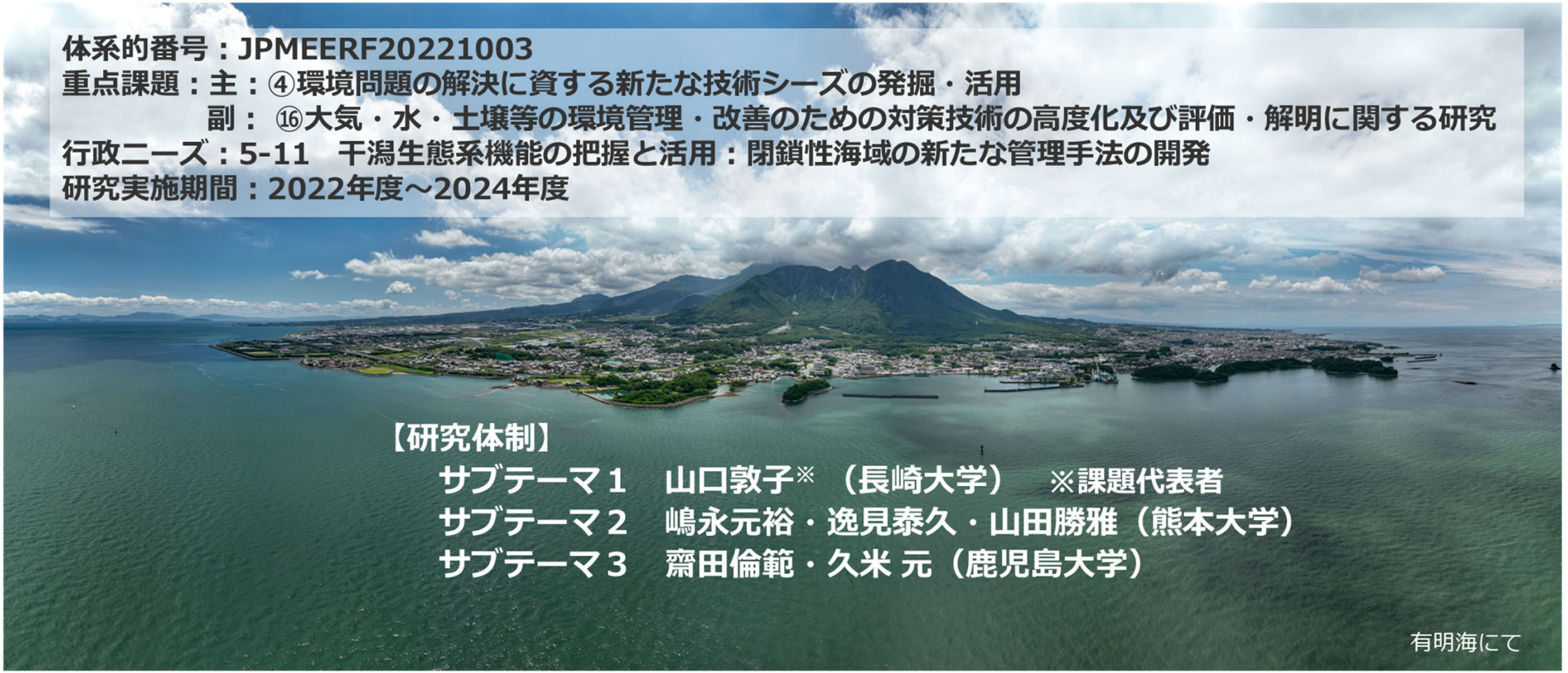
課題番号：1-2203

研究課題名：「トップダウンによる生態系機能を活用した新たな干潟管理手法の提案: 水産資源回復と生物多様性保全の両立を目指して」

研究代表者名：山口敦子（長崎大学）



体系的番号：JPMEERF20221003
重点課題：主：④環境問題の解決に資する新たな技術シーズの発掘・活用
副： ⑯大気・水・土壌等の環境管理・改善のための対策技術の高度化及び評価・解明に関する研究
行政ニーズ：5-11　干潟生態系機能の把握と活用：閉鎖性海域の新たな管理手法の開発
研究実施期間：2022年度～2024年度

【研究体制】

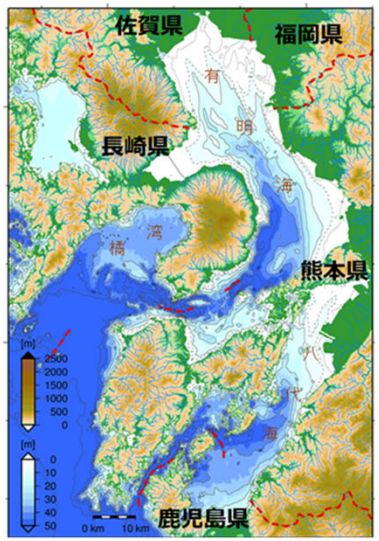
サブテーマ１　山口敦子※（長崎大学）　※課題代表者
サブテーマ２　嶋永元裕・逸見泰久・山田勝雅（熊本大学）
サブテーマ３　齋田倫範・久米 元（鹿児島大学）

有明海にて

1.　研究背景、研究開発目的及び研究目標

【研究背景】

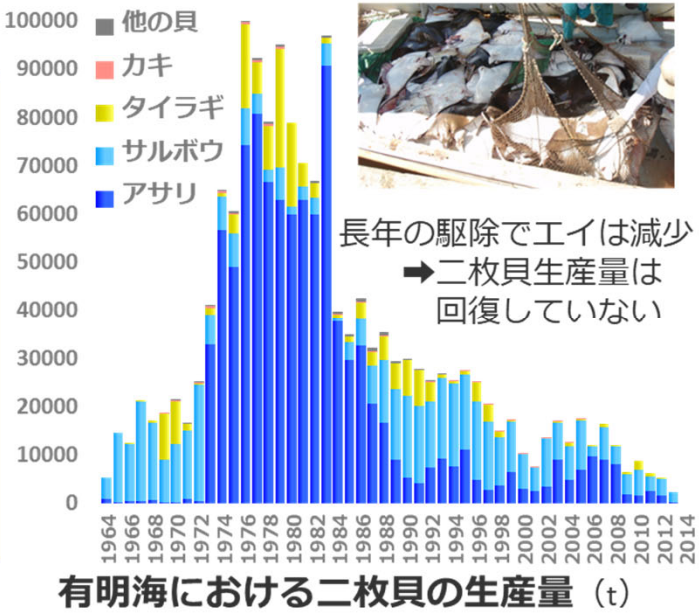
- 近年、閉鎖性水域では二枚貝生産量の低迷に代表される**干潟の生物生産機能の低下**が著しい。とりわけ日本の41%の干潟が集中する有明海では深刻。
- 2000年頃から温暖化傾向➡ナルトビエイの増加？➡二枚貝生産量の減少？
- 再生施策として水環境の改善に加え、捕食者（エイ）の駆除を約20年間継続。しかし、**二枚貝の生産量は回復していない**。エイ vs 二枚貝という単純な関係性だけでなく、複雑な食物網ネットワークが存在。
- 従来の管理（水質改善＋二枚貝の増養殖）に変わる**新たな手法の開発が必要**。



【研究開発目的】

本研究では、生物多様性保全の基盤となる生態系機能の活用を図るため、これまで著しく知見が欠けていた**高次捕食者（主にサメ・エイ類）に着目**する。

全栄養段階の包括的なネットワーク構造を明らかにし、頂点捕食者等の管理・保全に基づく**トップダウン・コントロール**により**生物生産性の確保と生物多様性保全を両立するための生態系機能を活用**した新たな管理施策を提案することを目的とする。



有明海における二枚貝の生産量（t）

長年の駆除でエイは減少
➡二枚貝生産量は
回復していない

ナルトビエイは熱帯性ではなく、未記載種だったことが判明。
代表者らが*Aetobatus narutobiei*と命名。
↓
捕食者（サメ類）の減少で増えた？
温暖化の影響は？

1.　研究背景、研究開発目的及び研究目標

【研究目標（全体目標）】

①フィールド調査と食性分析により頂点捕食者から小型魚類・ベントスまでの**全栄養段階を含めた干潟生態系の包括的な食物網ネットワーク図を作成**する。

②干潟生態系の高次捕食者や小型魚類の分布を決定づける**水環境（物理環境場：主に水温と塩分）の再現モデルを作成**し、過去の変化や将来的に想定される温暖化等の環境変化に伴う生態系構成種の変化を予測・検証する。

③生態系モデル（ここではEcopath with Ecosim）を活用し、 keystone種を特定するとともに、物理場モデルで再現した環境変化に伴う生態系構成種の過去～将来の変化とあわせて**頂点捕食者（サメ類を想定）がトップダウンにより間接的に二枚貝の増加に結び付くこと**を検証する。

最終目標（アウトプット）

閉鎖性海域の再生目標である**生物生産性**と**生物多様性の確保**を図るため、複数のkeystone種に加え、頂点捕食者の管理・保全に基づく、**トップダウン・コントロールによる生態系機能**を活用した新しい管理施策を提案する。

サブテーマと研究体制

研究課題名「トップダウンによる生態系機能を活用した新たな干潟管理手法の提案: 水産資源回復と生物多様性保全の両立を目指して」

サブテーマ１

高次捕食者から捉える生態系構造とトップダウン効果を活用した干潟管理手法の検討（長崎大学）

代表者　　山口敦子　（魚類学、水産資源学）

サブテーマ２

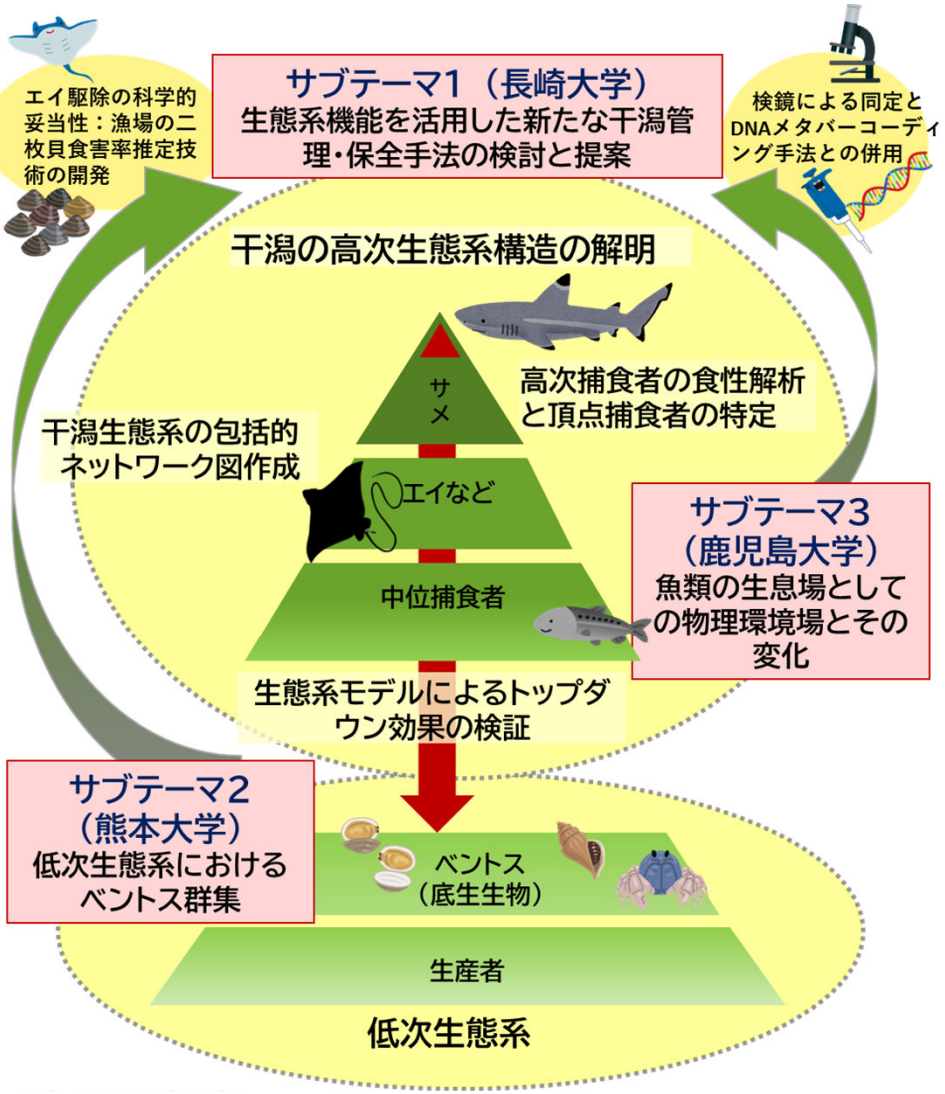
低次生態系におけるベントス群集（熊本大学）

代表者　　嶋永元裕　（微小底生生物生態学）
逸見泰久　（大型底生生物生態学）
山田勝雅　（中型底生生物生態学）

サブテーマ３

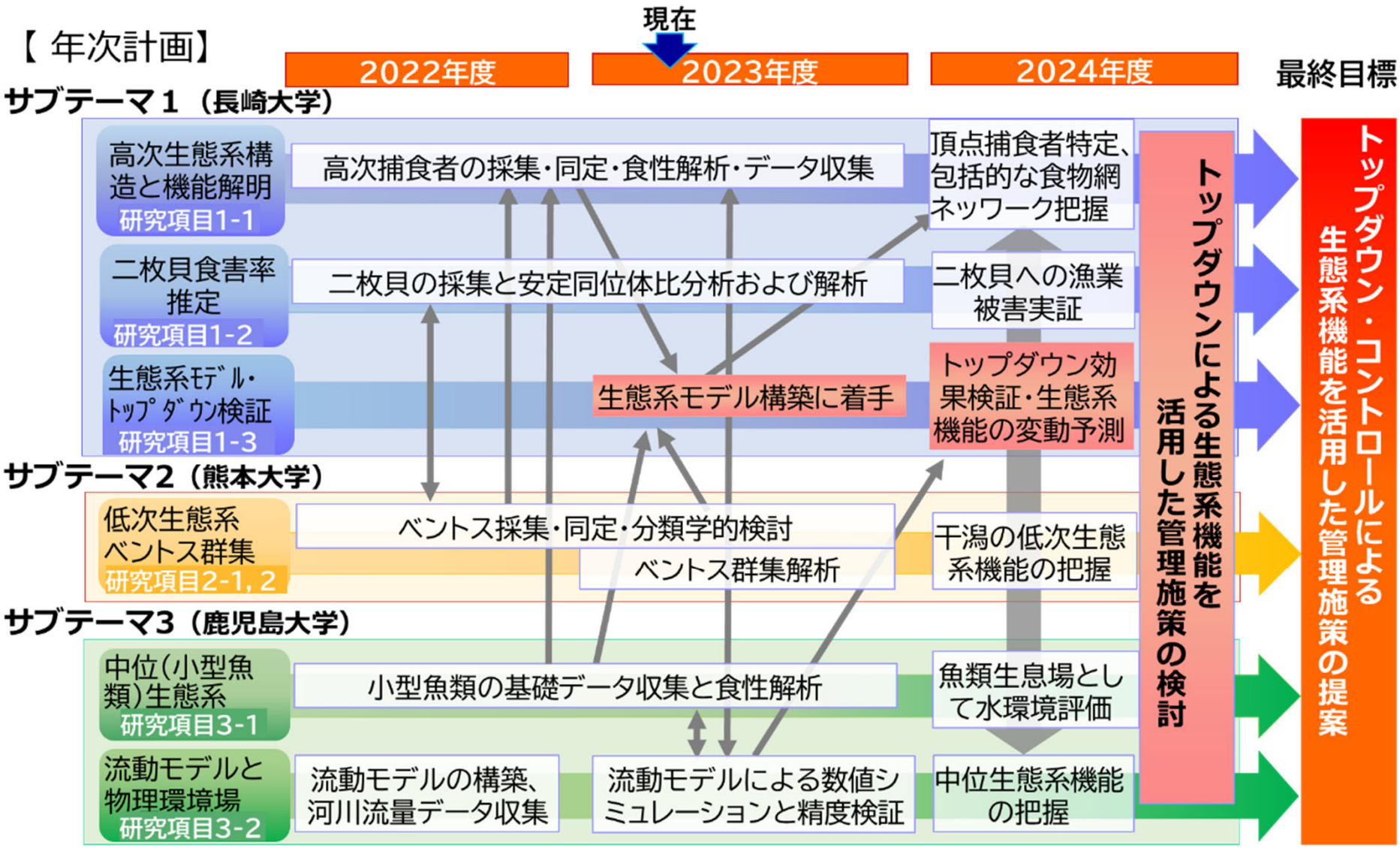
魚類の生息場としての物理場とその変化（鹿児島大学）

代表者　　齋田倫範　（環境水理学、海岸工学）
久米　元　（水産資源学、魚類学）



頂点捕食者の管理・保全に基づく生態系機能を活用した新たな管理施策の提案
水産資源回復と生物多様性保全の両立を目指して

年次計画


【 年次計画】
現在
2022年度
2023年度
2024年度
最終目標
サブテーマ１（長崎大学）
高次生態系構造と機能解明
研究項目1-1
高次捕食者の採集・同定・食性解析・データ収集
頂点捕食者特定、包括的な食物網ネットワーク把握
二枚貝食害率推定
研究項目1-2
二枚貝の採集と安定同位体比分析および解析
二枚貝への漁業被害実証
生態系ﾓﾃﾞﾙ・ﾄｯﾌﾟﾀﾞｳﾝ検証
研究項目1-3
生態系モデル構築に着手
トップダウン効果検証・生態系機能の変動予測
サブテーマ2（熊本大学）
低次生態系ベントス群集
研究項目2-1, 2
ベントス採集・同定・分類学的検討
ベントス群集解析
干潟の低次生態系機能の把握
サブテーマ3（鹿児島大学）
中位(小型魚類)生態系
研究項目3-1
小型魚類の基礎データ収集と食性解析
魚類生息場として水環境評価
流動モデルと物理環境場
研究項目3-2
流動モデルの構築、河川流量データ収集
流動モデルによる数値シミュレーションと精度検証
中位生態系機能の把握
トップダウンによる生態系機能を活用した管理施策の検討
トップダウン・コントロールによる生態系機能を活用した管理施策の提案

2.　研究目標の進捗状況
（１）進捗状況に対する自己評価（サブテーマ１）

サブテーマ１：高次捕食者から捉える生態系構造とトップダウン効果を活用した干潟管理手法の検討

【サブテーマ１の研究目標】

干潟生態系の高次捕食者（サメ・エイ等）の種組成・分布・生息状況とその多様性を明らかにする。各種の食性を定性・定量解析し、栄養段階を推定、頂点捕食者・ keystone種を特定。

サブテーマ２と３の研究成果も取り込み、生態系の包括的食物網ネットワーク図を作成するとともに、環境変化に伴う生態系構造の時系列変化を検証する。

生態系モデルを構築し、頂点捕食者からのトップダウンコントロールを評価する。加えて、科学的に未評価であったエイ類による漁業被害の定量的な評価手法を開発する。最終年度には、**頂点捕食者等の管理・保全に基づく生態系機能を活用した新しい干潟の管理・保全手法を提案**する。

【令和4年度研究計画】⇒実施済み

野外調査に基づく高次捕食者の生物学的基礎知見の収集と食性解析、エイ類の二枚貝の食害率推定

【令和5年度研究計画】⇒計画通り実施中

野外調査、基礎知見収集と食性解析およびエイ類の二枚貝食害率推定の継続、生態系モデル構築に着手

【令和6年度研究計画】

干潟生態系の食物網ネットワーク図作成、エイ類による漁業被害の定量化

生態系モデルによるトップダウン効果の再現・検証、物理環境場の変化が生態系構造の変化にもたらす影響評価・予測、干潟生態系の新たな管理手法の提案

【自己評価】計画通り進展している

2.　研究目標の進捗状況
（１）進捗状況に対する自己評価（サブテーマ２）

サブテーマ２：低次生態系におけるベントス群集

【サブテーマ２の研究目標】
高次捕食者等の餌資源となる、μmサイズから数10cmまでの多様なベントスの分布状況を把握し，栄養塩やプランクトン類を取り込む一方で高次捕食者等の餌資源となるベントス群集の干潟生態系における役割の全貌を解明することを目指す。生物同定には従来の検鏡の他、DNAメタバーコーディングによる手法も併用し、消化が進んだ魚類の胃内容物についてもメタバーコーディング法による種の同定を効果的に行う。

【令和4年度研究計画】 ⇒実施済み
・野外調査に基づくベントス各分類群の基礎データ収集（採集・同定・食性解析）

【令和5年度研究計画】 ⇒計画通り実施中
・野外調査に基づくベントス各分類群の基礎データ収集の継続
・ベントス群集の空間変異と高次捕食者分布との関連性に関する多変量解析開始

【令和6年度研究計画】
・高次捕食者・中位魚類の定量的データを含めた食物網ネットワークの作成
・生態系モデルによるベントスによるボトムアップ効果の検証とシミュレーション

【自己評価】計画通り進展している

2.　研究目標の進捗状況
（１）進捗状況に対する自己評価（サブテーマ３）

サブテーマ３：魚類の生息場としての物理環境場とその変化

【サブテーマ３の研究目標】

外海水と河川水との混合過程で形成される塩分分布は、外海域と干潟を往来する高次捕食者や生活史のあるステージで干潟域へ輸送されて優占種となる小型魚類等の動態の規定要因となる。

サブテーマ3では、数値モデルによる塩分・水温分布の評価結果から、サメ・エイ類から小型魚類までの好適物理環境の変化を検証する。また、干潟域を重要な生息場とする小型魚類に着目した食性解析を行う。当初年次計画に従い、前述の研究内容に関わる以下の活動を中心に実施。

【令和4年度研究計画】 ⇒実施済み

・野外で調査に基づく小型魚類の基礎データ収集と食性解析
・潮汐を外力とする流動モデルの構築，および境界条件に関する資料の収集

【令和5年度研究計画】 ⇒計画通り実施中

・野外での調査に基づく小型魚類の基礎データ収集と食性解析
・塩分・水温分布に着目した数値シミュレーションと塩分・水温分布の精度検証

【令和6年度研究計画】

・低次食物網構造の解明
・環境物理場が魚類の出現様式に及ぼす影響の解明、過去と将来の塩分・水温分布に着目した数値シミュレーション

【自己評価】計画通り進展している

2.　研究目標の進捗状況
2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ１）

【具体的な理由・根拠】

2022年からの２年間は、野外調査に基づく高次捕食者の生物学的基礎知見の収集と食性解析（研究項目1-1）、エイ類の二枚貝食害率推定（研究項目1-2）を集中的に実施する計画であり、2023年7月時点で軟骨魚類12種と硬骨魚類108種、計2000個体以上を採集・同定（図１）できた。新たに出現を認めた種、水産資源として未利用の多数の種、代表者らの先行研究分も含め、**主要な生態系構成種をほぼ網羅**できた。食性の定性・定量的解析の大半を完了し、栄養段階の高い**頂点捕食者**および**keystone種**（重要種）の候補も絞りつつある。二枚貝の食害率推定では、研究対象の貝として**サルボウを選定でき**、安定同位体比データも得た。

2年目からは、計画通りEcopath with Ecosimを用いた生態系モデル構築（研究項目1-3）に着手できた。サブテーマ３より、プランクトン食性など**小型魚のデータも取り込み**、食性、生活史等のデータを吟味するとともに、参考となる文献や資料の収集も実施。サブテーマ２も今後取り込む。**類似の食性を持つ種のグルーピング**（生態系モデル構築に必要）も実施中。

なお、2年目前半までの進捗が予定通りに進んでいるため、最終年度に計画していた**包括的な食物網ネットワーク図の作成**にも既に着手できた（図２）。

図１ 今年度採集した魚種

2.　研究目標の進捗状況
2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ１）

【具体的な理由・根拠（サブテーマ１、続き）**】**

より包括的な提案として盛り込むため、追加の対応も実施

採択時の審査委員コメント（9，11）への対応として、再生方策の一つである「自然生態系への人工種苗放流魚の添加」の影響をトラフグの生態系機能の面から評価→本管理手法の提案に盛り込める成果（**国際誌に掲載**）。食性のDNAメタバーコーディング解析に対し、安価で汎用性の高い「魚類耳石カタログ」を並行して作製中。組み合わせることで高精度の胃内容物解析に貢献。➡以上から、**「計画通り進展している」と自己評価**した。

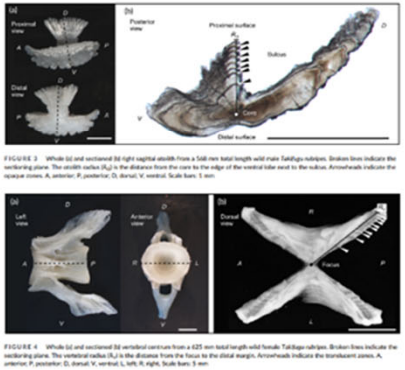


図１　放流・天然由来のトラフグ

放流由来の適応度が低く、再生産失敗の原因となっている可能性。フグ類では世界で初めて耳石による年齢解析に成功し、現在行われている脊椎骨による成長解析の精度いついても言及。
（査読付き国際誌に掲載：Ogino and Yamaguchi, 2022）

【目標達成の見通し】

全ての研究項目については２年間で予定していた成果を得た。既に、1-1では３年目に予定している生態系の包括的な食物網ネットワーク図の作成にも着手した。1-2では安定同位体比の値をもとに判別分析を行い、漁業被害の程度を見積もる。今後は、1-3の生態系モデルの構築に注力する。サブテーマ２と３の成果を取り込むほか、代表者が指導する学生の博士論文の研究テーマに設定、週１回以上のミーティングで議論と進捗の確認をはかっており、トップダウン効果の検証についても見通しが立った。サブテーマ３の物理場モデルについては１年目の後半から十分なすり合わせを開始。新たな管理手法提案に向けた準備も順調で、最終目標を達成できる見込みである。

2.　研究目標の進捗状況
2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ２）

【具体的な理由・根拠】

八代海・有明海共に、過去の自他の研究成果との比較が可能な測点を選定し、それらの測点から、メイオからメガ～すべてのサイズのベントスサンプル採集を行った. 従ってここまでの調査は計画通り進行したと判断する。有明海は夏季貧酸素水塊の影響を最も受けている時期に採集を行ったため、他の季節に採集されたサンプルとの比較により、ベントス群集組成の季節変動も把握可能である(図１)。

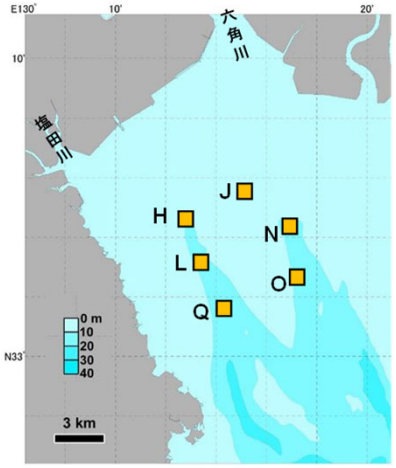


図1. 有明海湾奥部定点
2023年度も調査予定

【目標達成の見通し】

・今後は、これまでに採集されたサンプルと比較のため、夏季貧酸素水塊発生以前（春～初夏）のサンプル採集を有明海湾奥部で行う一方で、計野外調査に基づくベントス各分類群の基礎データ収集を継続する。さらにDNAメタバーコーディングと同位体等のデータ収集も調査項目に加え、対象海域の主要種の塩基配列が未登録の種・未記載種については形態分類体系の確立後、塩基配列を決定、データベース上に登録する。

・上記のサンプルを分析することによりベントス群集の時空間変異を明らかにする一方、今年度後半からは他のサブグループからの情報提供を元ベントス群集時空間変異と捕食者分布との関連性に関する多変量解析を開始する（図2）。最終年度までには、サブテーマ１にベントス群集のデータを提供するため、高次捕食者・中位魚類・ベントス群集の定量的データを含めた食物網ネットワークの構築は可能と考える。

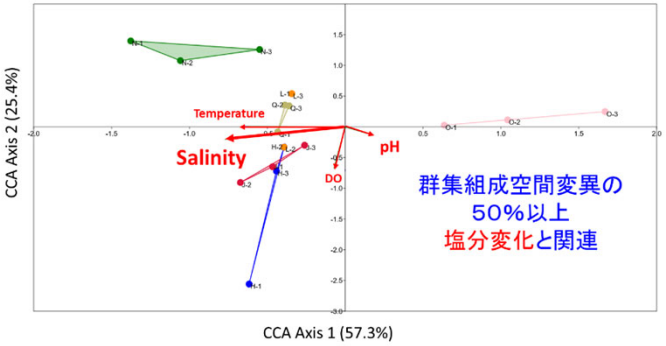


図2. 多変量解析の一例(CCA)
ベントス群集の空間変異に最も貢献する説明変数（環境要因や捕食者の数量など）を検出する

2.　研究目標の進捗状況
2）自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し（サブテーマ３）

【具体的な理由・根拠】

・シログチとコノシロの食性について、消化管内容物の光学、実体および電子顕微鏡による検鏡、DNAメタバーコーディング解析により明らかにすることができた。また、他魚類との食性の比較研究を通して、2種の食性について包括的に理解を進めることができた。

・有明海・八代海および両湾湾口周辺海域を計算対象とする流動モデルを構築した。本事業で重要となる河川からの淡水供給については、一級河川の流量・水温データに基づく中小河川の流量・水温の推定手続きを整備し、有明海・八代海内の淡水流入点の設定を完了した。

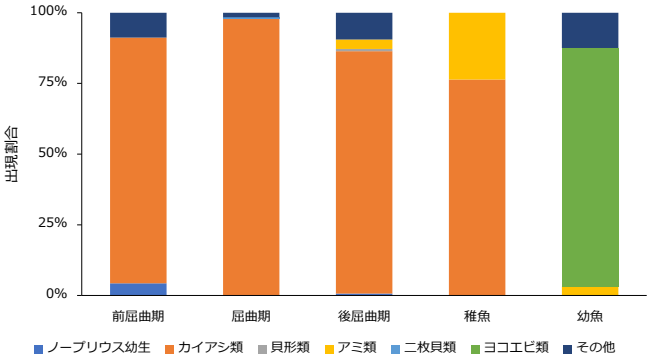


図１. シログチの食性と成長に伴う変化

【目標達成の見通し】

・次年度はコノシロの検体数を増やし、仔魚期から成魚期までの生活史全体を通しての食性を明らかにする。また、シログチ、コノシロと並び、有明海および八代海で優占する重要な漁獲対象種であり、生態系において食物網を通じて重要な役割を担っていると考えられるマナガツオの食性解析を進める。

・研究代表者と協議の上、具体的な計算対象期間を選定し、長期的な計算に移行する。塩分・水温分布の再現性については、研究代表者との綿密な打ち合せによって、魚類の動態把握の観点から要求される水準を満足するよう注力する。

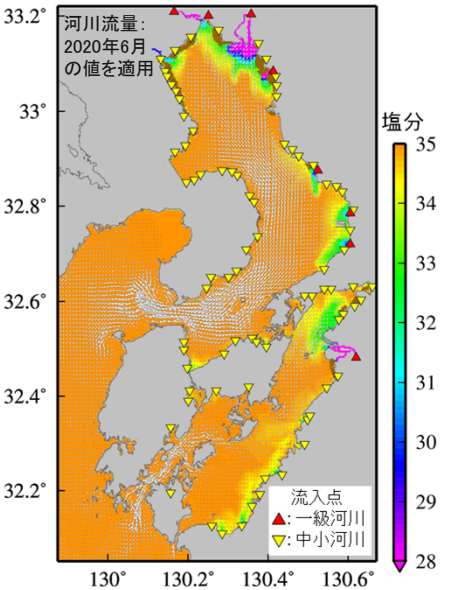


図２. 淡水流入点設定状況及び計算開始初期の表層塩分分布の例（下げ潮時）

3.　研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が活用することが見込まれる成果】

1. **環境省「有明海・八代海等総合調査評価委員会」等への貢献**
   R８年度の評価委員会報告作成に向けた再生にかかる評価と再生方策の検討にかかる議論
   生物生態系および・生物多様性に関する科学的基礎知見の充実
2. **閉鎖性海域の新たな水環境管理・再生手法**
   高次捕食者がもつ生態系機能の把握と活用
   トップダウンによる生態系機能を活用した新しい水環境管理手法（生態系モニタリング技術）
3. **生物多様性条約にかかる保全戦略への貢献－国内・国際**
   環境省版レッドリスト作成とレッドデータブック執筆等への貢献
   IUCNでの絶滅の恐れの評価とレッドリスト作成、国際的な保全政策立案
4. **気候変動適応策への貢献**
   物理環境の変化が生態系構造・機能にもたらす影響の予測
5. **生物多様性国家戦略2023-2030への貢献**
   生物多様性国家戦略2023-2030の基本戦略および行動目標への貢献

【行政等が既に活用した成果】

1. **有明海・八代海等総合調査評価委員会　海域環境再生方策検討作業小委員会での議論に貢献**
2. **環境省・絶滅のおそれのある野生生物の選定・評価検討会（魚類分科会、甲殻類分科会、その他無脊椎動物分科会）での次期・第５次レッドリスト公表に向けた絶滅危惧種の選定やレッドデータブックの執筆（2022年度には関連の４種分執筆）に貢献。**
3. **IUCN（国際自然保護連合）・SSC（種の保存委員会）の絶滅の恐れの評価とGlobal report執筆**

４．　研究成果の発表状況

【誌上発表（査読あり）：1件】

・Ogino, Y., and A. Yamaguchi: Reduced lifetime fitness (growth, body condition, and survivability) of hatchery-reared tiger pufferfish *Takifugu rubripes* compared to wild counterparts. J. Fish Biol.101, 1270–1284 (2022) (IF：2.504）

【誌上発表（査読なし、書籍含む：4件】

・山口　敦子、鶴留　司、永光　萌衣、川久保　晶博、古満　啓介:東シナ海と九州北西岸におけるオナガザメ科ハチワレ*Alopias superciliosus*の出現記録と繁殖に関する知見. 日本板鰓類研究会会報（2023）

・Yamaguchi , A. and S. Tanaka: Japan. Asia, Regional Overview. in Global Status of Sharks, Rays and Chimaeras Report. IUCN SSC SSG *in press*

ほか

【口頭発表（学会等）：29件】

・山口敦子・米田丈伸・古満啓介、令和５年度日本水産学会春季大会（2023）アカエイ*Hemitrygon akajei*は多様な餌を摂食するジェネラリスト.

・嶋永元裕（招待講演）．日本水処理生物学会第58回年次大会（2022）九州閉鎖系内湾の干潟・潮下帯の生態系と水棲生物群集.

・Akinori Minagawa, Toru Kobari, Junya Hirai, Satoru Jinno, Kazuhiro Shiozaki, Mutsuo Ichinomiya, Tomohiro Komorita, Gen Kume. PICES-2022 Annual Meeting (2022) The food source of anguilliform leptocephali in the Satsunan area, southern Japan　ほか

【国民との対話：16件】

・長崎大学水産ミュージアム見学・講演会（2022年8月12日、代表者が立ち上げた長崎大学水産ミュージアムにて、島根県の高校生約70名）に標本をもとに成果を紹介・対話

・出前講義「魚類の知られざる多様な生態について」（2022年9月17日、鹿児島県立武岡台高校、約60名）にて魚類の生態について、最新の研究成果を交えつつ講義、対話　ほか

【マスコミ等への公表・報道等：15件】

NHK Eテレ（2022年4月放送、ギョギョッとサカナ★スター「エイ」監修）

NHK Eテレ（2023年2月放送、ギョギョッとサカナ★スター「シログチ」監修、番組内で本課題の成果を紹介）

フジテレビ（2022年9月13日放送、めざましエイト、「川などに「エイ」出没相次ぐ刺されると“命の危険”…貝類の食害も」）ほか

５．　研究の効率性

研究体制、課題管理、研究資金の運営に関して効率的に実施した点、工夫した点

サブテーマ１

- 過去20年以上、同海域で着実に展開してきた研究があるからこそ、挑戦的な本課題をわずか３年で実施できる。
- 野外調査や生態解明の魚類採集・環境計測機器、顕微鏡等の必要機材は既に保有、規模に対して安価に実施可能。
- 代表者の下で野外調査や魚類の分類学に関する高度な知識と技術を得た博士研究員1名を雇用。
- 課題関連の研究テーマを研究室に所属する学生（学部、修士、博士）に与え、教育に役立てると同時に、分析等を研究室内で効率的・効果的に実施できており、充実した研究体制で臨めている。
- 代表者が学内に作ったミュージアムに本課題で得られた生物標本や成果等を展示。本学を訪問する高校生や一般、外国人研究者らに高い頻度で成果の説明と対話を実施。他水域での環境問題との類似性を見出し、地域にとどめず、より汎用性の高い成果として効果的にまとめ上げることを念頭に研究を実施。

代表者が立ち上げた学内のミュージアム

サブテーマ２

- 俯瞰的な予算管理運営と生物サンプル処理補助のためRA雇用

サブテーマ３

- 最終目標であるサブテーマ１の食物網ネットワークの解明に向け、研究代表者との綿密な打ち合わせのもとで小型魚類として適切な研究対象種を選定した。
- 計算環境を研究の進捗に応じて段階ごとに整備するなど、研究資金活用の効率性に配慮しつつ、数値モデルの運用環境を構築を図った。