用いる。

ii) 計量魚探調査（定点式）

高層魚礁等、カツオの蛸集が確認される魚礁の近傍に計量魚探を設置し、2 か月程度連続観測する。

観測には、ホッケ、プランクトンを区別して観測できる機種を用いる。

② 定点カメラ調査

計量魚探調査（定点式）で対象とする魚礁において、蛸集する魚種の情報を得るために、計量魚探調査と同じ期間（2 か月程度）、連続観察する。

観察には、自律型水中タイムラプスカメラ等を用い、計量魚群探知機を固定する係留系に取り付ける。

(4) 増殖効果

高層魚礁等によるホッケの増殖効果を把握するため、胃内容物分析、バイオテレメトリー調査を実施する。

① 胃内容物分析

高層魚礁等においてホッケが摂餌する餌料の組成を直接的に把握するために、2) (1)①で採捕したホッケの胃内容物を分析する。

ホッケの胃を摘出し、10%ホルマリンで固定し、内容物の種類、重量を計測し、胃充満度を分析する。

② プランクトン調査

高層魚礁とその周辺における、ホッケの餌料環境の詳細（出現種や体サイズ等）を把握するため、プランクトンを採集する。

プランクトンの採集には、丸稚ネットを用いる。採集したプランクトンを 10%ホルマリンで固定して試験室に搬入する。固定した試料について、種ごとに個体数を計数し、動物プランクトンの種組成、出現量を把握する。

③ バイオテレメトリー調査

高層魚礁等におけるホッケの滞留期間を把握するために、バイオテレメトリー調査（設置型）を実施する。

既設の魚礁等に受信機を設置し、3 か月程度観測する。ホッケ 30 個体に発信機を装着し、放流する。

(5) 全体計画

ホッケを対象とした沖合から沿岸域までの一体となった漁場整備の展開に向けて、最優先で解決すべき課題は、発育段階別分布の把握と考えられる。そのことを踏まえ、3 か年で調査の全体計画を図 f-2-4 に示す。

	1年目	2年目	3年目
発育段階別分布			
標本船調査	○	○	
耳石の酸素安定同位体比	○	○	○
蛸集効果			
計量魚探（航走）	○	○	
計量魚探（設置）	○	○	
定点カメラ調査	○	○	
増殖効果			
胃内容物	○	○	
プランクトン調査	○	○	
バイオテレメトリー		○	○
生息環境			
気候変動の把握	← 資 料 収 集 ・ 整 理 →		

図 f-2-4 ホッケを対象とした沖合から沿岸域までの一体となった
漁場整備の展開に向けた調査の全体計画