

## 拠点構想の概要

※A4 3ページ以内で作成すること。

**拠点名：** 変動海洋エコシステム高等研究機構

**ホスト機関名1：** 東北大学

**ホスト機関1の長：** 大野 英男、東北大学総長

**ホスト機関名2：** 国立研究開発法人海洋研究開発機構

**ホスト機関2の長：** 大和 裕幸、海洋研究開発機構理事長

**拠点長候補者：** 須賀 利雄、東北大学大学院理学研究科、教授

**事務部門長候補者：** 安藤 健太郎、海洋研究開発機構地球環境部門、専門部長

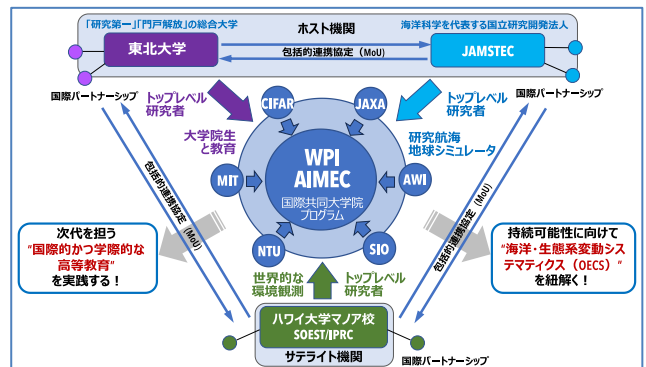
### 1) 拠点形成の全体像

産業革命以降の人間活動は、地球システムを構成するあらゆるサブシステムに重大な影響を与えるまでに拡大し、現在、地球温暖化・海洋酸性化・生物多様性喪失・生態系機能崩壊などが顕在化している。この危機的な状況にあたり、地球-人間システムの変動メカニズムの理解とその予測は、人間社会の持続可能性にとっての最重要課題である。これまでに、地球-人間システムのサブシステム要素について、現在の状況をスナップショット的に計測・評価する研究開発が進展し、また、人間活動の影響を含む地球環境の変化が生態系の生物多様性や機能性に与える影響について個別・地域研究が行われてきた。しかし、サブシステム間の複雑な相互作用による生態系の変化と、それがいかに地球環境を変化させ、人間の持続可能性に影響を与えるかというフィードバックの理解は限定的である。

本拠点のミッションは、「**地球-人間システム変動に対する海洋生態系の応答・適応メカニズムとは何か？**」という第一義的な問いを解き明かすことである。特に、陸の生態系に比べて圧倒的に理解が遅れている海洋の生態系に焦点をあて、海洋物理学、生態学、数理・データ科学を融合した新しい学術領域として「**海洋・生態系変動システムティクス (OECS)**」を創成し、それを世界的に牽引していく。それにより、海洋生態系の持続可能性に不可欠な要素である**連動性・安定性・適応性の理解**を格段に深化させ、生態系サービスへの相互的なフィードバック効果を含む高度な海洋生態系変動予測を実現する。これにより、基礎科学の立場から「**海洋及び生態系の再生と回復の実現に寄与する**」。

このミッションの遂行には、これまでに整備された衛星・現場観測ネットワークの拡張と利用、環境DNAや生物地球化学の新規データの取得、それら多様なデータの統合・一元化と予測が鍵となる。本拠点ではアンダーワンループのもとに気候物理学、海洋物理学、生態学、生物学、地球化学、情報科学、数理・データ科学などにおける第一線の研究者が集い、融合研究のための基礎的なデータセットを作成する段階から協働し、性質の異なるデータ間の関連性についての科学的な相互理解を追及する環境を整備する。拠点開始当初には、我が国の地理的立地条件と長年の研究の蓄積を活かし、海洋環境の時空間変動が大きく、世界的にも最も生物多様性に富んだ北西太平洋を重点海域に定め、効果的な融合研究を展開して、地球システムモデルを進化させる。同時に、研究の進展と共に創出されるデータ統合プロダクトを全球展開し、対象領域の枠を超えた国際的なデータ活用とOECSの基盤整備を推進して、世界にインパクトをもたらすWPIアライアンス拠点を構築する。

本拠点では、東北大学と海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 及びハワイ大学マノア校との強固な組織間連携のもと、世界トップクラスの研究者や優秀な若手研究者約90名を糾合する。(i)東北大学の基礎学術の強みと高等教育機能、(ii)JAMSTECがもつ海洋調査や計算機プラットフォームの機能、(iii)ハワイ大学の環境観測機能による多様な科学知をリンクすることで、北西太平洋を重点海域とする分野融合研究と国際頭脳循環・高等教育を効果的に実践できるWPIアライアンス拠点を構築する(図A)。本構想のように、**重点海域を戦略的に定め、グローバル人材の育成機能も備えた機動的な国際的海洋研究拠点は世界的にも例がない**。さらに、3機関がもつ国際ネットワークを活かし、融合研究の高度化と高等教育のさらなる強化を図る。また、本拠点の国内外への広報・アウトリーチ・DX機能を充実化し、国連機関・政策決定者への情報提供や一般社会に向けて継続的かつ効果的な情報発信を行う。それらを通じて本WPIアライアンス拠点が創出するシナジー効果を最大化しつつ、将来の地球-人間システムを持続可能に導く「**惑星スチュワードシップ**」に貢献していく。



図A. 本WPIアライアンス拠点構想の概念図。

## 2) 世界を先導する卓越研究と国際的地位の確立

### 2) -1. 研究内容

環境変動に対する海洋生態系の応答・適応メカニズムに関する分野横断・融合研究ターゲットの一つとして、気候や生態系の広範で急激な大きな構造転換である「レジームシフト」に焦点をあてる。この現象には、海洋環境場における異なる時空間スケール変動間の連動性や非線形相互作用や生態系応答のさらに強い非線形性が本質的であると考えられているが、その詳細メカニズムは明らかではない。レジームシフトの解明を通して生態系の変動メカニズムの理解を深化させることは、地球温暖化にともなうティッピングポイントの理解にもつながると期待される。まず本拠点における融合研究の軸となる研究課題Ⅰ～Ⅲについて述べ、特に各課題で得られた科学的知見・データの集約化のポイントについて「2)-2. 融合研究」で述べる。

**I. 気候・海洋・生態系の相互作用とレジームシフトの解明：**大気海洋結合系の振動現象である太平洋 10 年規模変動と連動した、黒潮続流の安定性の 10 年規模変動は、季節サイクルや日々の変動などの短周期変動、前線波動や海洋渦などの中小規模変動に影響を与えている。このうち、10 年スケールから季節サイクルまでの海洋環境場の変動については、過去 30 年以上にわたる複数の観測プロジェクトが実施され、北西太平洋はその実態とメカニズムの理解が世界でも最も進んでいる。この知見を最新の自律型測器（Argo フロート・水中グライダーなど）や海底ケーブル設置型測器による観測データと組み合わせることで、幅広い時空間スケールでの理解が可能になる。さらに、現在、急速に活用が広がりつつある環境ゲノム（eDNA）情報や生物地球化学的データ、ゲノムレベルの可塑性や適応進化プロセスデータを、この環境変動過程の詳細情報と融合して効果的かつ効率的に活用できる。これにより、海洋環境場及び海洋低次生態系の、沿岸から外洋、表層から中深層、前線から大洋のスケール、日変化から 10 年周期変動における、時間的・空間的変動パターンを階層的に抽出し、時空間スケール間および変数間の連動性を、統計学的手法や機械学習を駆使して明らかにしていく。

**II. 環境変化に対する生態系の応答・適応・進化のメカニズムの解明：**海洋生態系の応答・適応メカニズムを解明するには、I で実施する現象把握の時空間的な高解像度化に加えて、生物応答そのものを個体、個体群から群集レベルまで幅広く把握する必要がある。表層の基礎生産を担う海洋微生物生態系は、生態系食物連鎖における高次生物の多様性や存在量、移動経路などに直接的な影響を与えている。生態学の理論においては、生態系における種間相互作用の変化は世代間よりもはるかに短い時間スケールで起こり、その変化の集積が大規模な群集レベルの生態系変動に影響を与えると考えられている。これまでに東北大学では、日本沿岸における eDNA モニタリング（ANEMONE）を 10 年以上にわたり実施し、非平衡・非線形の種間相互作用を分析することで、生態系の動的安定性指標を確立し、季節的な環境変動要因に対する群集・種間レベルの生態系応答の評価に成功してきた。本研究では、JAMSTEC やハワイ大学における定点観測ステーションや海洋調査の機会、現場 eDNA 採取・分析デバイスを最大活用し、ANEMONE で実証された eDNA の時空間変動解析の適応範囲を北西太平洋に拡大する。地球温暖化は、地球のあらゆる生態系に影響・負荷を与え、生物多様性の喪失を加速化させている。in situ における eDNA/RNA 分析に加え、環境ストレスを加えた in situ あるいは in vitro での集積培養系による「カルチュロミクス」のアプローチを真核生物から原核生物、ウイルスや残存 DNA を含む全ての核酸分子にまで適用し、海洋物理環境の周期的な挙動モードとそれを逸脱したイベントへの海洋生態系の潜在的な応答・適応性を、遺伝子発現や代謝産物レベルで明らかにする。

**III. 海洋生態系の変動予測：**環境変動と生産性の関係を定量的に捉えた将来予測のためには、物理環境の擾乱が海洋生態系にどのような影響を与え、生産性の維持や変化につながっているのか、メカニズムを理解し精緻に再現することが必要である。JAMSTEC が開発した海洋大循環モデルでは、全海洋をカバーし中規模渦も一定程度表現できる水平解像度約 10 km の海洋物理環境を再現している。このモデルに、I で明らかにする変数間の連動性、および II で明らかにする遺伝子発現・代謝レベルでの応答・適応性をパラメタライズして組み込んだ海洋生態系モジュールを搭載し、観測データを同化することで、海洋生態系モジュールの検証と改良を行いつつ、海洋の物理環境と生態系が相互作用する物質循環系を時空間的かつ定量的に理解する。加えて、生物分布を物質循環や気候形成に対する機能へ変換する手法を開発し、AI 機械学習を活用することで、海洋物質循環と生産性の変化や人間活動への相互フィードバック機構の理解と予測の高度化につなげる。

### 2) -2. 融合研究

「レジームシフト」を含む生態系応答・適応メカニズムを解明するためには、幅広い物理・生物現象の高時空間解像度での観測と数値モデルによる再現が必須である。沿岸域を含めた人工衛星データや海底ケーブル観測網により得られる海底圧力データなどを活用し、他観測では難しい黒潮域や沿岸域の流れの観測を I で実施する。これら革新的な観測技術により得られる観測データと III の数値モデルを融合することにより、高い時空間解像度での現象把握・再現を実現する。さらに、I による海洋物理学的な短周期的な変動パターンと II による生物多様性や機能性の動的安定性指標との相関について、AI 機械学習を取り入れた数理・データ科学により解析し、時空間的な高解像度化と生物応答過程の高解像度化を両立させる。それにより、海洋生態系全体の安定性と適応性、そして生態系側から作用する潜在的な地球環境へのフィードバック機能の解明に迫る。Ⅰ～Ⅲの成果を融合し、現実の 10 年周期の海洋環境変動と生態系変動について、実際の観測データと実験データの同化による環境場の再現及びシステム検証を行う。多数のアンサンブル実験は、生物分布、生産性の変動性がとり得る多数の状態の可能性（不確定性）と位置づけられ、多様性形成の本質的理解につながる。海洋の近未来予測にとって重要な変動である 10 年変動を、予測精度の評価を含んで予測することに加え、漁業活動等の人間活動に関する変数も予測することで、環境と社会が相互に影響しあって変化する系のダイナミックな予測を実現し、地球温暖化の適応・緩和策、海洋及び生態系の再生と回復など、持続可

能性創出に資する惑星スチュワードシップに貢献することができる。課題Ⅰ～Ⅲ およびそれらの融合研究の成果と中間プロダクトを順次データベース化し、これに基づく海洋生態系のための生成系 AI のプロトタイプを作成して、さらなる分野融合研究に活用するとともに、10年間で一般に公開可能な生成系 AI の構築を目指す。

### 3) 国際的な研究環境と組織改革

#### 3) -1. 国際的研究環境

本拠点立ち上げ時には、東北大学が所有する約4,000 m<sup>2</sup>の共用スペースを使用し、3年以内に、新棟を設置し、研究・管理・支援システムを一元化したアンダーワンルーフ型の融合研究環境を構築する。PIをはじめとする研究者に先進的でオープンな研究空間を提供することで、国際的な頭脳循環を促進する。2022年4月に全学的な機能として、東北大学に「国際サポートセンター」が設置され、WPI-Academy AIMRのノウハウに基づき、海外の研究者や訪問者の宿泊、生活、研究協力について英語で質の高い支援を行っている。JAMSTECは、フロンティア研究制度発足以来、多くの外国人研究を受け入れており、2014年からは国際的な「JAMSTEC Young Research Fellowship Program」を開始して、延べ40名の若手研究者を受け入れてきた。本WPIアライアンスは、東北大学、JAMSTEC、ハワイ大学マノア校、その他の国際的なパートナーの多様なインフラを通じて、拠点の立ち上げ時から、人的交流や異分野融合共同研究活動を最大化する国際研究環境を実現できる。また、国連海洋科学の10年のプログラム・プロジェクトをはじめとする海洋生態系に係わる国際プログラム・プロジェクトに、米国・欧州をはじめとする世界の主要機関と協力しつつ参加することにより、それらの機関と相互利益的な関係を築く。

#### 3) -2. 拠点運営・システム改革

拠点長候補の須賀は、複数の国際海洋観測研究プロジェクトを成功に導いた経験を活かし、研究組織全体を指揮・統括し、拠点運営に関するあらゆる意思決定の責任を持つ。事務部門長候補の安藤は、ユネスコ政府間海洋学委員会西太平洋小委員会議長として国際的な海洋科学の推進の経験を活かし、本拠点の国際頭脳循環を世界トップレベルにまで引き上げる。使用言語は英語とし、専属のURAや国際コーディネーター・科学コミュニケーターを採用する。研究部門約110名、事務部門約40名、合計150人前後の人員構成とし、外国人・女性比率を共に30%以上を維持する。研究遂行にあたりPIが持つ強力な国際ネットワークを活用する。また、著名な科学者や有識者による国際アドバイザリーボード(SAB)を配置し、科学及び運営面に係るアドバイスを頂く。

本拠点を「東北大学グローバルゲートウェイ戦略」の下、「研究イノベーションシステム」の最上位層「高等研究機構」に位置付け、同機構の「学際科学フロンティア研究所(FRIS)」や「国際共同大学院プログラム」と連携する。JAMSTECにおいても、第4期中長期計画の方針の下、高度な海洋調査や計算機等の機能を活用した国際最高水準の研究体制を新たに構築することで、東北大学との一体的かつ機動的な拠点運営の推進体制を整備する。

### 4) 次代を先導する価値創造

#### 4) -1. 基礎研究の社会的意義・価値の創出・発信

2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標(SDGs)」を受け、「カーボンニュートラル」や「ネイチャーポジティブ」に関する取り組みが進み、SDG14(海洋)に向けて、2021年より国連海洋科学の10年が進められている。2022年12月に開催された生物多様性条約第15回締約国会議(COP15)において、2050年までに「自然と調和した世界」という長期目標に向けた各国の取り組みが共有され、これを受け、2023年3月に開催されたGサイエンス会議では「海洋と生物多様性の再生・回復」が提起された。更に2023年5月のG7科学技術大臣会合において海洋生態系観測の強化が宣言された。しかし、海洋物理学の原理で定義された生物生息域の時系列研究と、移動生態系の機能性やその可塑性・複雑性・適応性に関するゲノム発現レベルの学際的研究との間には大きなギャップがあり、海洋生態系の変化、回復、修復の正確な予測を困難にしている。本WPI拠点は、こうした基礎科学のボトルネックを解消し、より正確な海洋生態系変動の予測を実現することを目的としている。世界の海洋面積の41%が人類による影響(海運、漁業等)を受けて、日本を含む多くの国が海洋生態系から恩恵を享受している。従って、本拠点の学際的基礎研究と根拠のある予測情報は、将来の海洋産業や政策立案者など利害関係者に科学的指針を与え、人類の幸福と繁栄の向上に寄与するものである。研究成果やそこから得られる統合的な知見に関する発信は、国連などの関係機関や国際プログラムを最大限に活用しつつ、定期的な一般市民や政策決定者との円卓会議やSNSやウェブサイト等を介した情報発信、独自の動画配信チャンネルを立上げること等により、多様なステークホルダーに対して効果的かつタイムリーに行う。

#### 4) -2. 高等教育とも連動した次代の人材育成

若手研究者が関連部局の博士課程に積極的に参加できる体制を整え、国内外の大学院生にJAMSTECなどの世界トップクラスの研究者による指導ができる体制を構築する。国際公募により若手研究者を積極的に採用し、初年度は6名、次年度は年間18名のポスドクを採用する。10年間で54名以上のポスドク研究者を支援する。特に優れた業績を上げた若手研究者を「Rising STAR Researchers」として指定する。国際的・学際的な大学院生を育成するため、東北大学は国際共同大学院プログラムのもと、ハワイ大学マノア校と連携し、2018年から5名の共同指導学位取得者を輩出している。本拠点では、東北大学、JAMSTEC、ハワイ大学マノア校との緊密な連携により「WPI-AIMEC国際共同大学院プログラム」を新設してこれを拡充し、WPIの世界的研究者が大学院生の教育・研修を行う高等教育プログラムを強力に促進する。各専門分野の基礎を学んだ後の修士2年次から分野横断の講義を受け、海外連携機関でのサマースクール等に参加し、博士課程期間中に海外連携機関で

半年以上の研究活動を実践する。各研究科における留学生受け入れの仕組みを活用・拡充し、本プログラムへの海外からの参加を促進する。それにより、年間33名の博士課程学生を支援し、10年間で約120名の博士号取得者を輩出する予定である。

#### **4) -3. 自立化を見据えた拠点運営、拠点形成後の持続的発展**

東北大学の第4期中期計画では、「東北大学グローバルゲートウェイ戦略」のもと、世界最高水準の研究環境とその支援体制の確立・拡充を全学的な目標として掲げ、自立・独立した戦略経営を強化するためのシステム改革を推進している。**東北大学は、JAMSTECとともに本WPIを10年度以降も継続するために最大限の支援を行うことを表明**している（様式5参照）。本拠点の10年計画において、人材、事務体制、研究支援体制、大学院生の高等教育プログラムへの共同指導など、研究面・事務面の協力・連携体制を強固なものとし、また、東北大学やJAMSTECのテニュアトラック制度と連携することで、若手・中堅研究者のキャリアパスを支援・設定する。このような東北大学とJAMSTECにおける一体的なシステム改革と連携により、本センターは10年間の助成期間終了後も自立した持続可能なセンターとして発展し、学術的卓越性、国際教育、統合的知識動員、持続可能性を高める強力なシナジーを生み出す。

## 拠点構想

※A4 25ページ以内で作成すること。

**拠点名：**変動海洋エコシステム高等研究機構

**ホスト機関1：**東北大学

**ホスト機関1の長名：**大野 英男、東北大学総長

**ホスト機関名2：**国立研究開発法人海洋研究開発機構

**ホスト機関2の長：**大和 裕幸、海洋研究開発機構理事長

**拠点長候補者：**須賀 利雄、東北大学大学院理学研究科、教授

- ・添付資料1 「拠点長候補者個人票」を添付すること。
- ・添付資料2 「拠点が対象とする研究分野で世界的な業績のある研究者からの拠点長候補者の推薦状」を添付すること。

**事務部門長候補者：**安藤 健太郎、海洋研究開発機構地球環境部門、専門部長

- ・添付資料3 「事務部門長候補者個人票」を添付すること。

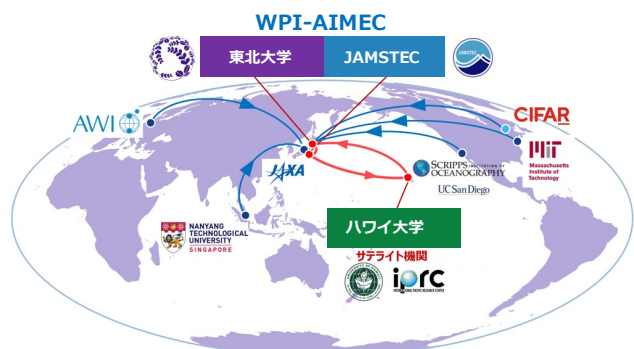
### 1) 拠点形成の全体像

- ・WPI 拠点としてのミッションステートメント、拠点のアイデンティティ及び本プログラムにより達成すべき目標を、明確かつ簡潔に記載すること。

WPI 変動海洋エコシステム高等研究機構（WPI-AIMEC）では、陸上生態系に比べて理解が不十分な海洋生態系に着目する。海洋物理学、生態学、数理・データ科学を統合した新しい学問分野として「**海洋・生態系変動システマティクス（OECS）**」を構築し、当該分野を世界的に牽引していく。これにより、海洋生態系の持続可能性の確立と変化の予測に不可欠な要素である**連動性・安定性・適応性**に関する理解を深化させ、「**海洋及び生態系の再生と回復**」の実現に向けて、基礎科学の立場から貢献していく。

現在の地球－人間システムにおいて、人間活動はすべてのサブシステムに大きな影響を与えるまでに拡大している。その結果、地球温暖化、海洋酸性化、生物多様性の損失、生態系機能の崩壊などの影響が顕在化している（付録4の文献1参照）。そのため、地球－人間システムの変動メカニズムの理解と予測は、地球環境と人間社会の持続可能性にとって最も重要な課題となっている。これまでに、地球システムを構成する様々なサブシステムの現状をスナップショット的に測定・評価する研究が進んできた。また、人間活動の影響を含む地球環境の変化が、生物多様性や生態系の機能にどのような影響を与えるかについても、個別の研究、またはローカルな研究が行われてきた。しかし、地球システム変動を駆動する**生物学的要因と非生物学的要因の相互関係や、変化する海洋物理環境と海洋生態系の双方向のフィードバック機構**、さらに、**海洋生態系の変化が地球システムや人間社会の持続可能性にどのような影響を与えるのか**については、まだ十分に理解されていない。

WPI-AIMECでは、これらの地球規模の課題に対処するため、衛星および現場観測ネットワークから得られる既存のビッグデータの活用に加えて、環境DNA/RNA（eDNA/RNA）や同位体（生物）地球化学、実験室内における「**カルチュロミクス**」の諸分析を通じて、新しい（メタ）データの取得を行う。これらの観測・実験データを、人工知能（AI）誘導型検索エンジンを活用し、ベースライン評価と予測評価のためのグラフィカル・ユーザー・インターフェース（GUI）を備えたリポジトリに統合・集約化する。本拠点では、気象学、海洋物理学、生態学、（微）生物学、同位体（生物）地球化学、数理・データ科学などの各分野の第一線の研究者を「**アンダー・ワン・ルーフ**」の拠点の下に糾合し、融合研究のための基礎データセットを作成する段階から協働し、性質の異なるデータ間の相互作用（連動性・安定性・適応性）の解明を目指す。拠点発足当初は、日本の地理的優位性を活かし、海洋環境の時空間的変動が最も大きく、世界で最も生物多様性が豊かな海域の一つである**北西太平洋地域**を重点海域と定め、より効果的な融合研究を展開する。同時に、研究



の進展に応じて作成されるデータ統合プロダクトにグローバルな展開のオプションを組み込むことで、重点領域を越えた全球的なデータ利活用を推進する。

東北大学、海洋研究開発機構 (JAMSTEC)、ハワイ大学マノア校の強力な組織間連携のもと、世界トップクラスの研究者や優秀な若手研究者約 100 名を集め、チャレンジングなミッションを遂行する (図 1)。本拠点は、(1)東北大学の基礎学術と高等教育機能、(2)JAMSTEC の海洋調査と計算機プラットフォーム機能、(3)ハワイ大学の環境観測機能を有機的に連携させることで、インターラボを活用した国際的な学際研究と教育交流を効果的に実施する。本拠点は、グローバルな人材育成機能を持つ柔軟な国際海洋研究拠点として、世界的にも前例のないものである。また、本拠点は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、スクリップス海洋研究所 (SIO)、マサチューセッツ工科大学 (MIT)、アルフレッド・ウェゲナー極地海洋研究所 (AWI)、シンガポール南洋工科大学 (NTU) の世界トップレベルの研究者と連携し、カナダを拠点とする国際的な研究機関である CIFAR ともパートナーシップを構築し、国際的な頭脳循環と高等教育による人材育成を促進する (図 1)。さらに、国内外の広報・アウトリーチや拠点間のデジタル・トランスフォーメーション (DX) 機能を強化し、国連関係機関への情報提供や国民への情報発信を継続的かつ効果的に行う。これらの取り組みを通じて、この国際的な拠点が生み出すシナジー効果を最大限に活かしつつ、地球-人間システムを持続可能なものへと導く「惑星スチュワードシップ」に貢献する。

## 2) 世界を先導する卓越研究と国際的地位の確立

### 2) -1. 研究領域

- ・ 研究領域の名称を記載すること。
- ・ 研究対象として取り組む重要性 (当該研究領域及びその周辺領域における国内外の動向、科学的及び社会的意義) について記載すること。
- ・ 当該研究領域に WPI 拠点として取り組むに値する理由について記載すること。(我が国の優位性、科学技術上の世界的な課題に挑戦し国際的な魅力があること、当該学問分野の将来性等)
- ・ 対象研究領域ないしは関連研究領域における他の世界的研究拠点を列挙し (5 機関まで)、それとの比較でどのようなレベルにあるかを評価すること。
- ・ 添付資料 4 「拠点構想に関係が深い英文の論文 (10 件以内、レビュー論文も可) とそのリスト」を添付すること。

人間社会の持続可能性にとって最も重要な課題である地球-人間システムの変動メカニズムの解明とその予測は、国内外で多くの研究が行われている。しかし、地球-人間システムを構成するさまざまなサブシステムの要素の現状を測定・評価することは、これまでのところ、統合されたワン・システムに対するアプローチではなく、むしろ断片的かつスナップショット的な評価として行われてきた。人間活動に起因するものも含め、地球環境の変化が生態系の多様性や機能性にどのような影響を及ぼすかについては、個別の研究や地域的な研究により理解するには限界がある。巨視的な地球環境の変化が、微視的なプロセスを含むサブシステム要素間の相互作用を通じて、海洋生態系をどのように変化させるのか、また、生態系の変化が地球環境をどのように変化させ、人間社会の持続可能性にどのような影響を与えるのかについては、我々の理解は依然として限定的かつ部分的である。

海洋生態系は、地球の一次生産 (光合成) の約半分を担い、その生産物が地球上の全生物の約 80% を養っているにもかかわらず、陸上生態系に比べて圧倒的に理解が遅れているのが現状である。本拠点は、その未知なる海洋生態系に焦点を当て、地球環境変動に対する海洋生態系の応答・適応メカニズムの解明に挑む。とりわけ、本拠点における重点海域である北西太平洋は、過去 30 年間に実施された大規模な国際共同研究プロジェクトや、特に日本が大きな役割を果たしてきた世界海洋循環実験 (WOCE) などによる科学的データが蓄積しており、海洋物理環境の実態や変動メカニズムを理解する上で、世界を代表する海域となっている。eDNA/RNA 情報、同位体 (生物) 地球化学、遺伝子発現レベルの可塑性、適応進化プロセスなど、ますます利用が進むデータと、海洋環境変動プロセスを解明する情報を、効果的かつ効率的に組み合わせることで、本重点領域をグローバルに拡張することが可能となる。本拠点では、最先端の海洋物理学、生態学、数学・データ科学の融合アプローチにより、新しい学術領域として「海洋・生態系変動システムティクス (OECS)」の確立を目指して、当該分野を世界的にリードしていくグローバルな人材を育成していく。

本拠点に協力する海外の主な研究機関は、ハワイ大学マノア校の他にも、SIO、MIT、AWI、NTU のシンガポール地球観測所 (EOS) などがあり、これらの研究機関に所属する世界的な研究者が WPI-AIMEC に参画する。本拠点の取組に関連する他の研究機関としては、例えば、ウッズホール海洋研究所 (WHOI)、フランス国立海洋科学研究所 (IFREMER)、ヘルムホルツ海洋研究センター・キール (GEOMAR)、オーストラリア海洋科学研究所 (AIMS)、東京大学大気海洋研究所 (AORI) などがある。これらの研究機関は、個々の研究テーマには違いがあるものの、海洋生態学や物理学の分野で共同研究を行う協力関係にある。し

かし、本拠点は、北西太平洋を中心とした体系的な融合研究を海洋生態系変動メカニズムの解明と予測へ向けて国際的に推進するという点で、他の研究機関を凌駕している。さらに、2つのホスト機関と1つのサテライト機関からなる組織的優位性を反映し、より体系的な融合研究を協働で実施する環境を確立することで差別化を図る。

## 2) -2. 研究達成目標及び計画

- ・ 助成期間終了時（10年後）の研究達成目標を一般国民にも分かり易い形で明確に記載すること。その際、どのような科学技術上の世界的な課題の解決に挑戦するのか、またその実現により、将来、どのような社会的インパクトが期待できるのか、をできるだけ分かり易く記載すること。
- ・ 上記目標を達成するための研究活動面の具体的計画及び関連するこれまでの実績を記載すること。

### テーマ I：気候－海洋－生態系の相互作用の解明

気候現象は、幅広い時間スケールをカバーしている。気候は、数日から数十年の時間スケールで、平均値を中心に自励振動を繰り返しながら変動している。また、気候システムの外部からの要因によって、気候の平均的な状態それ自身も、数十年よりも長い時間スケールから天文学的な時間スケールで変化している。人間活動による地球温暖化は、気候の平均状態の変化に関連するだけでなく、気候変動をも変化させ、その両方が相まって、現在進行中の生態系の変化と生物多様性損失の危機を引き起こしている（付録4、参考文献1）。従って、地球温暖化をはじめとする地球システムの変動に対して海洋生態系がどのように応答・適応するかを把握することが、この危機を予測し緩和するために重要である。

海洋は、生態系に対する地球温暖化の影響を様々な形で緩和している。実際に、海洋は気候変動と気候変化、そしてそれらの相互関係の主要な決定要因である。また、海洋は大気の約1,000倍の熱容量があり、大気中の約50倍の炭素を貯蔵している。人為的に放出された温室効果ガスの主要な吸収源であるとともに、温暖化に伴う熱の大部分を蓄積している。さらに、海洋生態系の変化は、物質循環、放射プロセス、食物網や元素循環の変化を通じて、大気や陸上生態系にフィードバックされている（図2）。私たちは、海洋・気候物理学、生態学、（微）生物学、（生物）地球化学、数理・データ科学の各分野において、最先端のデータ駆動型モデリングと仮説駆動型の観測・実験研究を組み合わせることにより、海洋生態系変動メカニズムの解明に取り組む。さらに、それらの観測・実験研究により得られる科学知を統合し、高度な海洋生態系変動予測を実現することで、人間活動に起因する地球温暖化等の影響の緩和と、海洋及び生態系の修復と回復に基礎科学の立場から貢献する。

本拠点では、海洋環境の物理化学的变化に対する海洋生態系の応答と適応メカニズムを解明する上で、気候や生態系における広範で突然かつ広範囲な構造変化である「レジームシフト」に着目する。レジームシフトは、海洋環境における異なる時空間スケールの変動の結びつきと、それらの相互作用や生態系応答の強い非線形性から生じると考えられているが、その根底にある詳細なメカニズムは不明な点が多い。レジームシフトを通じて海洋生態系の変動メカニズムを理解することは、地球温暖化、海洋酸性化、人為的栄養塩の流入など、地球－人間システムにおけるティッピング・ポイントの理解を飛躍的に深めることに繋がる。持続可能な地球－人間システムを実現するためには、地球温暖化が生態系に与える影響を理解し、海洋、気候、そして人間社会を含む生態系が、異なる時空間スケールでどのようにリンクしているかを解明することが重要である。

### I-1. 時空間変動スケールを超えた連動性と非線形相互作用

海洋の物理的・化学的環境は、物質循環の特性分布とフラックスを通じて、海洋生態系との密接な相互作用により成り立っている（図2）。北西太平洋の海面水温のスナップショットや時系列データ、あるいはNASAのMODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer：中分解能撮像分光放射計）衛星が測定したクロロフィルなどの変動を見ると、季節的なサイクル、海洋循環や渦場、空間的に不均質な鉛直フラックスの兆候等、様々な時空間スケールの変動が存在することがわかる。これらは大気と海洋内部の力学によって規定され、非線形のプロセスによって結合し、海洋の運動によって混合・拡散される。重要な時間スケールとしては、エルニーニョ現象や太平洋10年規模振動（PDO）、地球変動等、気候モデルに関連する平均周期や季節周期、年毎や十年毎の変動などが挙げられる。基礎となる物理素過程は、黒潮のような強く狭い西岸境界流を持つ大循環、海洋メソスケールの渦や前線、サブメソスケール、海洋波浪、水平および3次元乱流などであり、それぞれで特徴的な時間的・空間的スケールを持つ（付録4の文献1～3）。

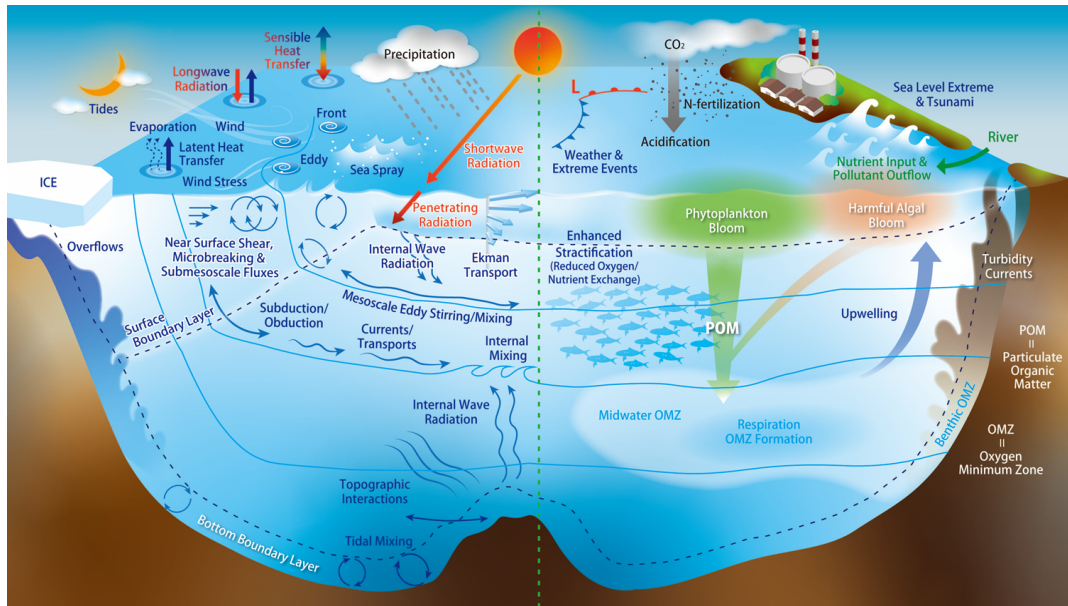


図2.さまざまなスケールの気候・海洋物理プロセス（左）と、物理プロセスによって形成され、人間社会と相互作用する生物地球化学・生態学的プロセス（右）を示す模式図。

北西太平洋における海盆スケールでの物理環境の特徴付けは、ここ数十年で劇的に進歩した。具体的には、海洋上層水塊の分布（Oka & Qiu, J. Oceanogr., 2012; Sugimoto et al, Nature, 2017）、エルニーニョ（Timmermann et al., Nature, 2018）、PDOのような10年変動（付録4の文献2）を含む物理環境の大規模変動と長周期変動の理解において大きな前進があった。現在の太平洋の観測システムと今後の技術の進歩により、過去何十年も困難であった渦スケールのプロセスの調査が可能になり、大気との結合相互作用、地球物理学と生物地球化学の融合研究の進展が期待できる。新しい衛星観測ミッションをはじめ、長期観測所のロボットプラットフォームの新たな開発と時空間スケールの拡張は、前例のないスケールで、海洋生態系変動に係る諸プロセスを明らかにし、新たな変数をカバーすることができる。これらには、表層流、風、熱の大気海洋間フラックスの同時衛星観測、および黒潮続流定点観測（Cronin et al., IEEE Systems J., 2008）、ハワイの海洋時系列観測（HOT; Karl et al., Nat. Rev. Microbiol., 2014）のような固定プラットフォームによる観測や、新しいBGCアルゴなどの漂流プラットフォームにより取得される生物地球化学的な変数、eDNA/RNAの観測データ（テーマII参照）などが含まれる。この膨大かつ異質なデータセットは、海洋生態系変動メカニズムを理解する上で重要であり、本拠点が目指す学際的な共同研究の素地となる。我々は、このような前例のない観測データを、理論や高解像度の先進的地球システムモデル（Earth System Model (ESMs)；テーマIII参照）シミュレーションを用いて解析し、様々なプロセスや時空間スケールにおける北西太平洋の海洋生態系変動メカニズムの解明に挑む（図3）。本目的のために、海洋物理学、生態学、数理・データ科学の専門家チームによる最新の科学知を統合的に活用する。

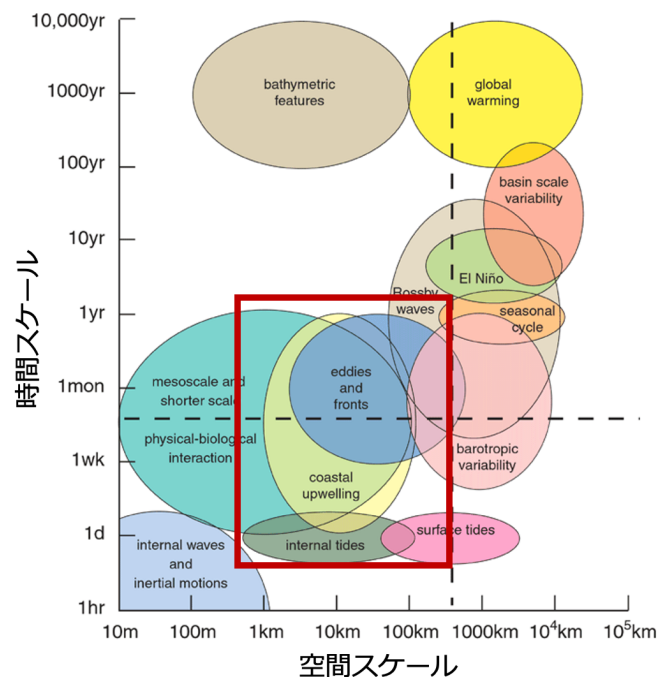


図3. 気候システムにおける現象の多数の時空間スケール。北太平洋の海洋現象の時空間スケール。赤枠は本拠点が対象とするおおよそのスケール。海面高度のシミュレーション（図10、テーマIII参照）は、狭い西岸境界流、前線から活発な渦まで、多くの空間スケールを示している。

物理－生態系の結合ダイナミクスは、それぞれのサブシステムにおける複雑系を結合する必要がある。本解析は、線形共分散構造、スペクトル、時間と空間におけるコヒーレンスなどの基本的な統計的記述から始まり、非線形プロセスを考慮できるように拡張される。2つの力学的な帰結となるものは、大気・気象のカオス的進化による確率的強制に対する線形応答、海洋渦、および

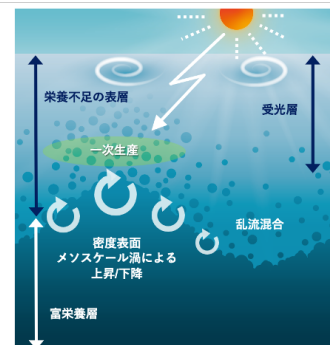
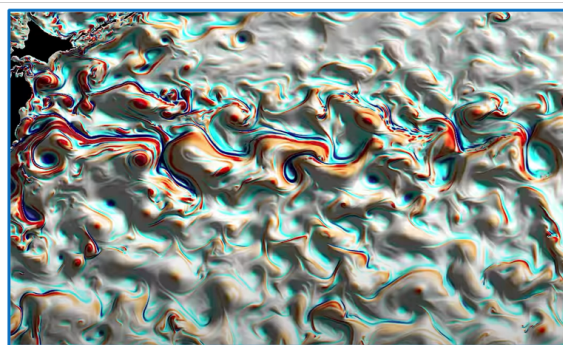


図4. JAMSTECの高解像度海洋モデルで再現された黒潮続流域の渦（左）。渦は混合過程を変化させ、栄養塩を地下層（STMW）から表層（euphotic layer）に移動させる。風によって引き起こされる内部波エネルギーは鉛直混合のソースであり、上向きの栄養塩フラックスを引き起こし、深層クロロフィル極大（DCM）を維持する（右）。

び急速なレジームシフトを可能にする複数の定常状態であり、その間に確率的非線形プロセスが存在する（図2）。例えば、年変動や10年変動は、海洋と大気のカオス的進化によって結合された異なる地域における海洋と大気の相互作用から生じると考えられている。熱帯域、特に太平洋のエルニーニョ現象は、海洋と大気の強い結びつきが重要な役割を果たしている。このプロセスは、低緯度の太平洋におけるエルニーニョ／南方振動に関連した確率的強制と遠隔強制に対する海洋－大気結合系の応答によって記述される（Schneider & Cornuelle, J. Climate, 2005）。また、この線形確率論的枠組みは、非線形性を考慮するために拡張される。例えば、エルニーニョ現象の振幅は顕著な季節的なフェーズロックを示し、その変動は北半球の冬にピークを示す。この効果は、季節周期と経年変動との間の非線形相互作用によって説明できる（Stuecker et al., PNAS, 2015）。このような基礎的な理論的枠組みは、北西太平洋の混合層深度の顕著な季節変動や、それらが海面水温や海洋上層部の生物地球化学変動の分散やスペクトルに与える影響等に広く適用できる。より小さなスケールでは、海洋渦は海洋の温度成層と海流シアの不安定性から生じ、さらに大気による大規模な強制から生じる。一般に海洋の変動は、非線形のエネルギーとエントロピーのカスケードを通じて、スケールを越えて広がっていく。関連する海面水温と表層流場を通して、これらの海洋渦と前線が、大気・風に影響を与え、海洋－大気結合系のプロセスに影響をもたらす。衛星搭載散乱計（Chelton et al., Science, 2004）から明らかになったこの関係は、数値モデルにより、伝達関数やインパルス応答関数などの非局所統計量を用いて研究されてきた。その結果、慣性 Lee Wave が大気境界層の鉛直混合と静水圧の海面水温に起因する変動と結びついていることが明らかになった（Schneider, J. Atmos. Sci., 2020; 付録4の文献3も参照）。

PIの1人であるハワイ大学のSchneiderは、北西太平洋の物理的・生物地球化学的環境に関する既存および新規の観測に、前述の一連の分析技術を広く用いている。本拠点では、衛星観測によるクロロフィル、海面水位、海面水温と塩分、そしてアルゴによって観測された海面水温と塩分との関係を追究する。より大きなスケールでは、主成分分析を用いて、個々の変数の時間的・空間的なパターンと変動全体のパターンを解析する。海洋の渦と前線、海洋メソスケールのスケールについては、空間におけるインパルス応答関数を通じて関連性を探り、それを時間ラグに拡張して、クロロフィル、水温、塩分の変化を、海面高度を指標とする海洋渦と温度躍層深度に関係付ける。

これらの解析を行うことで、海洋混合の指標としての風速への依存性が明らかになり、非線形変動の分析を行うことが可能となる。同様のアプローチにより、KEO（Kuroshio Extension Observatory）の表層フラックスの海洋時系列観測とハワイ海洋時間系列観測を、周囲の海面水温、海面水位、表層風と関連付け、海洋メソスケールと大気との繋がりを探ることができる。これらの分析は、ニューラル・ネットワーク（神経回路網）のようなAIを駆使した手法に拡張される。さらに、海底の生物地球化学観測にも適用することで、先進的な地球システムモデル（ESM：テーマIII参照）と比較することができる。仮説の決定、手法の選択、結果の解釈については、本拠点における海洋物理学、生態学、数理・データ科学の融合研究により実施する。

## I-2.BGCアルゴと海底ケーブル観測による海洋生態系のミッシングリンクの探索

北西太平洋は、世界の海洋の中で、上層海洋の物理環境とその季節変動から大気との相互作用による経年・数十年変動に関して、最もよく研究されている海域の一つである。例えば、亜熱帯循環や亜熱帯-亜寒帯の遷移域では、亜熱帯モード水 (STMW)、中央モード水、移行領域モード水が支配的となる海洋上層の水塊であり、その季節変動や年～10 年スケールの変動についてはよく知られている (Suga et al. J. Phys. Oceanogr., 2004; Toyama et al, J. Phys. Oceanogr., 2015) これらのモード水は、表層混合層と密度躍層の間の密度成層を特徴づけるため、おそらくは有光層への栄養塩供給を制御している (図 4: Sukigara et al., J. Oceanogr., 2013)

我々は、熱帯、亜熱帯、亜寒帯、およびそれらの遷移域を代表するいくつかの地点で、物理学的なパラメータの高頻度時系列測定を実施する。生物地球化学的・生物学的パラメータの時系列変動測定は、既知の物理的環境変動測定と比較して容易である。時系列測定は、水中ビジョンプロファイラ

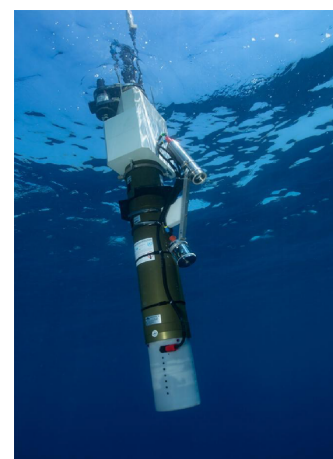


図5.UVP (水中ビジョンプロファイラ) を搭載した生物地球化学 (BGC) アルゴフロートにより、沈降粒子とプランクトン種の鉛直プロファイルが測定可能である。

(Underwater Vision Profiler(UVP):図5)、自律型水中航行体(Autonomous Underwater Vehicle (AUV))、あるいは研究船／商業船ベースのeDNA/RNA サンプリングなど、海面から海底堆積物までの観測により行う。PI の1人である太田は、従来の衛星観測では解像できなかった沿岸付近の高解像度海洋流場を描き出すために、海底ケーブルに沿った底圧測定を使用する。全てのデータは、既存の原位置観測網や衛星観測網による広域観測データを用いて、時系列／統計解析から AI を用いた革新的手法まで、さまざまな手法で解析される。

## I-3. レジームシフトメカニズムの理解

様々な時空間的スケールの変数 (図 2、3) の間の複雑で非線形な相互作用の多くは、気候システムにおいて、ある安定状態から別の安定状態への急激な変化を引き起こすことがあり、これは「レジームシフト」(図 6) と呼ばれている (Lorentz, Quatern. Res., 1976)。全球の海洋循環、ひいては全球の気候に密接に関係する大西洋子午面鉛直循環は、確率的な淡水の流入・輸送の影響を受けて、異なる安定状態の間を遷移する (Stommel, Tellus, 1961)。過去 1 世紀の間、北太平洋の表層水温は、1945/46 年の温暖化と 1976/77 年の寒冷化という、いくつかのレジームシフトを経験してきた (Yasunaka & Hanawa, JMSJ, 2002)。一般的に、生態系は物理的循環よりも非線形性が強いので、生態系におけるレジームシフトはより急激である。

実際、北太平洋で漁獲される魚は、海洋環境の 10 年スケールの変動によって、大きく変化する (Yatsu, Fisheries Sci., 2019)。さらに、地球温暖化や人為的な影響は、レジームシフトを誘発するだけでなく、安定状態そのものを変化させることがある。例えば、地球温暖化は海洋の混合を妨げるため、表層付近では栄養塩が枯渇し、深層では脱酸素が誘発される (Keeling et al., Annu. Rev. Mar. Sci., 2010; Yasunaka et al., GRL, 2016)。しかし、レジームシフトの根底にあるメカニズム、特に生物地球化学的状态と生態系におけるメカニズムは、依然として不明である。同様に、気候、海洋循環、生態系の相互関係も解明されていない。

## テーマII：環境変化に対する生態系の応答・適応・進化のメカニズム

生態系は、人間の生活を支えるために必要不可欠なサービスを幅広く提供している。経済的な側面だけを考えても、世界の国内総生産 (GDP) の約50%が生態系に依存していると推定されている。経済協力開発機構 (OECD) の海洋経済データベースによると、2010年 (基準年) の海洋経済の生産高は1.5兆ドルと推定

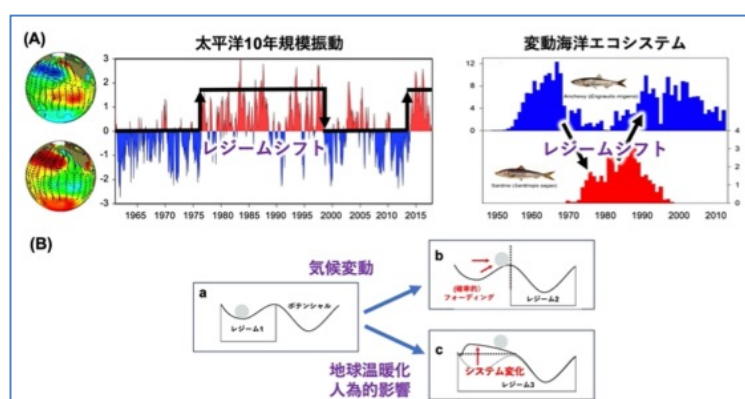


図6.気候システムと生態系における「レジームシフト」の例 (A) とそのメカニズム (B)。各レジームは、ポテンシャル場の最小値で安定していると考えられる。確率的な気候強制によって、別の最小値を中心とする別のレジームに状態が移行することがある (a→b)。気候変動や人為的な影響によってポテンシャル場が変化し、新しいレジームが形成され、その状態が別のレジームへと強制されることもある (a→c)。

され、2030年までに倍増する可能性があると予測されている。とりわけ、養殖業と捕獲漁業の付加価値貢献は、世界経済全体よりもさらに速く成長すると予測されている。このように、健全な生態系は人間社会の発展と生存に不可欠な自然資本とみなされている。しかし、地球規模の気候変動や人間活動の活発化により、生物多様性は減少し、生態系機能は悪化している。過去20年間で自然資本が20%減少している中、世界経済フォーラムは、生態系の持続可能な利用を達成するための生物多様性の回復と保全が、今日人類が直面している最も重要な社会的課題の一つであるとしている。

生態系の効果的な保全と回復、さらに、持続可能な利活用を達成するためには、自然資本の構造、機能、相互関係について、科学的により深く理解する必要がある。生態系反応の決定要因と限界を理解することは、環境攪乱に対応した生態系機能の混乱や損失を緩和するための適応性と回復力を評価するために不可欠であり、海洋環境における地球規模の変化の複雑さを把握する上で極めて重要である。

生態系は様々な条件に依存する相互作用によって記述されるダイナミックなシステムであり、それは非線形かつ無数の生物学的・非生物学的要素が相互に関係している。生態系の環境応答と適応性は、異なる生物学的レベルで作動する少なくとも3つの異なるメカニズムに起因する：

1. 生物（個体）：ある程度の独立性と統合性を持つ生物学的単位（個体）は、環境要因に応答して遺伝子発現やタンパク質合成の変化を示すなどの生理学的応答を通じて、その形質を変化させ、環境に適応する。
2. 個体群（同じ種の個体の集まり）：異なる遺伝子セットを持つ複数の個体からなる集団は、環境変化に応じた遺伝子の変化を含む進化的プロセスを通じて集団レベルの形質を変化させ、それによって環境の変化に適応する。
3. 複数の種からなる群集：群集組成の変化は、環境変動下での物質生産など、生態系レベルの機能を維持する。

さらに、これら3つのレベルの適応反応は、それぞれのレベルの相互作用を変化させる。さらに、他のレベルの生態系構造が変化することにより、生態系全体の機能に影響を与えうる。例えば、個体レベルでの適応は、個々の遺伝子に対する選択を変化させ、個体群や群集レベルの進化に影響を与える。種の形質における進化的変化は、種間相互作用を変化させることによって、群集の動態や構造に影響を与える。生態系が環境の変化にどのように対応しているかを理解するためには、個体、個体群、群集の各レベルにおける関連メカニズム、およびそれらの相互関係を十分に理解することが極めて重要である。

本テーマIIでは、海洋生態系における相互関係を理解するために、最先端の理論的・実証的アプローチを組み合わせた前例のないアプローチをとる学際的な研究チームを組織することで、生態系が環境変化に応答し、適応するプロセスを科学的に解明することを目指す。

## II-1. 大規模データを用いた発見ベースのアプローチ

本研究の特徴は、生物学的要素と非生物学的要素の両方に係る大規模データを用いたデータ駆動型のアプローチを適用する点にある。海洋生態系は広範で複雑なシステムであり、そのダイナミクスを説明する基礎方程式は存在しない。従って、本研究では、その複雑性と可塑性の両方を理解するために、ビッグデータ（高品質かつ大量のデータ）に適用される先験的な方程式の存在を前提としない、モデル・フリーのアプローチが必要となる。

本研究の目的を達成するため、さまざまな生物学的・非生物学的要因のモニタリングから得られたデータを、ツールや公開用インターフェイスを備えたデータリポジトリに統合する。それにより、生態学のみならず、変化する海岸への応用や教育・研修の機会という点で、科学における重要なギャップを埋めることが期待できる。公開されている関連データの例としては、以下のようなものがある：

1. 生態的地位と3次元空間を評価するための物理的・化学的パラメータ（光、栄養塩、水温、塩分、乱流など）
2. 生態系にとって脅威となる様々なレベルの生物指標（炭素と酸素の一次生産性、一次生産者が吸収する光エネルギー（クロロフィル）、バイオマス）
3. 生態系の持続可能性のバイオモニター（生物多様性、種の成長と成熟、遺伝子発現（個体）、遺伝子頻度（集団））

本研究は、変動する生物学的・非生物学的パラメータ間の条件に依存した相関関係と因果関係を特定しようとするものである。このアプローチは、限られたデータ量としばしば裏付けのない仮定に基づいてモデルをパラメータ化しようとする従来の方法から大きく逸脱するものである。この発見ベースのアプローチは、複雑性と回復力がどのようにして環境応答と適応性を生み出すのか、またその結果として現れる一般的なパターン（＝生態学的原理）を明らかにすることを目的としている。

PIである近藤、大林、稲垣らは、環境DNA/RNA（eDNA/RNA：付録4の文献7-9）を用いた生物多様性

のモニタリングにより、海洋生態系が環境変化にどのように対応しているかを調査する。eDNA/RNA分析は、生物種の捕獲に依存する従来の調査手法では不可能な時空間スケールや分類学的解像度で、生物の分布、相対的バイオマス、多様性の調査を可能にする技術である。例えば、近藤は2019年、eDNAを用いた生物多様性観測ネットワーク ANEMONE（All Nippon eDNA Monitoring Network）を、産業界や地方自治体との協力により設立した。このネットワークは77以上のステーションにまたがり、200人以上の市民ボランティアが参加し、毎年拡大を続けている（付録4の文献8、図7）。実際に生態系とは、異なる時間的または空間的スケールに生息する種が共存し、互いの種や環境と相互作用するシステムである。気候が数日から数十年、またキロメートルから地球スケールに至るまで、様々な時空間スケールで重なり合い変動すれば、その反応は各種間で異なる。また、ある種に引き起こされた変化は、捕食者-非捕食者間など多様な種間相互作用を介して、共存する他の種に伝わり、システム全体の応答を様々なスケールで形成する。

新しい技術の適用は、しばしば新しい発見に繋がる。本拠点では、既存の塩基配列やタンパク質配列のリポジトリ（例：GenBank、UniProt）に基づき、eDNA/RNA 配列データのためのグローバルリポジトリを構築する。また、グローバルなデータベースやリポジトリに追加するために、生物多様性と機能生態学のベースライン評価を作成する。それらは様々なステークホルダーの方々（子供から大人まで）へのアウトリーチや教育プログラムを通して利用できると共に、新しい水生eDNAとeRNA検出キットの開発に資する（Ames：米科学財団が資金提供する国際プロジェクト、近藤：ANEMONE DBプロジェクト）。初期eDNAデータの大部分は、本拠点で実施するフィールドワークと同様に、ANEMONEデータベース（図7）およびAPIまたは直接ネットワーク（NCBI）を通じて他の多数のリポジトリ（GitHubなど）から入手可能である。このグローバルリポジトリは、生物学的および非生物学的相互連関の分析と予測を行うために、データアクセスによってリアルタイムで更新される公開インターフェイスに接続することができる（図8）。基本的なサービス（解析、分布や相互関係の予測、可視化、マッピングなど）は、一般市民や教育・研究施設には無償で提供する。また、より高度な利用を希望する企業等には、有料プランとして提供する。本拠点とパートナー企業によって、公開ソースを通じて蓄積される豊富なデータは、PIであるSmithと近藤によって開発された生態生理学および生態学的相互作用の理論的モデリングの基盤となる。さらに、Smithは、プランクトンの生態生理学モデルの開発と応用、高度なESMに適したアルゴリズム・方程式の開発について豊富な経験を持っている（Smith et al., Limnol. Oceanogr., 2011；テーマIII参照）。

eDNA/RNAに基づくモニタリングを北西太平洋以外の海洋に拡張し、これらのデータをアルゴに基づく海洋物理学的・生物地球化学的パラメータ（テーマI参照）とリンクさせることで、生態系と気候・海洋の構成要素がどのように関係し、それらの相互関係からどのようなパターンが発現するかを解読する方法を提供する。本提案の基礎研究は「ビッグデータ」を扱うため、AIや機械学習の技術が必要となる。JAMSTECと東北大学は、膨大なデータセットからパターンを特定し、確度の高い予測を行うタスクを効率的に実行するための高性能コンピュータ・クラスタ設備を整備しているが、更なる分析能力、計算能力、データ保存能力が必要となる。PIである河宮と頼瀬が主導するデータ同化により、先進的な地球-人間システムのモデル・パラメータの最適化と検証が可能となり、北西太平洋における海洋生態系変動の高解像度モデルが実現できる（テーマIII参照）。

## II-2. 種指向アプローチと場所指向アプローチの統合

生態学の理論は、個体、個体群、群集といった異なる生物学的階層に跨り、環境の変動に応答して、異なる生理学的特性を持つ個体間や異なる形質を持つ種間相互作用において観察されるパターンの説明と予測を与える。例えば、生態系の複雑さ（多くの場合、要素の数と相互作用の密度で評価される）と動的安定性との関係は、生態学における主要な未解決のテーマであり、前述の「レジームシフト」とも強く関連してい

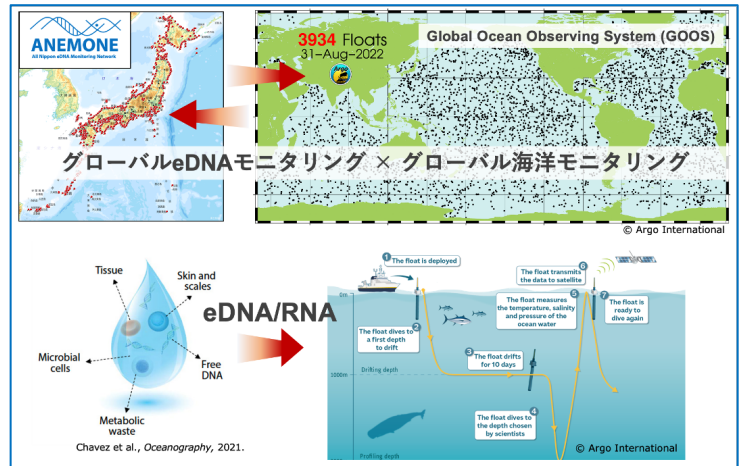


図7. アルゴ(物理・生物地球化学観測)とeDNA/RNA(ANEMONEとその全球海洋への拡張を含む)のビッグデータを統合的に解析し、気候・海洋・生態系の複合体とそのダイナミクスを明らかにする（左下の図は、Chavez et al., Oceanography (2021)を改変）。

る。また、生物多様性が生態系の機能を高める時間的・空間的なメカニズムについては、過去20年の間に、いくつかのメカニズムが仮説として提唱されているが（例えば、北太平洋の植物プランクトン群集については、Chen et al. Lett., 2019）、多くの未解決の問題が残されている。しかし、大部分の既存研究は、種または機能的多様性のいずれかに焦点を当てており、種内の遺伝的多様性と生理学的複雑性の相互作用、生態系機能への影響、および生物地球化学との関係は未解明の部分が多い。生態系の多面的機能（例えば、生産、栄養伝達、炭素隔離）は重要な特徴であるが、多面的機能と生物多様性の関係を評価した研究はなされていない。

本拠点では、最先端のメタバーコーディング技術（eDNA/RNAを含む）とロングリードメタゲノミクス（ナノポア技術）を統合した大規模海洋ゲノムデータベースを構築することで、海洋生態学と資源管理の理解を深化させる。

この豊富なゲノムデータの宝庫から、種の生態学と群集生態学の共通基盤を構築することで、海洋環境の理解を深め、持続可能な海洋資源管理に資する新たな道を切り拓く。地球物理学と生態学とを融合した新しい研究アプローチとして、環境からの分子サンプルのメタバーコーディングがある。それにより、対象となる物理的環境空間の生態的地位に存在する種の検出が可能になる。eDNA/RNAと「カルチュロミクス」に用いられる分析技術は、高い時空間分解能における同位体（生物）地球化学分析（例えば、水素、炭素、窒素、酸素、鉄）とロングリードメタゲノミクスとの統合を可能にする（図8）。

本拠点では、海洋サンプルとハイスループットシーケンス技術により環境ターゲット内の海洋種の全ゲノムの決定を目指すと共に、それらを含む大規模海洋生態系データベースの構築を目指す。本データベースは、メタゲノムサンプルのロングリードシーケンスから“スキミング”された高精度ゲノムのアクセッションを含んでおり、主に2つの理由で強力なものとなる。第一に、個体ゲノムには進化系統に関する豊富な情報が含まれており、個体間の遺伝的相関を正確に推定することができる。第二に、全ゲノムにはその種のすべての遺伝情報が含まれており、遺伝子ネットワーク解析と組み合わせることで、ゲノム全体に散在する小さな変異の生態学的意義を解明することができる。本リポジトリにより、対象種内の地域差の生態学的機能の推定が可能となり、さらに多数の場所から集まった集団ゲノムを比較することで、異なる地域で選択圧として作用する環境要因を逆推定することも可能になるだろう。

「レジームシフト」（図6、テーマI参照）に代表される自然発生的な生態系の変化を予測することは困難である。しかし、大きな変化の瀬戸際にある生態系は、群集構造の変化や小さな摂動からの回復の遅れなど、「シグナル」を示すことがある。前例のない急な変化や長期のストレスによって回復力が失われる兆候を示す沿岸の生態系は、優先的に取り組むべき研究対象である。生物相の観点からは、沿岸における人間活動は、固有種の生息数の減少、すなわち重要種の絶滅の可能性と関連している（付録4の参考文献5）。生物多様性（種の多様性）の変化はストレスの重要な兆候と考えられるが、固有種（地域種）の存在量の変化は沿岸生態系のバランスを変化させ、生態系機能の不完全性や不安定化に繋がる。海洋由来のeDNA/RNAは、生態系への人為的影響を評価する可能性があることから、「攪乱のパロメーター」となりうる（参考文献8-9）。従来の海洋センサスによるデータと、eDNA/RNA、生物地球化学、カルチュロミクスのアプローチを組み合わせたデータを統合することで、災害の前後の生物多様性と固有性のベースラインをローカールスケールで評価することができる（例えば、2010年にメキシコ湾で発生したディープウォーター・ホライズン原油流出事故（Nizinski & Ames, U.S. Geological Survey Open-File Report, 2012）や2011年の東日本大震災の津波（Adriansyah, Hydrobiology, 2022））。

各分子生物学的データを環境条件によって及ぼされる選択圧とリンクさせることは、さらなる価値を創出する可能性がある。即ち、機能的な遺伝子や機能的な生物種の探索を強化する道が拓かれ、環境修復や回復のための生物の発見にまで応用できる可能性が生じる。最終的に本拠点では、膨大な全ゲノムベース（種レベルおよび／または群集レベル）の生態学的研究を統合し、海洋生態系と海洋物理・化学因子との相互依存解析を実施する。



図8.eDNA/RNAサンプルを用いた物理・生態学的統合アプローチ

## II-3. 実践的生態学の推進：持続可能な生態系管理技術の開発

本項目の主たる科学目的は、海洋・沿岸生態系の調査から得られた科学知を活用し、より実践的な生態学を発展させることである。海洋は人間の生活にとって極めて重要であり、持続可能な生態系管理技術の開発が急務である（文献1）。しかし、大規模な生態系の評価、予測、管理は、北西太平洋では成功していない（付録4の文献4と6）。実用的な生態学に欠けている点は、生態系と人間活動の複雑さである。さらに、重要な変数が不明瞭なままであるため、環境応答を正確に予測したり、自然再生を促進したり、「生態系の利用」価値を高めたりすることは困難である。換言すれば、海洋生態系の将来を予測し、自然再生を促進するための制御理論を開発することには、大きな科学的意義がある。

本サブテーマの主な目的は以下の通りである：

1. 大規模な生態系データと高度な機械学習技術をフル活用し、生態系データを処理するために、時間軸に対して正確な方法論を開発する。本研究は、生物多様性と生態系の複雑性を介して、人間社会の経済活動と生態系サービスとの間のフィードバックの評価に長期的な重点を置きながらも、人間活動と生態系間の相互依存関係を解明する。
2. 貝毒につながる有害な藻類の大発生や、人間の中毒を引き起こすクラゲの大群、漁業種の迅速な検出システムなど、ネガティブな事象を予測するための実用的な生態系変化予測モデルを開発する。このような生態系の反応を予測する能力を高めることで、複雑な海洋生態系変動に伴うビジネスリスクを軽減し、漁業などの自然資本産業の価値を高める。
3. 生態系をより望ましい状態へと導き、最終的に自然再生を促進する生態系制御技術の導入適性を示す。

例えば、魚介類は世界人口の動物性タンパク質の19%を供給しているが、乱獲をはじめとした非持続可能な活動が、漁業資源、生態系、人間の福利を脅かしている（FAO, 2020）。Amesは、東北地方の漁協との共同研究を通じて、移動式eDNAキット（Ames et al., Front. Mar. Sci., 2021）を導入し、種のルーツを特定するとともに、ゲノム解析ツールを用いて資源量と生態系の相互動態を評価することで、海洋生物資源の保全、食糧安全保障、ブルーエコノミーのための持続可能な漁業という世界的な課題に取り組んでいる。本拠点では、新しいサンプリングや実験の機会を活用し、先進的なESMと組み合わせた新しい分析技術を開発・適用し、海洋生態系の応答・適応メカニズムに関するさらなる発見を目指す。

この新しい研究活動は、「**自然関連財務情報開示タスクフォース（TNFD）**」の目的に沿ったものである。TNFDは、環境に対する影響の科学的評価に基づき、企業の活動に関連するリスク情報を開示することで、企業が自然に配慮した経営を奨励することを目的としている。実践的なエコロジーを推進するという本研究計画の科学目標は、持続可能な生態系の利用、環境保護、自然資本に依存する経済活動の強化に貢献するものである。さらに、経済成長と環境保護を両立させるサステナブルな活動や開発を促進することにより、TNFDにおける目的達成をサポートする。

## テーマIII：海洋生態系の変化の予測

テーマIIIでは、数値モデルをツールとして用いた海洋の理解と予測に取り組む。海洋低次生態系の種組成に着目しがちな従来の生態系モデルから脱却し、eDNA/RNA、同位体（生物）地球化学、カルチュロミクスのアプローチから得られる海洋生物地球化学サイクルの主要形質と生態系機能に着目した新しい生態系モデルを開発する（テーマII）。これは、観測データの解釈、観測ネットワークの構築、将来の変化の予測に貢献する（図9）。

### III-1. 先進的地球システムモデル（ESM）の開発

海洋環境の変化と生産性の関係を定量的に捉える視点が重要になってきている。例えば、近年頻発しているサンマの不漁は、三陸沖での暖水塊の発生が原因とされており、その背景として地球温暖化の影響が懸念されている。しかし、このような環境変化が、プランクトンの増殖などの食餌条件やサンマ自体の成長・回遊環境にどのような影響を与え、漁獲量の変化につながるのか、その詳細は未だ明らかになっていない。また、これらの海洋環境の変化が、人為的な気候変動による長期的な傾向なのか、自然変動の範囲内で起こる短期的な事象なのか不明である。

三陸沖だけでなく、海洋全体に見られるメソスケール渦の生成や変化、近年頻発している台風や海洋熱波、インド洋を中心に東進する水平スケール数千kmの巨大積乱雲群（MJO）など、物理環境の擾乱によって海洋生態系がどのような影響を受け、その維持や生産性がどのように変化するのかを理解し、予測することが重要である。このようなメカニズムの理解は、変化を確実に予測することにつながり、海の恵みを楽しみ、私たちの生活をより豊かにすることにつながる。さらに、海洋生態系を介して大気と交換される

様々な温室効果ガス（CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oなど）やエアロゾルの排出と循環のフィードバックを明らかにすることで、人類生存の共通基盤である地球環境を生存可能な状態に保つための要因を解明する。

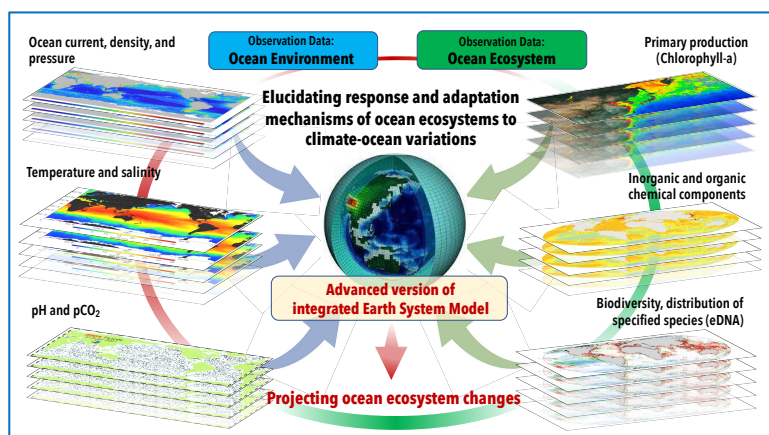


図9.テーマ3の概念図。海洋の物理的、化学的、生物学的特性を網羅する、衛星や船舶の観測データから試験管内データまで、さまざまな種類のデータを利用して、新しいタイプの地球システムモデル (ESM) を開発する。そして、このESMを海洋の将来予測に応用する。ESMは、海洋生態系の機能的側面を考慮することができるように、種の構成の詳細な情報だけでなく、eDNA研究から得られたデータも考慮されている。

海洋物理環境と海洋生態系にまつわる諸問題に対処するために、WPI-AIMECは高解像度の海洋大循環モデル (OGCM) と地球システムモデル (ESM) というツールを採用する（後者は陸海両方の生態系を含む気候モデルである）（参考文献10）。短期的な物理的擾乱を表現するのに十分な解像度を持つOGCMは、十分な広さの海域をカバーするために巨大な計算能力を必要とするが、近年の高性能計算機の進歩により、長い時間スケールでのシミュレーションが可能となっている。例えばJAMSTECでは、メソスケールの渦を解像する全球海洋の水平解像度0.1°（約10 km）のOGCMを開発し、JAMSTECのスーパーコンピュータである地球シミュレータ上で動作させている（図10）。

このような高解像度OGCMに最新の海洋生態系モジュールを組み込み、必要に応じて大気モデルと結合してESMを作成することで、海洋の物理環境と生態系、そして生物地球化学サイクルとの関係を包括的に理解することが可能になる（図9；付録4の文献10）。これまでの海洋生態系モデルでは、動物プランクトンと植物プランクトンの元素組成比をレッドフィールド比と呼ばれる値で（経験的に）一定と仮定するのが一般的であった。しかし、近年、プランクトンの組成を一定と仮定すると、観測された変動を過小評価することが明らかになりつつあり、植物プランクトンの組成の動態を考慮しなければ、植物プランクトンの分布と密接に関係する栄養・炭素の循環といった海洋生態系変動における基礎的な仕組みも理解できないと考えられる。

（Masuda et al., Commun. Earth & Environ., 2021; Masuda et al., Limnol. Oceanogr. Lett., 2023）

PIのSmithらは、レッドフィールド比の変動を考慮した新しい海洋生態系モデルを開発し、海洋クロロフィル観測の地球規模のパターンと一致を示した（図11）。本モデルは、植物

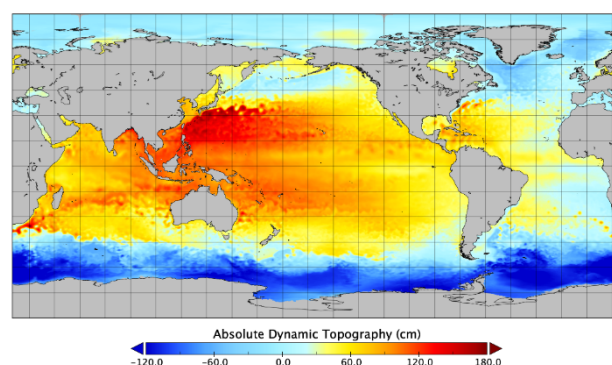


図10.0.1度（約10km）分解能の海洋大循環モデルによって再現された全海域の海面高度分布。

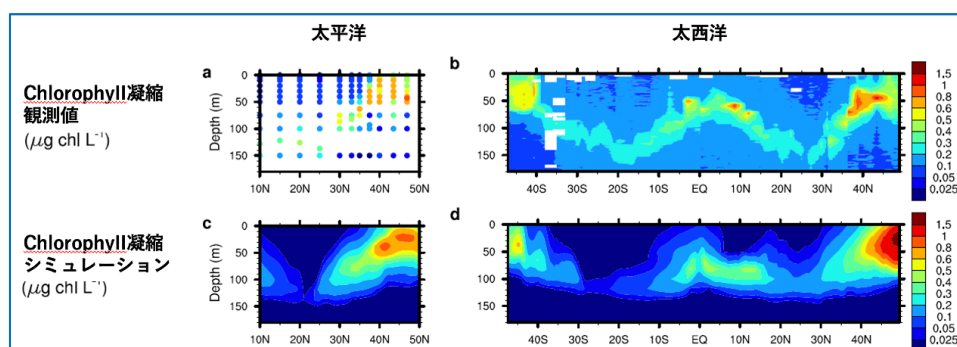


図11.北太平洋 (a,c) と大西洋 (b,d) における表層クロロフィル濃度の観測値 (a,b) とシミュレーション値 (c,d) の比較 (Masuda et al.) シミュレーション結果は、粗い（水平1度）解像度の海洋モデルに組み込まれたFlexPFTモデル (Smith et al. J. Plankton Res., 2016) によるもので、可変のレッドフィールド比を考慮し、海洋で観測されるような亜表層のクロロフィル極大の大規模パターンを捉えている。さらに最近では、FlexPFTモデルをより高解像度の海洋モデルと予備的に結合させることで、観測されたパターンをさらによく再現できる可能性がすでに示されている (Masuda et al., personal communication)

プランクトンと海洋炭素循環をつなぐ重要な生物地球化学的パラメータである海洋植物プランクトンのC:N比の変動についても観測を再現していることから、全球スケールの海洋生態系による二酸化炭素吸収とその蓄積の見積もりを改善する可能性がある (Masuda et al., *Limnol. Oceanogr. Lett.*, 2023)。しかし、このような生態系モデルと結合したOGCMを大規模な空間スケールに拡大適用し、生物地球化学サイクル、基礎生産性、およびそれらの変動を制御する機能的側面を地球規模の視点から理解する試みは端緒に付いたばかりである。テーマIで明らかにする変数間の連動性、およびテーマIIで取り上げた近年急速に発展しているeDNA/RNAやカルチュロミクスに基づく生態学的研究から得られる情報を、AIの機械学習技術 (III-3参照) を用いてモデルに取り込むことにより、さらなる進展が期待される。テーマIの課題である気候-海洋-生態系のシステム変化を解明するためには、テーマIIの成果など最新研究の成果に基づいた最先端の海洋生態系モジュールを順次OGCMとESMに搭載し、その機能性を高度化していくことが必要である。

### III-2. 実デジタル地球と仮想デジタル地球の整合性の検証

データ同化手法を用いて、実観測データと本プロジェクトで開発したシステムを統合し、実際の変化を把握するとともに、WPI-AIMEC共通の研究基盤ツールとして、その機能性を評価する。高解像度海洋循環モデルと海洋生態系モデルを組み合わせた数値モデルは、多くの非線形現象を再現する可能性があるが、データ同化が困難であることが知られている (例えば、Forget et al., *Ocean Sci.*, 2015; Park et al., *Earth Syst.*, 2018)。

大気上部に設定される外側の境界条件を用いて地球全体の状態を解くESM (参考文献10) においては、大気・海洋・生態などのモデル内に存在するバイアスを他のシステムとの境界条件として修正することができない。そのため、個々のシステムがより正確に現象を表現することが必要である。これを解決する鍵は、ESM自体の改良にある (Moore et al, *Front. Mar. Sci.*, 2019)。テーマIIIでは、特に海洋生態系と海洋環境の結合に着目し、物質循環に対する生態系の機能に着目したパラメータ化によって、海洋生態系モデルや物質循環モデルのバイアスを効率的に低減できるかどうかを評価する。バイアスを低減できる最適なパラメータを見つけることにより、地球システムモデル予測の信頼性を向上させる。

データ統合におけるもう一つの大きな課題は、システムの非線形性を適切に扱う方法でデータを同化することである。最新のデータ同化手法の多くは、狭い周波数帯域における線形性と、モデルの結果と観測値の間に単純な統計的関係を想定しており、本研究プロジェクトで扱うような広い周波数帯域の非線形現象を適切に扱えられるかどうかは不明である。データに内在する非線形性を扱う手法については、数理・データ科学者と協力して数学的知見を取り入れる必要がある。例えば、現在、JST AIP日独仏AI研究 (助成番号JPMJCR20G5) のEDDAプロジェクトで進められているパスシグネチャ変換を用いたデータ同化は、観測データに内在する非線形性の情報を考慮したデータ同化を実現できる可能性がある。パスシグネチャ変換は、系列データの非線形性を失うことなく系列データの特徴を表現し、パスシグネチャの線形結合によって元のパスの非線形関数を表現できるという点で強力な手法である。これはテーマIとIIの機械学習法にも応用できる。もう一つのアプローチは、ニューラルネットワーク (ディープラーニング) やAIの研究分野で用いられている変換/関数をデータ同化に組み込むことであり (Storto et al., *Mon. Weath. Rev.*, 2021)、複雑な関数形式をパラメータ化してモデル化し、その形式の自由度を保ちながらシステム内の実際の関係を表現することができる。このアプローチも、他のテーマで使われている機械学習の手法に応用することができる。現在の最先端の方法論から出発し、理想モデルと比較モデルを用いて、機械学習で行われるような大規模な最適化実験やアンサンブル実験を行うことで、より確実な手法をさらに確立し、複雑なモデルへの適用可能性を探っていく。

この研究の初期段階では、1) 長期変動を再現するのに適した比較的低解像度のシステムと、2) 沿岸変動を再現し、高頻度・高密度の観測を必要とする高解像度モデルの両方を使用し、広域への適用、予測、実験のためのデータ、観測、理論的知見を統合する。

比較的低解像度のモデル (0.25° -1モデル) を用いることで、10年スケールの変動を100年以上にわたり再現し、テーマIで対象とするような現実の現象に位相を合わせた実験を行う。これまでに、物理パラメータや周知の地球化学パラメータを調整し、結果を観測に一定程度整合させるデータ同化実験に成功している (Osafune et al., *Ocean Model.*, 2022; Doi et al., *JAMES*, 2015)。本研究では、過去の生態系変動から想定される気候変動や生態系変動をより定量的に再現するため、新たなモデルモジュールを組み込む。そして、このモデルの内部パラメータを変更して実海域を再現することを目指す。これにより、生態系機能に着目したモジュールにおけるキーパラメータ (テーマIIで提案) の最適値やその信頼性を広域データの観点から評価することができる。キーパラメータそのものが生態系の多様性の本質を表しており、モデルによる広域観測と整合的な全球海洋生態系のパラメータ推定値として、他の課題 (テーマII) における推定値と比較する

ことができる。さらに、キーパラメータは、生態系と地球環境における環境変化との関係をより一般的に明らかにするために、将来の予測や過去再現実験に利用される。特に、過去に起きた、あるいは将来起こると予測される大規模なレジームシフトは、海洋生態系変化の予測・理解の研究に利用できる。

さらに、沿岸の変化を高解像度で再現するモデルを利用し、上述の比較低解像度モデルの結果（文献4）と比較を行うことで、主に河川からの海洋沿岸への流入によって沿岸生態系がどのように変化するかを評価することができる。沿岸水の一部は海洋外洋へ広がる可能性があるため、海洋における広範な影響を把握することも重要である。高解像度モデルによるデータ統合を確実にするためには高密度のデータが必要である。衛星データなどの一次高密度データに加え、テーマIで得られたAIによる空間マッピング情報を二次観測データとして活用することを検討する。これによりAI生成データの利用に関する知見を蓄積し、特定の沿岸域を対象とした生物多様性評価を行うことで、社会基盤として機能するかどうかを検証することが可能となる（参考文献6）。いずれの場合も、基本的にはデータ統合と合わせて多数のアンサンブル実験を行い、生態・環境分野の非線形性をうまく扱うことが重要である。このデータ統合アンサンブル実験では、ある特定のアンサンブルに対する状態表現を提示するだけでなく、アンサンブル実験における頻度の低い現象が系統的な変化を引き起こすかどうか焦点を当て、レジームシフトのモデル方程式を通した理解することを目指す。

### III-3. AIを活用したアプローチ

近年、大気・海洋科学の分野においてもAI技術の導入が急速に進んでいるが、その数はまだ限られている。この分野におけるAIの現在の応用は、大きく4つのタイプに分類される（Reichstein et al., Nature, 2019）：

- [1] 特定のパターンの検出（異常気象の検出や海洋熱波など）
- [2] 高解像度化上（例：統計的ダウンスケーリング）
- [3] 短期予測（例：エルニーニョ予測）
- [4] 時系列モデリング（例：モデルパラメータの調整）。

本研究では、これらすべてのタイプを利用する。例えば、[1]のタイプは、近年注目されている海洋熱波の検出や生態系への影響評価に、[2]のタイプは、モデルネスティング技術の代替や沿岸域の高解像度化による[3]と組み合わせた赤潮予測等に、[4]のタイプは、地球物理学的、分子生態学的、生物地球化学的アプローチを含む観測から得られた情報に基づくモデルパラメータの最適化に利用される（図8、テーマII参照）。

また、AIの新たな活用法として、データ同化技術を用いて長年取り組まれてきた観測網の最適化にAIの技術を適用することが挙げられる。このような応用は、[3]や[4]の形態の一つと見なすことができる。予測精度の向上の度合いやモデルパラメータの修正の度合いが最適化の指標として用いられるからである。さらに最近では、「観測データの取得」、「モデルの改良」、「モデルを用いた観測計画の最適化」のサイクル全体を1つのシステムとして捉え（Schneider et al., GRL, 2017; 図12参照）、4つのタイプのAI駆動アプリケーションを統合することで、モデル開発の全プロセスを推進するアプローチが提唱されている。

このようなシステムの構築は、データ同化技術や高解像度モデルの適用といった従来の取り組みを統合することで概念的には可能であるが、AIの利用は計算負荷を大幅に軽減することで、その実装を大いに促進する。とは言え、克服しなければならない課題も多い。例えば、観測データと同化したモデルを使用するためには、モデルの再現性そのものが十分な精度でなければならない。今日の最先端のモデルでさえ、特に生態系の部分については、さらなる性能向上が望まれる段階にある。この点では、テーマIII-1の成果が十分に生かされる。また、「モデルを用いた観測計画の最適化」を行う場合、観測計画の柔軟性を確保することが不可欠である。世界有数の海洋観測専門機関であるJAMSTECが蓄積してきた経験は、観測管理に貴重な知見を提供するものと期待される。

図12に描かれたシステムの実現に向けた取り組みは、海洋科学分野の多くの部分を最適化する試みとなる。すなわち、AI、計算能力、衛星観測などの技術発展、eDNA/RNAやモデル性能の向上など



図12.人工知能技術を用いた観測システムと統合された地球システムモデリングの枠組み（Schneider et al.）。観測は、AI技術によってESMとプロセスモデルの性能を向上させるためのデータを提供することができ、それを応用して再びAIで効率的な観測ネットワークを構築することができる。また、高解像度モデルの結果に基づく低解像度グローバルESMで使用されるパラメータ化スキームの開発も促進される。このアプローチにより、幅広い海洋学分野にわたる分析を最適化することができる。

の科学的知見の蓄積により、この研究領域の刷新が期待される時期に差し掛かっていると言えるであろう（付録4の文献10）。

### ■包括的理解を実現するための反復的アプローチ

本研究は、あらゆる生物学的・非生物学的要素に関する大規模データと、多くの生態系に共通する原理を特定する革新的なモデリング技術を組み合わせることで、一般性に欠ける従来の生態系理論の限界を克服することを目指す。従来の理論は一般的に、単純化された数学的モデルが示す仮定から導き出された理論的予測に基づいている。例えば、群集の動態を説明・予測するためには、固定強度の種間相互作用を仮定した複数種の個体群動態モデル（一般化ロトカ＝ボルテラモデルなど）が一般的に用いられてきた。このような単純化は、経験的データの裏付けというよりも、より複雑な過程を採用するのに十分なデータや証拠がないことが原因であることが多い。これに対してWPI-AIMECでは、生態系の構造におけるまだ知られていない一般的なパターンを発見するために、複数の地点で得られた大規模なデータに基づくアプローチを採用する。これらの新たに発見されたパターンに基づいて、新たなモデルを構築し、新たな仮説を立て、従来の海洋物理学や生態学の域を超えた理論を、的を絞った観測によって開発し、検証することを目指す（図13）。その目的は、新たな理論的予測を立てることであり、それが新たな実証的研究を導き、ひいてはその予測能力を高め、本拠点の3つの研究テーマの間に生産的なフィードバックを与えることにある。

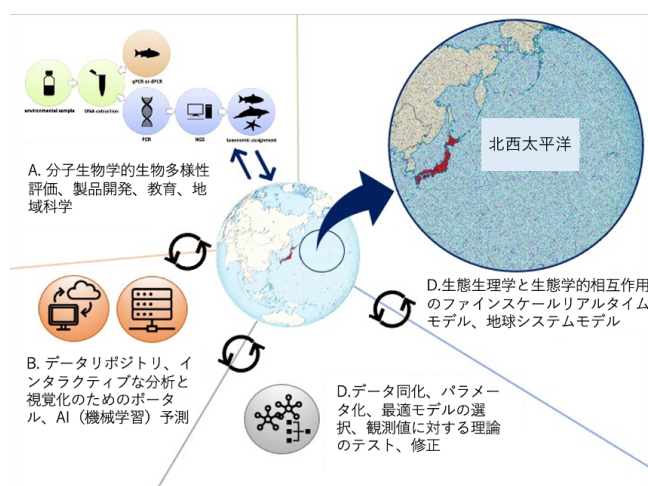


図13. 融合研究を促進するために提案する構成要素の概略図。(A) eDNA/RNAとマルチオミクス技術を新たに獲得することにより、遺伝的生物多様性と機能的生態系の変動を評価・モニタリングする。そして、トレーニング(K-12)とコミュニティサイエンスの機会を提供する。(B) eDNAとメタバーコードデータのリポジトリを開発する。配列照合と分類学的な同定のための検索エンジンとして、AIと機械学習によって実行されるポータルを構築する。(C) 生態生理学と生態学的相互作用の理論的モデリングと(D)による最適化を行う。(D)「環境変化に対する生態系の応答・適応・進化のメカニズム」の対話型モデルを構築する。

## 2) -3. 研究推進体制

- ・ 研究組織、支援組織、事務組織等の研究体制を、構築の考え方及び人員構成を含め記載すること。
- ・ 組織構築の最終目標を達成するための具体的計画（時期・手順など）を併せて記載すること。
- ・ 研究組織のジェンダーバランスの実現に係る最終目標を達成するための具体的計画（時期・手順など）を併せて記載すること。その際、①拠点長や事務部門長を含めた当該拠点を管理運営する者（拠点構想に示される研究推進体制の中で、当該拠点の管理運営を行うことを想定されている者）、②主任研究者（教授、准教授相当）及びその他研究者、に分けてそれぞれの計画を記載すること。
- ・ 海外機関との拠点組織レベルでの研究連携体制について、当該連携先機関の名称、拠点構想における役割、人員構成・体制、ホスト機関と当該連携先機関の間の協力の枠組み（協定等の締結、資金のやりとりの考え方等）等について記載すること。また、これに加えて、サテライト的な組織を設置して国内外の他の機関との連携を行う場合においても、同様に上記事項を記載すること。サテライト的な組織を設置しないものの、国内外の他の機関との連携を行う場合は、当該機関の名称、拠点構想における役割、連携の概要等について記載すること。
- ・ 添付資料5 「主任研究者リスト」を添付すること。（一次審査から変更があった場合は、変更理由とともに変更点を明記すること）
- ・ 添付資料6 「主任研究員個人票」を添付すること。
- ・ 添付資料7 「拠点を構成する人員」を添付すること。
- ・ 添付資料8 「海外、国内他機関から招へいする研究者の拠点構想参加の意思を示した書簡」を添付すること。

### ■拠点の研究組織

2023年の申請の段階では、本拠点では、自由で活発な研究交流等、国際的・学際的研究を実現する研究者のグローバルネットワークを構築する。多様性、高等教育、優れた若手研究者の育成に重点を置き、国際的な頭脳循環を促進する。主任研究者の総数は17名で、そのうち10名が東北大学の教員またはJAMSTECの研究者(58.8%)であり、うち2名が外国人研究者である。17名の主任研究者のうち、7名が外国人(41.2%)、

4 名が女性（23.5%）である（Appendix 7）。拠点には「融合研究部門」を設立し、各 PI はシニアサイエンティスト（准教授相当）、スタッフサイエンティスト（助教相当）、1 名または数名の若手研究者（ポスドクまたは大学院生）から成る研究ユニットを形成し、3 つのテーマの研究環境に応じて、計 12 名のサポートスタッフを配置する。ポスドクの採用にあたっては、9 回の国際公募を行い、**年間 18 名（2023-2032 年度の期間で約 54 名）**のポスドクを雇用する。募集要項は、権威ある学術誌や国際会議機関等に掲載し、研究能力と多様性に基づく選考を行う。東北大学教員および JAMSTEC からの参加者を含め、「融合研究部門」は最大 110 名、「事務部門」は最大 40 名（合計約 150 名：図 14）とするが、外部資金によるポスドクやサポートスタッフの追加採用により、この人数は変動する可能性がある。**海外研究者比率、女性研究者比率はともに 30%以上を目標とする**（付録 7）。

研究拠点構築プロジェクト開始後の 2024 年度には、東北大学および JAMSTEC の高いランクの研究者が PI として AIMEC に参加した（海外男性研究者 2 名、国内男性研究者 3 名）。将来的には、女性研究者を主任研究者として採用する、あるいは参加してもらう予定である。当初、ポスドクを年間 18 名採用する予定であったが、東北大学と JAMSTEC から兼任する世代を考慮し、性別・世代間の多様性を向上させ、性別・海外・世代間のバランスに留意しつつ、ポスドクよりもキャリア経験豊富な研究者を採用することとした。そのため、年間 18 名の新規ポスドクを採用する計画を、年間 10 名程度の新規ポスドク、数名の研究者、ゼロ〜数名の PI に変更した。

## ■サテライト研究所

国際サテライト研究所は、米国ハワイ大学マノア校海洋地球科学部（SOEST）の国際太平洋研究センター（IPRC）となる（図 1、14）。IPRC の設立は、1997 年にハワイ大学と JAMSTEC との間で締結された協力協定に基づく、政府レベルでの日米共通アジェンダの大きな象徴となっている。それ以降、IPRC はアジア太平洋地域における気候・海洋変動の観測とモデリング研究の先導的研究機関となっている。東北大学も IPRC および SOEST と協定を結んでおり、拠点長の須賀がプログラム長を務める「環境地球科学国際共同大学院プログラム（GP-EES）」は、本拠点と連携した中核的な教育的枠組みとなる。ハワイ大学マノア校からは、Schneider と White が PI として本拠点に参画し、アジア太平洋地域の海洋一大気―生物圏システムから海洋生態系までを探索する。

## ■パートナーシップ

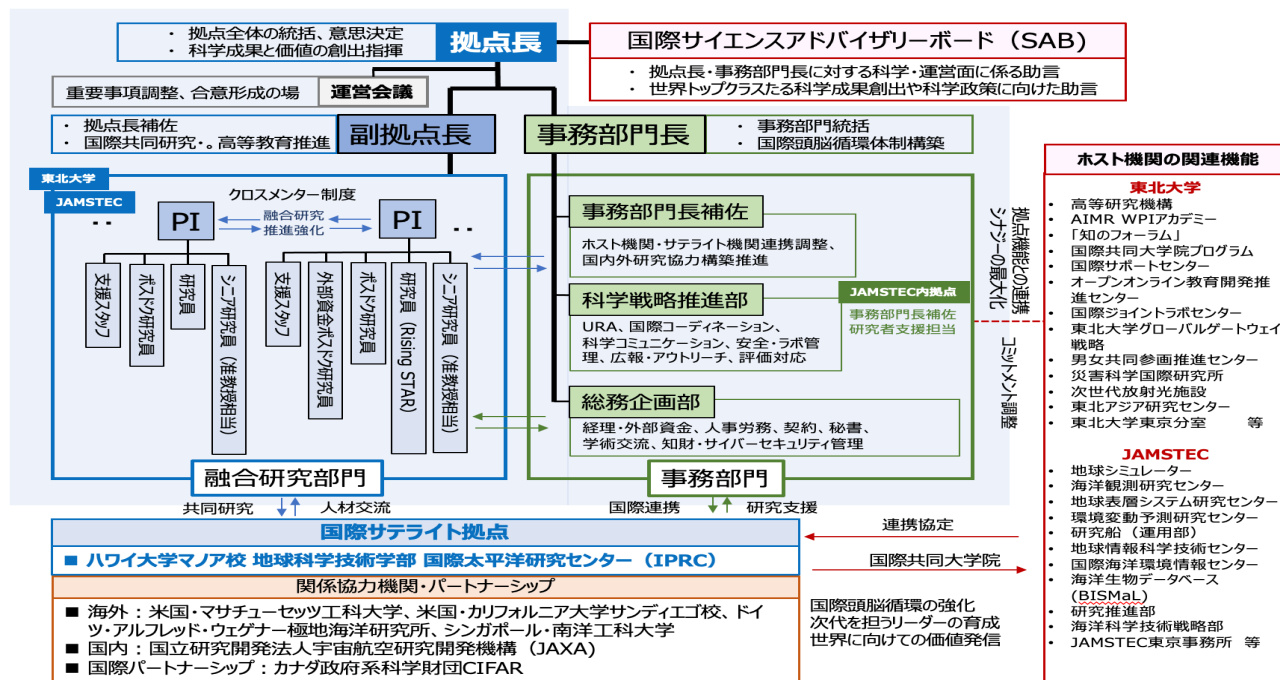


図14. 本拠点の組織構成

ハワイ大学に加えて、カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所、マサチューセッツ工科大学、海水域の海洋研究の世界的研究機関であるドイツのアルフレッド・ヴェグナー極地海洋研究所の研究者らが PI として参画する。また、亜熱帯気候・海洋研究の先導的研究機関である南洋理工大学シンガポール地球観測所長の Horton も PI として本拠点に参画する。これらの PI を通じた国際的なパートナーシップ

は、国際共同研究を促進し、世界トップクラスの研究成果の創出に繋がる（図1）。さらに、本拠点採択後は、カナダの世界的研究機関である **CIFAR** (<https://cifar.ca>) とパートナーシップ協定を締結する予定である（Appendix 2）。稲垣は 2019 年の発足以来、CIFAR の Earth4D プログラムのアドバイザーとして協力し、CIFAR を通じた共同研究活動の支援や優秀な若手研究者の支援を推進している。CIFAR との共同研究としては、組織的な国際ワークショップ・シンポジウム、バーチャルセミナーシリーズ、プロジェクトベースでの共同研究等が想定される。また、CIFAR の「Azrieli Global Scholarship」は、本拠点の優れた若手研究者を支援する。さらに、CIFAR のアウトリーチチームとの協力を通じて、基礎科学から一般市民（あるいはその逆）への知識の共有を促進し、新たな「惑星スチュワードシップ」につながる地球環境・社会的課題に取り組んでいく。

東北大学は 35 ヶ国 249 機関と、JAMSTEC も 13 ヶ国 22 機関と MoU/C を締結している。ハワイ大学との MoU/C を含め、これらの MoU/C に基づき、本拠点を中核とする「**WPI-AIMEC 国際共同大学院プログラム**」を新設し、国際高等教育、若手研究者の交流、国際共同研究プロジェクトを推進する（セクション 4)-2 参照）。

#### a) 主任研究者（教授、准教授相当）

・添付資料 7 の表 a) を貼り込むこと。

|                  | 事業開始時点 | 令和 5 年度末時点 | 最終目標<br>(2027年4月頃) |
|------------------|--------|------------|--------------------|
| 東北大学からの研究者数      | 7      | 7          | 7                  |
| 海洋研究開発機構からの研究者数  | 3      | 3          | 3                  |
| ホスト機関 3 内からの研究者数 | N/A    | N/A        | N/A                |
| 海外から招へいする研究者数    | 6      | 6          | 6                  |
| 国内他機関から招へいする研究者数 | 1      | 1          | 1                  |
| 主任研究者数合計         | 17     | 17         | 17                 |

#### b) 全体構成

・添付資料 7 の表 b) を貼り込むこと。

|        |        | 事業開始時点 |    | 令和 5 年度末時点 |    | 最終目標<br>(2027年4月頃) |    |
|--------|--------|--------|----|------------|----|--------------------|----|
|        |        | 人数     | ┘  | 人数         | ┘  | 人数                 | ┘  |
| 研究者    |        | 49     |    | 51         |    | 109                |    |
|        | 外国人    | 11     | 22 | 13         | 25 | 36                 | 33 |
|        | 女性     | 11     | 22 | 11         | 22 | 46                 | 42 |
|        | 主任研究者  | 17     |    | 22         |    | 27                 |    |
|        | 外国人    | 8      | 47 | 10         | 45 | 10                 | 37 |
|        | 女性     | 5      | 29 | 5          | 23 | 8                  | 30 |
|        | その他研究者 | 32     |    | 29         |    | 82                 |    |
|        | 外国人    | 3      | 9  | 3          | 10 | 26                 | 32 |
|        | 女性     | 6      | 19 | 6          | 21 | 38                 | 46 |
| 研究支援員数 |        | 0      |    | 2          |    | 7                  |    |
| 事務スタッフ |        | 7      |    | 14         |    | 29                 |    |
| 構成員の合計 |        | 56     |    | 67         |    | 145                |    |

|          | 事業開始時点 |      | 令和5年度末時点 |      | 最終目標<br>(2027年4月頃) |      |
|----------|--------|------|----------|------|--------------------|------|
|          | 人数     | 」    | 人数       | 」    | 人数                 | 」    |
| 博士後期課程学生 | 24     |      | 30       |      | 81                 |      |
| うち雇用見込み  | 3      | 12.5 | 9        | 30.0 | 33                 | 40.7 |

## 2) -4. 研究資金等の確保

### 過去の実績

- ・ 拠点構想に参加する主任研究者が過去に獲得した競争的資金等の研究費の年度別合計（平成30年度～令和4年度）を記載すること。

### 拠点設立後の見通し

- ・ 上記実績を踏まえつつ、本プログラムからの支援額と同等程度以上のリソースを、どのようにして確保するのか、具体的な見通しについて記載すること。
- ・ その際、競争的資金等の研究費については、拠点に参画する研究者の獲得した研究費のうち、当該拠点の研究活動に充てる額を参入すること。また、研究費の獲得の見通しについては、上記実績を踏まえた現実的なものとする（令和5年度～令和9年度）。

下表に示すように、本センターのPIは2018年から2022年の間に大規模な競争的資金を獲得している。外部資金獲得額の年間平均は約900,000（千円）、一人当たりの平均は約53,000（千円）であった。実際の研究費獲得額は、充当計画（様式4参照）の年間約460,000（千円）から480,000（千円）の額を上回っており、**予算見通しは現実的**である。PIと若手研究者は、受入機関、サテライト機関、連携機関との協力のもと、プロジェクトチームを編成し、民間企業、財団、地方自治体からの競争的資金や委託研究費、省庁による大型研究プロジェクト、米国のScience Philanthropy AllianceやEUのHorizon 2025に加盟する民間財団からの国際研究公募など、外部資金の獲得に組織的に取り組んでいく。また、事務部門では、外部資金に関する情報収集や研究者への情報提供などの機能を強化するために、スタッフを配置し、申請書の作成を支援する。さらに、「ムーンショット研究開発プログラム」や「SIP 戦略的イノベーション創造推進プログラム」と連携し、拠点における世界トップレベルの研究推進を加速する。加えて、WPI-Academy AIMRと同様に「東北大学基金」と連携して**研究推進基金**を設立する。

| 年          | 2018                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2019    | 2020    | 2021    | 2022      | Total     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| 総額         | 643,296                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 742,908 | 889,174 | 953,845 | 1,283,630 | 4,494,854 |
| 大型競争的資金の一例 | Southeast Asia SEA-Level program (SEA2) (2020-2025, PI: Horton, 1,259,717), NSF Hawaii Ocean Time-series (HOT) (2018-2023, PI: White, 1,225,890), Integrated Research Program for Advancing Climate Models (2017-2021, PI: 河宮, 1,100,000), JST CREST (2013-2019, PI: 近藤, 463,114), Advanced Carbon Mineralization Initiative, Yogesh Surendranath (2022-, PI: 小野, 40,863) |         |         |         |           |           |

（千円）

## 2) -5. 融合研究

- ・ 研究対象において融合される研究領域と、異分野融合の必要性と重要性、この異分野の融合等によりどのような新しい学問領域の創出が期待されるのかについて記載すること。また、異分野融合とそれによる新しい学問領域の創出を推進する戦略についても具体的に記載すること。

気候・海洋変動に対する海洋生態系の応答、適応、進化のプロセスは、互いに絡み合った複数のサブシステムからなる複雑なシステムの中で流動的に進行する。海洋生態系変動の統合的なメカニズムをより深く理解するためには、生物の生息域を決定する物理化学的変化の時系列データと、生態系を構成する群集の多様性、機能性、適応性に関する時系列データの比較解析を行い、様々な時空間スケールに適用可能なモデルを構築することが不可欠である（図9、12、13）。これまでの研究では、観測システムに設置されたセンサーの精度や分解能、サンプリング頻度にばらつきがあったため、特定の事象・場所での個々の研究や、時間的要素を欠いたスナップショット的な研究が中心となっていた。そのため、特にダイナミックで広範な海洋環境において、物理的、地球化学的、生物学的データを一元的に収集、同化、外挿し、定量的非線形モデルに外挿することは困難であった。また、「レジームシフト」に代表される突発的な現象の謎については、重要

な要因となる兆候を近視眼的かつ無意識的に見落としている可能性がある。本拠点では、海洋物理学、気象学、生態学、生物学、分子生物学、地球化学、数理・データ科学の専門家が連携し、実際の観測・実験データに動的安定性指標を適用することによるシステムの検証・実証や、AI 機械学習・ディープラーニングを活用したレジームシフト機構解明に取り組む（図 6）。それに向け新しい海洋物理・地球化学センサーや eDNA/RNA サンプラーを搭載した機器など、革新的な観測プラットフォームを活用する。また、衛星や海底観測網からの幅広いデータや、生態系サービスの影響を強く受ける漁業活動などの経済的・社会的要素データも取り込んでいく。本拠点は、「**海洋・生態系変動システムティクス (OECS)**」という新しい学術領域を創出する。これにより、地球温暖化への適応・緩和、海洋・生態系の再生・修復といった地球規模の課題解決における「**惑星ステewardシップ**」に貢献する。課題Ⅰ～Ⅲ およびそれらの融合研究の成果と中間プロダクトを順次データベース化し、気候－海洋物理－生態系に関するデータセット内の変化の要因を同定・リストアップするシステムを 5 年目までに構築する。5 年目以降はこれを発展させ、生成系 AI にも適用・活用可能な高度化された海洋生態系変動予測モデルを 10 年目までに構築することを目標とする。ここで述べる生成系 AI は、たとえば、データベース化された膨大で多様な情報に基づき、入力された特定の生態系の変化（あるいは物理化学的な変化）に対して、その変化に寄与する潜在要因やモデルに基づく将来予測を出力するもので、WPI-AIMEC におけるさらなる分野融合研究に活用される。本拠点の戦略は、2021 年に国連総会で宣言された「**持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年 (2021-2023 年)**」(UNDOS) の中核をなすもので、学際的な科学を追求し、海洋科学から社会のニーズに貢献することを目的とする。

### 3) 国際的な研究環境と組織改革

#### 3) -1. 国際的研究推進体制(拠点を構成する研究者等)

- ・ 拠点における外国人研究者の構成、海外機関との拠点組織レベルでの連携、サテライト的な機能の設置等、国際的研究拠点の構築に向けた具体的計画（時期的なものを含む）を記載すること。
- ・ 研究者（ポスドク等）を国際公募により採用するためどのような措置をとるのか、手順も含め具体的に記載すること。

本提案が採択された場合、本拠点と 2 つのホスト機関（東北大学、海洋研究開発機構）、サテライト機関（ハワイ大学マノア校 IPRC/SOEST）は、直ちにサテライト機関およびパートナー機関と MoU/C を締結し、相互協力・連携を開始する（図 1、13）。それらは、先進的な「**WPI-AIMEC 国際共同大学院プログラム**」（セクション 4)-2 参照）を通じて、ポスドクを含む若手研究者を育成・支援するための正式な協定も含む。仙台、横須賀、横浜、ホノルルなど世界各地を結ぶブロードバンドとデジタル・トランスフォーメーション(DX)システムを備えた設備を構築することで、物理的な国際交流だけでなく、研究協力や共同研究が円滑に行われる環境を構築する。

拠点長の須賀は、国連教育科学文化機関（ユネスコ）の政府間海洋学委員会（IOC）が支援し、30 カ国以上が参加する国際アルゴ・プログラムの運営委員会の共同議長を務めていた。また、50 カ国以上が参加する全球海洋観測システム（GOOS）の中心メンバーでもある。これらの国際的なネットワークは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）や国連が宣言した「**持続可能な開発のための海洋科学の 10 年**」（2021-2030 年）と直結しており、海洋の健全性を維持するための取組を支援し、世界中の海洋関係者を集めている（ステークホルダー・フォーラム）。副拠点長の稲垣は、日米欧など 20 カ国以上で組織される国際海洋探査計画（IODP）のリーダーの一人でもある。アルフレッド・P・スローン財団のディープ・カーボン・オブザーバトリーにおいて主導的役割を果たし、現在は CIFAR Earth 4D: Subsurface Science & Exploration Program のアドバイザーを務めている。他の PI とも環境 DNA 観測所ネットワークなどの国際的な研究枠組みにおいても重要な役割を果たしている。これらの国際的なネットワークや研究機会を活用することで、**年間合計 18 名のポスドクを雇用し、2023-2032 年度の期間に合計 54 名のポスドクを雇用する**。ポスドクや若手研究者の採用は、国際コーディネーターが毎年公募を行い、10 年間にわたり、ホームページ、サテライト機関、PI が関与する国際的な組織、著名な学術誌（Cell、Nature、Science など）、国際会議、世界的な学術財団等を通じて世界的に募集する。

#### 3) -2. 国際標準の研究環境

- ・ 国際的な研究環境、事務体制の整備及び海外からの研究者支援の方策（例：英語による職務遂行が可能なスタッフ機能の整備、スタートアップのための研究資金の提供等）を具体的に記載すること。
- ・ 研究者から教育研究以外の職務を減免するとともに、研究者が快適に研究できるような環境を提供するため、どのような措置をとるのか（例：種々の手続き等管理事務をサポートするスタッフ機能を充実させるなど）、時期・手順も含めて具体的に記載すること。
- ・ 世界トップレベルの研究者を集めた国際的な研究集会を定期的（原則、年に一回以上）に開催するため、どのような措置をとるのか、時期・手順も含めて具体的に記載すること。

本拠点の立ち上げ時には、東北大学が所有する約 4,000m<sup>2</sup> のスペースを使用する。3 年以内に仙台の東北大学青葉山新キャンパスに新棟を建設し、研究・管理・支援システムを一元化した「**アンダーワンルーフ**」の融合研究環境を構築する。次世代放射光施設がほぼ完成した青葉山新キャンパスは、同大学の「**サイエンスパーク**」構想の新たな拠点にもなっている。本拠点は、主任研究者をはじめとする全ての研究者に先進的な実験スペースを提供し、国際的な頭脳循環を促進する開かれた研究空間を実現する。東北大学は、青葉山新キャンパスの学生寮「**ユニバーシティ・ハウス**」や仙台市内に海外からの研究者を受け入れるための宿泊施設を有している。また、東北大学は、海外からの研究者やビジターを受け入れ、融合的な研究とコミュニケーションを促進し、世界トップレベルの研究環境を確立するためのノウハウと経験を蓄積してきた。これらの国際的機能は、WPI-Academy AIMR のノウハウも活用し、2022 年 4 月に東北大学に設置された「国際サポートセンター」において、海外からの研究者や訪問者の滞在、生活、共同研究等に対し、英語で質の高い支援を行う全学的な機能へと変貌を遂げた。また、JAMSTEC は約 20 年前のフロンティア研究制度発足以来、多くの外国人研究者（51 名、12.7%）を受け入れてきた実績がある。また、2014 年からは国際的な「**JAMSTEC 若手研究者フェローシッププログラム**」が開始され、JAMSTEC の強力な運営支援のもと、延べ 40 名の若手研究者が JAMSTEC で研究を行なってきた。**東北大学、JAMSTEC、ハワイ大学マノア校、その他の国際的なパートナーの多様なインフラを通じて、本拠点は、センターの立ち上げ時から人的交流と共同研究活動を最大限活性化する国際的な研究環境を持つことになる。**また、国連海洋科学の 10 年のプログラム・プロジェクトをはじめとする海洋生態系に係わる国際プログラム・プロジェクトに、米国・欧州をはじめとする世界の主要機関と協力しつつ参加することにより、それらの機関と相互利益的な関係を築く。

事務部門は、本拠点の研究者が研究に専念できる環境づくりを担う（図 14）。住居、教育、病院、日常生活等との調整においては、英語と日本語の翻訳が必要となる場合があるが、事務部門の国際コーディネーターやバイリンガルスタッフが支援する。仙台や横浜・横須賀に滞在できない海外研究者に対しては、研究機器や DX バイプラインの共有化を推進し、研究の質の向上と統合化を図り、本拠点とサテライト・連携機関との融合研究体制を構築する。これらの機能と国際的なネットワークを活用し、オンライン会議、ウェビナーシリーズ（東北大学知の創出センター、海洋研究開発機構海洋科学技術戦略部、CIFAR と連携）、ワークショップ・シンポジウムを開催するとともに、科学的・事務的な活動への助言を行う「**国際サイエンスアドバイザリーボード**」（International Science Advisory Board (SAB)：図 14）を設置する。この国際サイエンスアドバイザリーボードは、国内外の著名な研究者によって構成される。さらに、分野間の効率的な融合を促進するため、若手研究者、ポスドク、大学院生を対象としたクロスメンター制度を導入し、異分野の研究者を対象としたチュートリアルセミナーを定期的に開催する。

### 3) -3. 運営

- ・ 拠点長、事務部門長の役割について記載すること。
- ・ 事務部門の構成の考え方、拠点内の意思決定システム、拠点長と各ホスト機関側の権限の分担等について具体的に記載すること（運営責任者と研究・教育に関する責任者が異なる場合、意思決定機構にそれぞれの者の責任関係を具体的に記載すること）。その際、各ホスト機関が連携した上でリスク管理を含む拠点のマネジメントが効果的かつ効率的に行われるようなガバナンス体制の構築についても記載すること。
- ・ 研究成果に関する厳格な評価システムと能力に応じた俸給システム（例：年俸制等）を導入するため、どのような措置をとるのか、時期・手順も含め具体的に記載すること。

#### ■拠点運営

拠点長の須賀は、拠点運営に関するすべての決定権を有する。拠点長は、融合科学研究部門の研究領域全体を指揮・監督・調整し、融合研究と惑星スチュワードシップ理念の創出を指揮する最終的な責任を負う。また、WPI-AIMEC 国際共同大学院プログラム（「システム改革」およびセクション 4)-2 参照）と連携し、高等教育と連動した次世代人材の育成も担う。副拠点長の稲垣は、拠点長の運営をサポートする。IOC 西太平洋小委員会（IOC/WESTPAC、付録 3：参考資料 2）の委員長である事務部門長の安藤は、事務部門を率いて、あらゆるキャリアレベルの研究者を支援する。事務部門長は、両ホスト機関の円滑な運営を確保し、サテライト機関や他のパートナー機関との国際的な頭脳循環を促進するため、拠点長を補佐する。さらに、統合された科学的知識の普及、惑星スチュワードシップへの貢献といったアウトリーチ活動も担当する。

事務部門は、「**学術支援推進室**」と「**総務企画室**」から構成される（図 14）。学術支援推進室は、東北大学の URA（University Research Administrator）および JAMSTEC の該当組織を含み、国際支援センターとの国際調整、科学コミュニケーション、教育・アウトリーチ、データシステム管理、評価支援を行う。総務

企画室は、経理・外部資金、人事、労務、契約、知的財産等を担当する。各事務スタッフの責務は定期的に見直される。学術支援推進室の機能を強化するため、専任の国際コーディネーターと科学コミュニケーターを雇用する。文書管理は DX パイプラインによって合理化し、実務処理速度と有効性を向上させる。立ち上げ当初より、拠点長の意思決定をサポートする目的で、拠点長、副拠点長、事務部門長をメンバーとする運営委員会を設置する。また、直接の会議に加え、管理者間のオンラインシステムを構築する。人事評価については、評価要素を明確にした「TF（ターゲット&フィードバック）シート」に基づく多面的な評価制度を導入する。そして、年俸制を導入し、拠点独自の給与体系とする。

## ■システム改革

東北大学では現在、事務処理の円滑化・迅速化、研究者のためのワンストップ・ワンポイントシステムの構築など、全学的な改革に取り組んでいる。また、「オンライン事務化宣言」のもと、バーチャル環境構築を推進し、教育研究環境の整備を図っている。そして、URA 体制をさらに強化し、研究者を強力にサポートする体制を構築している。研究で使用する高価な実験・分析機器については、「テクニカルサポートセンター（Technical Support Center (TSC)）」が研究者のためのきめ細かな手配をコーディネートし（図 15）、本拠点研究者の実験・分析機器の情報取得・操作は TSC が支援する。

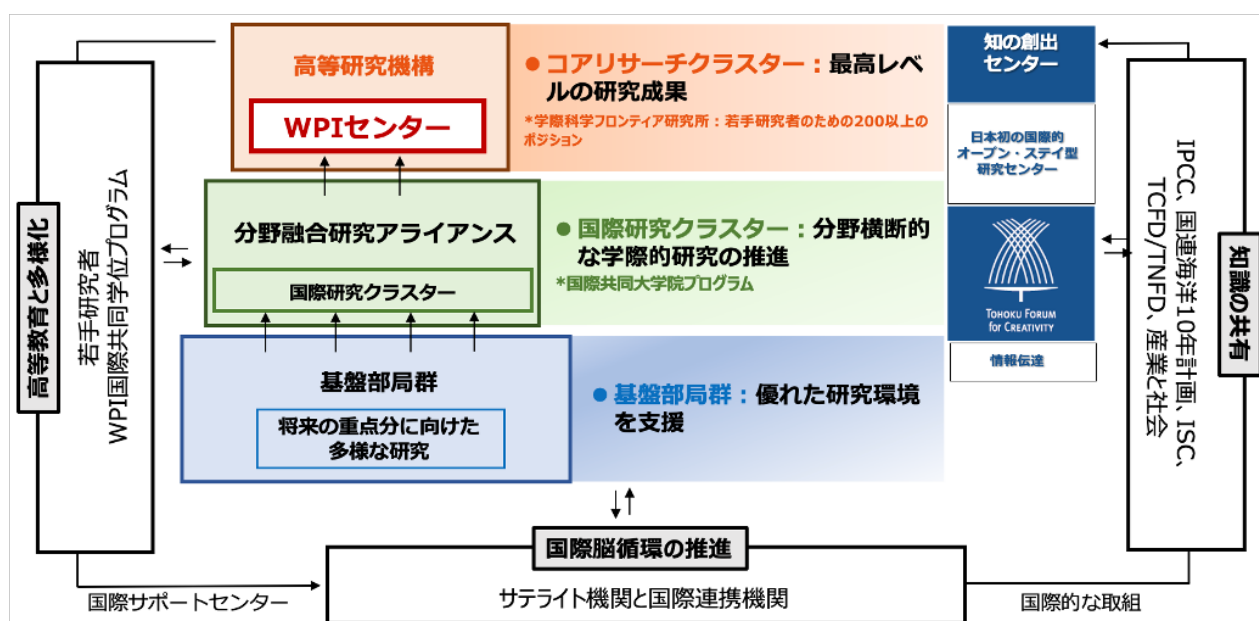


図15. WPI-Academy AIMR、知の創出センター（TFC）と連携した東北大学の3階層研究イノベーションシステム。

また、東北大学では、学長のリーダーシップのもと、2018年度より、全学の研究体制を1.高等研究機構、2.分野融合研究アライアンス、3.基盤部局群の3つの階層で位置づけ、「研究イノベーションシステム」の構築を推進している（図15）。本拠点は、立ち上げ時から最上位の「高等研究機構」に位置づけられ、WPIブランドとその機能を活かした強固な研究連携体制を構築する。高等研究機構には、「WPI-Academy AIMR」、国際連携による世界最高水準の研究拠点を推進する「国際ジョイントラボセンター」、200名を超える若手研究者が独立した研究環境で最先端の学際研究を行う「学際科学フロンティア研究所」が含まれる。また、環境地球科学国際共同大学院プログラムを含む「国際共同大学院プログラム」と、新たに「WPI-AIMEC 国際共同大学院プログラム」を、第2階層の「分野融合研究アライアンス」（高等教育については4)-2を参照）に位置付ける。この全学的なシステム改革を契機として、環境地球科学国際共同大学院プログラム、学際科学フロンティア研究所、その他基盤部局群の各プログラムと連携・協働し、世界をリードする融合研究拠点を構築する。

JAMSTECは2020年からの第4次中期計画の期間中である。この期間からJAMSTECは各研究部門長に高い自由度を与えて研究部門を運営してきた。今回の拠点構想では、JAMSTECが本拠点の運営に大きな裁量権を与える仕組みを構築する。JAMSTECの改革に加え、2つのホスト機関（東北大学とJAMSTEC）とハワイ大学が協力し、1つの機関として「インターラボラトリー」というユニークなプラットフォームを設置する。インターラボラトリーの運営は事務部門が支援し、本拠点の研究者全員が3つの研究所で必要な

機能を利用できることになる。インターラボラトリーは本拠点の中核的機能であり、その他の WPI コアにはない強みである。

### 3) -4. 環境整備

- ・「世界トップレベル拠点」としてふさわしい研究室、居室等の施設・設備環境を整備するため、どのような措置をとるのか、時期・手順も含めて具体的に記載すること。
- ・仮に拠点運営上で複数箇所に拠点の活動場を設けることが有効であると判断した場合、その有効性及び複数箇所に拠点の活動場があっても実質的にアンダーワンルーフに等しい環境をどのように実現していくのかを具体的に記載すること。
- ・研究者の大学院教育への参画について、どのような配慮に努めるのか具体的に記載すること。
- ・拠点の研究環境の最適化のために新たに取り組むホスト機関等の既存制度の改善や慣習の撤廃などについて記載すること。
- ・ジェンダーバランスの実現に向けた、環境整備に対するホスト機関のサポート体制や取組を具体的に記載すること。
- ・上記のほか、世界から集まるトップレベルの研究者が、国際的かつ競争的な環境の下で快適に研究に専念できるようにするための取組があれば記載すること。

東北大学は、東北大学青葉山新キャンパスの次世代放射光施設「NanoTerasu」のホスト機関であり、軟 X 線 (3 GeV) 分析装置を整備している。東北大学と JAMSTEC は、最先端の地震波観測ネットワーク、全球海洋物理化学的要因モニタリングシステム、高分解能有機物分析システムなどの国際的な観測ネットワークに参画しており、これらは本拠点の海洋生態系変動の融合研究に利用することができる。JAMSTEC は、地球環境シミュレーション研究に最適な環境を提供するスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を所有し、アルゴデータシステムや OBIS データシステムを運用している。本拠点は、ホスト機関からの強力な支援により、JAMSTEC のアルゴデータシステムや OBIS データシステム、IPRC の「アジア太平洋データセンター」などの計算基盤やデータセンターへのアクセスも含め、サテライト機関の研究機会や基盤を育成し、幅広い気候 (衛星)・海洋観測 (Argo) データにワンストップでアクセスし、データプロダクトを使用した研究を行う。また、国際ネットワークのハブ機能を活性化することで、若手研究者が最先端の融合科学に触れ、国際的・学際的な研究プロジェクトの一翼を担うという、これまでにない機会を提供することができる。青葉山新キャンパスのオフィスと研究室は近接し、サポートスタッフも常駐する。JAMSTEC では、青葉山新キャンパスとの DX システムを提供する横浜研究所を中心に、研究者の近くにサポートスタッフを配置する計画である。2つのホスト機関、サテライト機関、連携機関の間を DX でリアルタイムに接続し、融合研究を行う上での距離的ハンディキャップを軽減する。分析・実験・計算のための施設は、融合研究や世界最高水準の高等教育を実施するために必要な水準を満たすことができる (詳細は 4)-2 項参照)。

### ■ ジェンダーバランスの実現

ジェンダーバランスの実現に向けた取り組みとして、東北大学には全学職員が利用できる川内けやき保育園(定員22 名)及び青葉山みどり保育園 (定員116名)等、全国の国立大学の事業所内保育施設として最大規模の保育環境が整っている。JAMSTECでは、多様な価値観による優れた研究開発成果と科学技術イノベーションの創出を目指して、男女共同参画を踏まえた女性の積極的採用にとどまらず、国籍や人種、性別、性自認、年齢、障がいの有無などに関わりなく個性が尊重される就労環境の実現を見据えた採用活動に取り組んでいる。東北大学でも、国籍、人種、性別、性自認、年齢、障がいの有無等にかかわらず、個性が尊重される職場環境の実現を目指し、採用活動を行っています。また東北大学では業務のデジタル化の推進にともない、教職員がテレワークできる環境を整備した。また今後、多くの外国人研究者の採用は見込まれることから、採用手続き時にCOE取得や住宅、その他日本で生活を始めるうえで必要と思われる情報をweb上で周知を行っている。

## 4) 次代を先導する価値創造

### 4) -1. 基礎研究の社会的意義・価値の創出・発信

- ・基礎研究の成果を老若男女問わず広く一般に発信していくための方策について、具体的・定量的に記載すること。

## ■基礎研究の社会的意義と価値

2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」を受けて、現在までに民間企業を含む様々な国や公的機関が「カーボン・ニュートラル」や「ネイチャー・ポジティブ」に関する取組を推進している。基礎研究では「海と地球の診断」として「プラネタリー・バウンダリー」という概念が提唱されている。地球温暖化や海洋酸性化など9つの指標の現状を評価した上で、地球のサブシステムが持続的に稼働するための閾値、いわゆる「ティッピング・ポイント」を提示した。その結果、気候変動や生態系に関するいくつかの項目はすでに超過していることが示された。

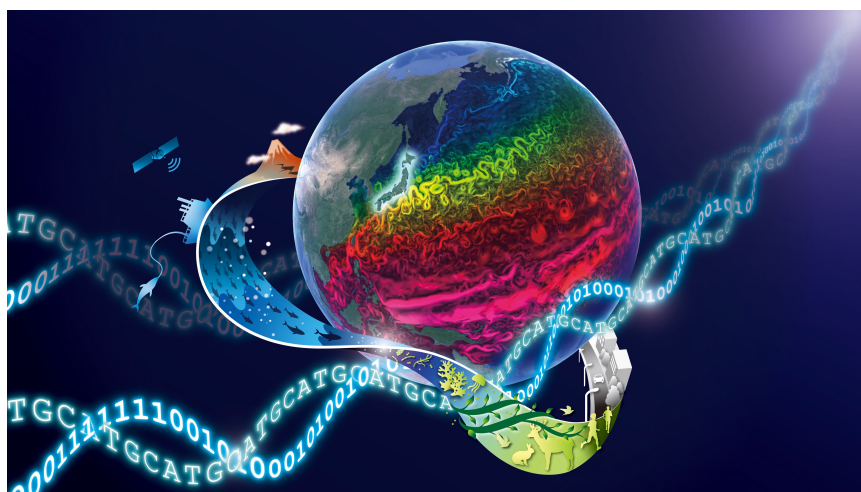


図16. 本拠点が価値を創造し、世界に発信する新学術領域「海洋・生態系変動システムティクス（OECS）」の概念図

今後数十年間に予想される急激な人口増加と人間活動の変化を考えると、陸と海の境界線は、環境変化に関連した社会的影響が最も大きくなると予測される起点である。地域経済と世界経済の双方にとって、海洋と沿岸地域が非常に重要であることを考慮すると、「ブルーエコノミー」（持続可能な基盤の上で海洋から富を得るための確立された枠組み）の将来は、沿岸資源管理の観点からの確固とした政策と実践にかかっている。本分野では、アジェンダ2030「人・地球・繁栄のための行動計画」（UN, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015）に示されたSDGsに取り組むための厳密な戦略として、基礎研究と普及目標を提案し、特に目標14（海洋資源）に焦点を当て、UNDOSが2021年より活動を開始したところである。

2022年12月に開催された生物多様性条約の締約国会議（COP15）では、2050年までの長期目標「自然と調和した世界」に向けた各国の取り組みが共有され、2030年までに陸と海の少なくとも30%を保全するという「30by30」の目標が掲げられた。それにもかかわらず、海洋生態系の基礎研究は陸上生態系に比べて圧倒的に事例が少ない。2023年3月に開催されたGサイエンス会議では、「海洋と生物多様性の回復・再生」が提案された。この提案では、海洋とその生物多様性の「保全」だけでなく「回復・再生」のための国際的な役割の確立や、Argo計画などの地球規模の海洋観測網を活用した科学研究の必要性が述べられた。その一方で、回復・再生のプロセスにとって決定的に重要な環境変化に対する海洋生態系の応答・適応メカニズムについては、依然として不明な点が多い。

現在、海洋物理学で議論されてきた生物生息域の時系列研究と、ゲノム発現レベルでの移動生態系の機能性やその可塑性、複雑性、適応性に関する学際的研究との間には大きな隔たりがある。このような状況は、海洋生態系の変化、回復、修復の正確な予測を促す生態系ノード機能の内部および外部制御を理解することを困難にしている。本拠点は、このような基礎科学のボトルネックを解消し、より正確な海洋生態系の変動予測を実現することを目的としている。世界の海洋面積の41%が人類による影響（海運、漁業、資源開発等）を受けていること、日本を含む多くの国や地域が海洋生態系から恩恵（生態系サービス）を受けていることを考えると、本拠点による学際的な基礎研究と確度の高い予測情報は、将来の海洋産業、政策立案者、その他のステークホルダーに科学的指針を提供し、人間の幸福と繁栄の向上に貢献するという社会的意義がある（図16）。これはUNDOSの実施計画に沿ったものであり、IOCはUNDOSのスチュワード組織としてUNDOSのための行動を呼びかけているところであり、本拠点はこの呼びかけに応え、社会的意義への実質的な貢献を追求する。UNDOSのアクションは、研究者だけでなく、運営スタッフによって行われ、運営部門の科学コミュニケーターは、社会の様々なステークホルダーとの共同デザイン／共同プロデュース／共同デリバリーのために大きな役割を果たすことになる。

## ■基礎研究の社会的価値の発信

東北大学では、持続可能で心豊かな社会を実現するため、現代社会が抱える解決困難な課題に対して、2015年度より「社会的インパクトのある研究」を推進している。本拠点の科学的成果をそれらの研究テーマや課題に直結させることで、全学的な成果を創出し、価値創造を行なっていく。事務部門に専任の国際コー

#### 4) -2. 高等教育とも連動した次代の人材育成

- 若手研究者が関連部局の博士課程に積極的に関与し、国内外の大学院生に研究指導できる体制を構築する。これにより、次世代の世界をリードする若手研究者を育成する。本拠点のポスドクについては、国際公募により若手研究者を積極的に採用し、初年度は6名、次年度以降は年間18名のポスドクを採用する。10年間のWPIプログラムでは、約54名のポスドクを雇用する予定であり、そのうち30%以上を海外研究者や女性研究者とする（セクション2）-3および付録7）。また特に優れた業績を挙げた若手研究者を「ライジングスター研究者」としてオーソライズする。若手研究者を中心とした異分野融合研究を推進し、国際競争力を強化するための刺激的な研究助成として「異分野融合研究アワード」を実施する。

# WPI-AIMEC国際共同大学院プログラム

単位互換制度(CTS)

学際高等教育

グローバルな  
研究能力の強化

クロスアポイントメント教授職

## 東北大学

国際頭脳循環

国際共同大学院プログラム

Jointly Supervised Degree (JSD)

Degree from Tohoku Univ. + Joint Certificate from Tohoku Univ.

Double Degree (DD)

Degree from Tohoku Univ. + Degree from Tohoku Univ.

■ 環境地球科学国際共同大学院プログラム (ハワイ大学と協力)

共同指導

ハワイ大学

## 海洋研究開発機構

共有ラボプラットフォーム

学際的メンターシップ

Vision & Leadership  
ADVICE  
TRAINING

**SUCCESS**

Skill & Knowledge  
MOTIVATION  
SUPPORT

海洋研究

地球シミュレーター

グローバルな研究の機会

国際サマースクール

女性研究者やポスドクの採用については、AIMECの第一回ポスドク・研究員公募の経験、ポスドクでは女性比率が非常に高く（9名中8名）、研究員では女性比率が高かった（7名中4名）。AIMECは現行の公募制度を継続し、東北大学とIAMSTECの両方で女性が働き続けるために適切な個人制度を確保する。

#### 4) -3. 自立化を見据えた拠点運営、拠点形成後の持続的発展

- ・当該拠点が10年間の支援終了後に自立化するよう、新たな研究拠点形成に際して、組織の整理合理化の取組、拠点へのテニユアポストの重点配分などの人的支援、ホスト機関から拠点への基盤的経費や土地・建物等の物的支援などを含む、ホスト機関の中長期的な組織運営の計画・スケジュールについて、具体的・定量的に記載すること。

東北大学の第4期中期計画では、「東北大学グローバルゲートウェイ戦略」のもと、世界最高水準の研究環境とその支援体制の整備・拡充を全学的な目標として掲げ、自立的・主体的な戦略経営を強化するための体制改革を推進している。東北大学は、本拠点を10年度以降も継続するため、最大限の支援を行うことを表明した（様式5参照）。具体的には、本拠点は、東北大学研究イノベーションシステムの高等研究機構に立ち上げ時から位置づけられ、WPI-Academy AIMR、学際科学フロンティア研究所、環境地球科学国際共同大学院プログラム、そして新たに設置される「WPI-AIMEC国際共同大学院プログラム」との相互連携を推進することが可能となる（図17）。

WPIの10年の期間中に、人材、事務体制、研究支援体制、大学院生の高等教育課程における共同指導など、研究面・運営面において、東北大学内との協力・連携体制を構築する。さらに、本拠点の枠組みの中で、JAMSTECが提供できる現場レベルでの実践的な教育の機会を研究者に提供し、研究者が将来、より幅広く、より高度なキャリアパスを得られるようにする。このような東北大学における積極的かつ全学的なシステム改革と連携、そしてJAMSTECと東北大学との強固な連携により、本拠点は10年の補助金交付期間終了後も自立した持続可能な拠点として発展し、学術の卓越性、国際的な教育、統合的な知識の動員、そして将来における持続可能性を高めるための強力な相乗効果を生み出していく。

JAMSTECの第4次中期計画では、各研究部門の長が多くの裁量を持って運営し、研究を推進していく。本拠点においては、採択後速やかに新たな仕組みを立ち上げ、既存部門の研究者や事務支援者を移転させる。支援期間終了後も設置部門を継続する。

## 拠点長のビジョン

東北大学・教授 須賀 利雄

過去40億年以上にわたる地球システムの変動は、太陽系における地球の公転軌道や自転軸の周期的変化に起因する天文学的な要因や、マントル対流に伴うプレート移動や火山活動などの惑星学的な要因に支配されてきた。例えば、過去約258万年前から顕在化した氷期―間氷期サイクルにおいては、日射量の変化に対応して大気中のCO<sub>2</sub>濃度が4万年から10万年周期で変化することが知られている。しかし、地球システムに人間の営みを加えた現世の「**地球―人間システム**」では、地球システムが本来有する自律的な周期性を逸脱し、過去に類を見ない速さで、一体的かつ連鎖的な変動が起こりはじめた。すでに、地球温暖化や海洋酸性化、生物多様性の損失や生態系機能の劣化などは顕在化し、**持続可能性にとっての脅威**となっている。

地球表面の約70%を占める広大な海洋の変動メカニズムは、地圏・大気水圏・生物圏・人間圏を含む複雑な地球―人間システムを理解する上で極めて重要である。実際に、太陽放射をエネルギー源とする地球上の全基礎生産（光合成）のうち約半分を海洋の生態系が担い、その生産物は地球上の全動物量の約8割を養っている。さらに、私たち人間は海洋生態系から様々な物質的・機能的な恩恵、すなわち生態系サービスを享受している。それは、食糧供給から大気・海洋の化学成分（酸素や二酸化炭素など）の調整、栄養塩循環や排水処理、レクリエーション・文化、護岸など広範に及ぶ。しかしながら、**陸の生態系に比べて、海洋の生態系の動的な振る舞い、とりわけ環境変化に対する生態系の応答・適応メカニズムについては、圧倒的に理解が不足している。**

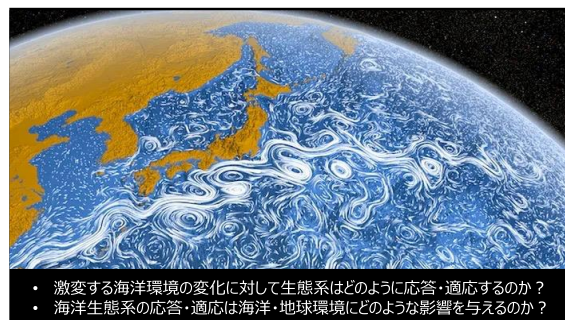
これまでに、人間活動の影響を含めた地球環境の変化が生態系の生物多様性や機能性にどのような影響を与えているかについては、陸の生態系を中心に、さまざまな個別・地域研究が行われてきた。一方、生物多様性や機能性の変化がどのように地球環境を変化させ、人間の社会経済や持続可能性に影響を与えるかといったフィードバックの視点では、精度の高い科学的見解や生態系変動予測には至っていない。つまり、私たちは、生態系の持続可能性に不可欠な要素である連動性や安定性、適応性に関して、外的要因（環境ストレス）を含めた統合的な分析ができておらず、そのため、生物居住環境の物理化学的な変動に対する応答・適応メカニズムをシステムティックに理解できていないのである。

海洋においては、表層から浅海にかけての生物多様性の地理的分布や、海洋環境の周期的な変動は部分的に明らかにされているものの、それらの相互作用や連動性については未解明である。具体的には、環境に適応しうる希少種や突然変異種の発生や伝播、群集・個体・分子レベルの突発的なブルーミングの発生メカニズム、ゲノム・タンパク質の機能性変化による生態系の潜在的な可塑性などは不明な部分が多い。特に、海洋環境の10年規模変動における転換点（ティッピング・ポイント）において、極端な生態系の変化が急速な勢いで生ずる「**レジーム・シフト**」と呼ばれる現象が現れるが、そのトリガー要素を含めた発生・転換・終息メカニズムは明らかではない。別の例では、過去100年の間、温暖化も相まって、数日から数年にわたり急激に海水温が上昇する「**海洋熱波**」の発生頻度が大幅に増加している。これらの現象は、サンマやブリなどの回遊魚やカニやホタテなどの底生生物の漁獲量に壊滅的なダメージを与え、それを捕食するサメやペンギン、クジラなどの高次生物の減少や、有害・有毒な藻類やクラゲの異常発生（ブルーム）などを誘引すると考えられるが、その詳細メカニズムは未だ謎に満ちている。

そこで本拠点において、私たちは「**地球―人間システム変動に対する海洋生態系の応答・適応メカニズムとは何か？**」という第一義的な問いに挑戦する。地域から大洋、全球スケールまで、衛星観測・現場観測のネットワークによるデジタル・データの継続利用は勿論のこと、今後10年間で飛躍的なデータ量の増加と高精度化が期待される中深層や（深）海底などのフロンティアから得られる環境DNA/RNA（eDNA/RNA）の時系列データ、生物地球化学的観測データを解析することにより、**気候や生態系のレジーム・シフトを伴う10年単位の時間スケールの海洋環境変動に対する生態系の応答・適応メカニズムを解明し、海洋生態系変動予測の高精度化を実現する。**

我が国は、惑星地球を代表する広大な太平洋に面し、世界第六位の排他的経済水域を持つ海洋国家である。特に、低緯度から高緯度にまたがる北西太平洋は、海洋循環によって寒帯・亜寒帯・亜熱帯・熱帯の環境が比較的狭い範囲でせめぎ合い、海洋環境の時空間変動が大きく、世界でも最も生物多様性が高い海域の一つである。それ故に、漁業活動や沿岸メガシティの生態系への影響も極めて大きい。即ち、我が国は、海洋における地球―人間システム変動を理解する上で、最適な地理的立地条件に位置している。現在、我が国及び世界各国において、「海洋環境の維持・保全」に留まらない「**海洋及び生態系の再生と回**

復（行動）」の必要性が指摘されている。しかし、その目標の達成には、可及的速やかに、海洋生態系の時空間的な変動メカニズムに関する科学的知見を拡充せねばならない。その重要性和緊急性に鑑み、本拠点は、従前になかった最先端の観測・実験技術と情報解析を駆使して、海洋物理学、生態学、数理・データ科学を融合した海洋生態系変動に係る新しい学術領域としての「海洋・生態系変動システムティクス」を創成し、それを世界的に牽引していくミッションを担う。



これまでに東北大学は、北西太平洋域を中心に大気海洋相互作用とその海洋環境変動への影響について、観測とデータ解析による多くの先駆的な研究を行ってきた。例えば、拠点長候補者である須賀らは自動観測ロボット（プロファイリングフロート）による全球海洋観測網を展開する国際アルゴ計画で中心的な役割を果たし、そのデータに大気海洋相互作用と移流混合の理論を適用した表層海洋変動の研究や、多様な現場・衛星観測データと組み合わせ、機械学習などを適用した大洋規模の高品位マッピングによる物理環境形成や物質循環メカニズムの研究を展開してきた。生態学の分野においても、近藤らは日本沿岸や河川域、最近では外洋にまでeDNAの観測網ANEMONEを展開し、生態系と生物多様性についてのデータ駆動科学を主導している。これらの実績と科学的知見の蓄積は、北西太平洋における海洋生態系変動メカニズムを解明する上での強力な基礎となる。一方、海洋研究開発機構（JAMSTEC）は大気と海洋を結合した気候モデル開発の先駆的な研究機関であり、河宮らによる生態系モデルも結合した「地球システムモデル」の開発でも世界のトップグループに連なる。また、モデルの検証やデータ同化のために、グローバルに観測データを収集する機能も備えている。さらに、東北大学とJAMSTECがそれぞれ組織レベルでの連携を継続してきたハワイ大学マノア校は、太平洋中央部に位置する国際的な気象・海洋観測拠点であり、国際太平洋研究センターを中心にアジア・太平洋域の観測研究をリードしている。私たちが直面している喫緊の課題に対応するには、大学・研究機関が単独で取り組むよりも、重点海域とデータを戦略的に共有できる国際アライアンス型のイニシアティブとして取り組むことが最も効果的でインパクトの高い成果創出につながる。私は、WPIのフラッグシップの下で、東北大学―JAMSTEC―ハワイ大学が組織的に連携し、北西太平洋全域における多様な時空間スケールでの海洋生態系変動メカニズムの理解やデジタル予測を実現する。本構想は、次代を担う研究者やリーダーを育成し、その価値を将来にわたり継承していく国際的な学術基盤となる。

本WPIアライアンス拠点が採択後にまず取り組むのは、北西太平洋を舞台とした海洋環境・生態系の物理・化学・生物学的側面を統合した分野融合研究である。現状では、各種センサーによる計測や連続観測手法、自動観測網などで得られたデータの性質と量は分野によって異なり、データの時空間的なカバレッジ・レベルは、一般に物理分野、化学分野、生物分野の順に桁違いに低下する傾向にある。それらを効果的に統合・一元化するためには、異分野データ間の関連性についての科学的な相互理解を図り、著しく粒度が異なるデータを科学的知見に基づいて整合させる必要がある。本拠点では、基礎的なデータセットの作成段階から異分野の研究者が日常的に協働できるアンダーワンルーフの研究環境を整備する。初期の5年間は北西太平洋の研究に重点を置きながらも、中盤から後期5年にかけて全球的な展開を視野に入れたデータプロダクトの構成をとることで、10年以内に対象領域の枠を超えた国際的なデータ活用及び世界トップレベルのグローバル研究を展開する。そして、融合研究の成果と中間プロダクトを順次データベース化し、これに基づく海洋生態系のための生成系AIのプロトタイプを作成して、さらなる分野融合研究に活用する。10年後には、一般に公開可能な生成系AIへの拡充を目指す。その後も世界的なアライアンス拠点として、日本発の学術領域としての海洋・生態系変動システムティクスを国際的に先導していく。

私は、2016年から東北大学とハワイ大学の学位共同指導を基本とする国際共同大学院プログラムを主導し、数多くのジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー取得学生を育成してきた。この枠組みを大幅に拡張したWPI-AIMEC国際共同大学院プログラムを立上げ、JAMSTECの研究者による学位指導も可能にして、次代を担うグローバル人材の育成を強力に推進する。さらに、広報・アウトリーチを担う専任のURA・国際コミュニケーターを起用し、科学界や国連の関係機関、政策決定者、民間企業、一般社会に向けて継続的かつ効果的な情報を発信することで、国際アライアンス研究拠点としてのビジビリティとシナジー効果を向上させる。以上の拠点形成と取り組みにより、私は志を共有する仲間と共

に、次代の地球—人間システムを持続可能に導く惑星スチュワードシップに貢献していく決意である。

# ホスト機関のコミットメント

令和5年6月1日

文部科学省 宛

ホスト機関1名 東北大学

ホスト機関1の長の役職・氏名 総長・大野英男

ホスト機関2名 海洋研究開発機構

ホスト機関2の長の役職・氏名 理事長・大和裕幸

「世界トップレベル研究拠点プログラム」に申請した「変動海洋エコシステム高等研究機構」に関し、同申請が採択された際は、以下の事項について責任をもって以下のとおり具体的に措置していくことを確認する。

## ＜具体的措置＞

※ 以下のそれぞれの事項について、具体的措置を記載すること。

- 1) 当該拠点が真に「世界トップレベル研究拠点」となり、支援終了後に自立化できるよう、当該拠点が各ホスト機関のミッション等の実現に資することを示すとともに、当該拠点を各ホスト機関の中長期的な計画に明確に位置づけた上で、補助期間中から機関を挙げて全面的な支援を行うこと。

※当該拠点が、ホスト機関におけるミッション、建学の精神・理念、業務運営に関する目標等の実現に資することを示すこと。

また、ホスト機関の中長期的な計画における当該拠点の位置づけについて記載すること。

東北大学と海洋研究開発機構（以降、JAMSTEC）は、相互の強固な連携により両機関の強みを相補的に活かしアンダー・ワン・ルーフの拠点を形成する。また、補助期間中はもとより補助期間終了後も両機関が連携して本拠点を全面的に支援し、世界をリードし、国際頭脳循環のハブとなる研究拠点を確立する。一体的な世界トップレベル研究拠点の運営を実現するために、複数ラボの相互設置、研究者のクロスアポイントメント制度適用はもとより、本拠点に関わる研究者が両機関の研究インフラに自由にアクセスできる研究環境構築、大学院教育にコミットできる体制、知的アセットの適切な価値化を両機関が密に連携し推進する。

（東北大学のコミットメント）

本学は、開学以来「研究第一」、「門戸開放」、「実学尊重」の理念を掲げ、平和で公正な人類社会の発展に貢献することをミッションとし、知の拠点として卓越した研究成果を挙げ、社会に還元し、イノベーションを牽引してきた。現在、これらの伝統や実績を礎として「教育」、「研究」、「社会との共創」の好循環を高い次元で実現することを目指し、大学のシステム改革、経営革新に取り組んでいる。

本拠点は、本学が進める様々な改革のリーディングモデルとしての役割を果たすことはもとより、

世界トップレベルの研究、国際標準の研究支援体制構築、国際頭脳循環を推進する原動力として、国際的に卓越した研究大学に向けて邁進する本学を牽引することで、本学のミッション実現に大きく寄与する。具体的には、本拠点において、関連分野のトップレベル研究者の結集、本学の自主財源による外国人研究者の雇用や海外ネットワーク強化といった国際化戦略を最大限活用した国際連携体制整備を行い、これを展開することで全学のシステム改革を進め、本学の国際的プレゼンスの更なる向上につなげることは当然のことながら、卓越した研究成果に基づいた新学術領域の創出を先導する。

本学は本拠点の運営及び研究活動のために、本プログラムからの支援額と同程度以上のリソースを確保することを決定している。また、当初から正式な本学の構成部局と位置づけ、支援終了後には本学の「看板研究所」となるように全面的に支援していく。具体的には本学のWPI-AIMRと同程度（8億円程度）の資源を投入する予定である。

指定国立大学法人である本学は、その構想において世界最高水準の研究成果の創出と国際的プレゼンスの向上を図るため、研究力を総合的に解析した上で、本学の強み・将来性の観点から、9つの重点研究領域を決定した。本提案は、その重点研究領域のうち、「**環境・地球科学**」を中心とする研究分野であることから、総長がその重要性を認め、令和4年2月より東北大学学際研究重点拠点「統合地球システム科学研究拠点（IESS）」として認定し、総長の裁量により財政的支援を実施し、既に令和4年5月に地球科学のみならず、多様な研究分野から6名の世界的研究者を招待講演者とした国際ワークショップを開催するなど、全学的研究拠点として研究活動を展開している。

また、本学は**研究イノベーションシステム（様式3 図15）**として、**全学の研究体制を三階層にレイヤー化**しており、最上位となる第一階層の「**高等研究機構**」には、2016年にWPI拠点のミッションを達成し本学の自己財源で継続しているWPI-AIMRを独立部局として設置しており、本拠点も同様にこの階層に新たに加えることとしている。高等研究機構には、WPI-AIMRを中核部局とする「材料科学世界トップレベル研究拠点」を含む本学を代表する4つの世界トップレベル研究拠点群の他に、新たな研究領域を開拓する「新領域創成部」、国際共同研究を通して世界的研究拠点を形成する「国際ジョイントラボセンター」、若手研究者が独立した研究環境下で最先端の学際研究を行う「学際科学フロンティア研究所」から構成され、世界をリードする横断的分野融合研究・新領域研究を総長のリーダーシップに基づく重点投資により推進している。

本学はこの3階層の研究イノベーションシステムおよび「高等研究機構」を、2030年を見据えた本学の挑戦的な展望として掲げる「**東北大学VISION2030**」、および本学の**第4期中期目標・中期計画においても重要施策として位置づけている**。本拠点を「高等研究機構」内に位置付けることで、WPI-AIMRがWPIとして培ってきたシステムやノウハウを活用するとともに、全面的な重点投資により世界的研究拠点を形成する。

更に、本学が培ってきたシステムやノウハウをJAMSTECにも横展開し、ハワイ大学も含めた強

固な連携による「アンダー・ワン・ルーフ」での一体的な拠点運営が可能となるよう必要に応じて理事・副学長も調整にコミットするなど、機関を挙げて支援する。

#### (海洋研究開発機構のコミットメント)

本拠点で取り組んでいく「北西太平洋を舞台とした海洋環境・生態系の物理・化学・生物学的側面を統合した分野融合研究」は、JAMSTEC の第4期中長期計画（令和元年度から令和7年度）に定める研究開発課題の一つである「地球環境の状況把握と変動予測のための研究開発」での取り組みと整合するものである。また、2023年3月に、今後のJAMSTEC の取り組みの方針をまとめた「マニフェスト」を策定し、長期的視点で強化していくべき研究開発と技術開発、及びそれらを実現するために必要なメカニズムについて並行して具体化を進めているが、このマニフェストにおいて、世界トップレベルの研究拠点を目指す方針を掲げている。JAMSTECでは、これらの中長期計画、マニフェストに資する構想として、東北大学と連携し、**本拠点の活動を支援することで、世界最高水準の拠点形成に貢献する。**

また、JAMSTECが所有するスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」等の利用における機器設備の提供や、「海洋生物データベース(BISMaL)」等における観測データの提供を通し、**本プログラムからの支援額と同等以上のリソースを確保する**とともに拠点活動を強力に後押しし、WPIを通じたシステム改革等の知見をJAMSTEC内でも展開し、組織を挙げて東北大学と**一体となった拠点支援を実施する。**

また、マニフェストの重要事項の一つとして、**人材育成**を位置付けており、国内外の優秀な若手研究者を受け入れる研究環境の強化及び、JAMSTECを支える職員の能力強化を行うこととしている。これにより**集結した人材の技術や知識を本拠点の研究ビジョン達成に向けた取り組みに繋げていく。**また、本提案において、これまでJAMSTECがハワイ大学とアジア・太平洋域を中心とした地球環境とその変動に関する国際共同研究活動を長年にわたり行ってきた実績を基に、**東北大学—JAMSTEC—ハワイ大学の連携をさらに発展させ、世界最高水準の拠点形成を支援する。**

- 2) 各ホスト機関は、当該拠点を各ホスト機関内の恒久的な組織として位置付け、自主的に運営していくために必要となる既存組織の再編等を含む各ホスト機関の中長期的な組織運営の方向性に係る基本方針の表明及び今後の具体的な計画・スケジュールの策定を行い、それを着実に実行すること。

※ホスト機関の中長期的な組織運営の方向性に係る基本方針と今後の具体的な計画・スケジュールの両方について記載すること。

#### (東北大学のコミットメント)

本学は指定国立大学として世界と伍する研究大学にふさわしい**ガバナンスと運営資金の一体的改革**を総長のリーダーシップのもと急速に進めている。上記の3階層研究イノベーションシステムはその一環であり、「高等研究機構」に設置した4つの世界トップレベル研究拠点では、部局を超えた人員配置のもとWPI型の運営方式を導入するとともに総長のリーダーシップによる**重点投資（戦略的財政支援、若手研究者人材支援など）**を行うことにより、世界をリードする研究を推進してお

り、既に世界トップレベルの研究を推進するための環境・体制が整備されている。第4期中期目標・中期計画においても、研究イノベーションシステムの更なる充実に向けて、第一階層に成長する拠点を増加する目標を掲げている。

本学はWPI-AIMRを設置当初から正式な独立部局と位置づけ、WPIプログラム補助期間終了後も、この地位を継続させ、テニユア・ポストの配置を含め、権限や資源・インフラ供与の措置を維持させてきた実績がある。現在もWPIアカデミー拠点としてふさわしい規模と活動実績を維持し、中長期的に安定した発展を確保できる体制となっている。

本拠点に関しても、設置当初から高等研究機構に「恒久的な部局」として位置づけ、人員やスペースの配置を行い、更に補助期間中はもとより、補助期間終了後の自立的な運営に向けて、大学として力強く支援する。運営面においては令和5年度中には拠点運営に必要な承継職員を配置するなど、早期に研究支援組織の整備を完了させる予定である。

採択後は、直ちに東北大学担当理事、JAMSTEC担当理事が参画する恒常的なワーキンググループ「**世界トップレベル研究拠点将来構想WG**」（仮称）を正式に設置し、自立化に向けた支援、進展計画の具体化を東北大学およびJAMSTECで一体的に進めていく。

#### (海洋研究開発機構のコミットメント)

JAMSTECでは、その第4期中長期計画において、各研究部門の長が大きな裁量権をもってマネジメントを行い、研究が実施されている。あわせて、第4期中長期計画より運営費交付金のみではなく、獲得した競争的研究費等の外部資金研究に際しても、必要に応じて新たに組織を設置し研究を実施している。本拠点に関しても、採択後早急に新たな組織を設置し、既存の組織の研究者や事務支援者を再配置する。支援期間終了後においても、設置された組織を継続し、高い自由度を持つ運営を実現する。また、採択後、早期に設置する「世界トップレベル研究拠点将来構想WG」（仮称）にJAMSTEC担当理事が参加し、自立化に向けた支援、進展計画の具体化について密な組織間レベルで一体となり調整する。

### 3) 各ホスト機関の基盤的経費等の配分の考え方を示した上で、当該拠点の運営及び研究活動の実施に必要な人的、財政的及び制度的支援を行うこと。また、各ホスト機関のミッション等の実現に向けて、当該拠点の運営及び研究活動にWPI以外の外部資金等を活用する場合、当該拠点と他の外部資金との関係性を示すこと。

#### (東北大学のコミットメント)

本学では卓越した教育研究活動の展開により、ブランド力の向上を実現し多様なステークホルダーとの共創による新たな社会価値の創出と財政基盤の強化を図り、それにより生み出された学内資源を総長のリーダーシップに基づいて戦略的に再配分するエンゲージメント型大学経営への転換に邁進している。この中で、外部資金獲得強化を大学全体のパフォーマンス向上に繋げるべく、総長の強いリーダーシップにより成長が見込まれるプロジェクトや大型の融合領域プロジェクト研究等

へ重点配分を行っている。

前述のとおり、本拠点の重要性から、本学は本拠点の運営及び本拠点における研究活動のために、本プログラムからの支援額と同程度以上のリソースを確保することを決定しており、承継教職員を適切に配置するほか、学内資源の重点投資を行う。WPI型の拠点運営を行うための制度整備はすでに実績があるが、研究担当理事と拠点長が日常的に直接対話することで必要な制度改革には迅速に対応する。

更に、令和2年7月に策定した「**コネクテッドユニバーシティ戦略**」のもと、**海外クロスアポイントメント制度の整備、若手研究者の海外派遣、共用設備のリモート化、オンラインを活用した新たな国際交流など**、多様な全学的制度、環境を既に整備している。本拠点が活発な国際研究活動を展開し国際頭脳循環のハブとなるため、これらの制度的支援も強力に実施する。

本拠点を世界トップレベル研究の推進は基より本学のガバナンス改革の核となるように成長させることは、本学の経営戦略の柱の一つであり、そのために必要な人的、財政的、制度的支援を行う。

また、本拠点の運営及び研究活動に活用すべく、本拠点の独創的着想に基づく企業等との大型産学連携研究の展開等、多様な資金・寄附金の獲得についても全学を挙げて支援を行う。

#### (海洋研究開発機構のコミットメント)

JAMSTECにおいては、職員の配置や業務・予算の重点化・効率化に係る基本的な方針の策定や実際の予算配分について、理事長及び理事の関与を強化している。具体的には2～3年後までを見据え、各担当理事が自ら所管する部署間の調整を行い、その結果を理事長に報告し、理事長が了承するというプロセスを形成し、強いリーダーシップの下、各種資源配分を実施している。令和5年度においても、上述のマニフェストに係る施策の戦略的な推進に必要な資源を投資したところである。本拠点においても、その重要性から世界トップクラスの研究を主導してきた研究部長クラスの職員を中心に、副拠点長およびPI、事務部門長として配置するなど、強力に人的な支援を行う。また、財政的な支援として、理事長、理事の強いリーダーシップの下、本プログラムからの支援額と同等以上のリソースを配分することを決定している。具体的には、JAMSTECが所有するスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」等の利用における機器設備の提供や、「海洋生物データベース(BISMaL)」等における観測データの提供、及び自律型観測ロボット「アルゴフロート」の運用・開発に係るノウハウの提供などを通し、拠点活動を強力に後押しする。加えて、本拠点に関しては、採択後直ちに新たな組織を設置し、既存の組織の研究者や事務支援者を再配置するなど本拠点の運営及び研究活動の実施に必要な支援を行う。

さらに、気候変動適応策・脱炭素社会の実現に向けた緩和策に活用される科学的根拠を創出・提供することを目指して進められている文部科学省の外部資金等による活動も、成果の活用を通じて

本拠点事業の推進に貢献する。

- 4) 支援期間終了後も、当該拠点が自立的な運営を行い「世界トップレベル研究拠点」であり続けるため、拠点に対して人的・財政的な資源や施設・設備等の整備などの長期間にわたる資源配分等の必要な支援を行うこと。なお、拠点の活動に必要なインフラ（土地、研究施設・設備、研究スペース等）は、支援期間終了後も継続した確保を前提として、拠点形成の早期からアライアンスに参画する各ホスト機関間で調整の上、確保・提供すること。

(東北大学のコミットメント)

前述のとおり、本拠点は、設置とともに「**高等研究機構**」へ位置づける。既に同機構には、WPI-AIMRが培った研究・事務システムを水平展開して、様々な重点投資と人事戦略・財務戦略を最大限に活用している実績があり、これによって、世界トップレベルの被引用度の高い論文が着実に増加しているほか、国際競争力の強化、世界最高水準の独創的着想に基づく企業等との共同研究を始め、大型産学連携研究などの社会実装も大きな成果を上げている。

本拠点にも同様に力強い支援を行うことで、世界トップレベルの卓越した研究を推進するほか、併せて様々な外部資金・寄附金の獲得、将来的な自立化に向けて拠点とともに大学が最大限の努力をする。

インフラに関しては、本拠点構想が採択された場合には、複数ラボの相互設置に供する共通スペースとして本学が保有する4000m<sup>2</sup>のスペースを拠点立ち上げ時に活用する。その後、「世界トップレベル研究拠点将来構想WG」（仮称）においてJAMSTECと密な調整を行い、可能な限り早い段階で拠点建物を整備することで両機関および海外拠点の知が集結する**アンダー・ワン・ルーフの拠点を構築**し、支援期間終了後も拠点の活動の場となるインフラを確保する。PIや関連研究者用の高度化した居室や実験室スペースを整備するだけでなく、拠点内交流促進設備、学外共同研究の受け皿となるオープンラボスペースも付随させ、JAMSTECを活動拠点とするPIや海外PIも自由に活用できる環境を整備することで、世界トップレベル研究を推進するプラットフォームを構築する。

(海洋研究開発機構のコミットメント)

本プログラムによる支援期間終了後も、世界有数の計算機資源である地球シミュレータや海洋観測に関する知見の提供と、大気と海洋を結合した気候モデル開発、さらに生態系モデルも結合した地球システムモデルの開発やそれらを活用した研究において**世界をリードする研究者の人的リソースを提供するなど各種支援を継続**する。また、**東北大学との一体的運営に必要な拠点のスペースを継続的に確保**し、拠点ビジョンの実現に貢献していくとともに、東北大学—JAMSTEC—ハワイ大学の連携により発展した世界最高水準の拠点を、国際共同研究などを通じて維持する。

- 5) 拠点運営に一定の独立性を確保するため、「拠点構想」実施にあたって必要な人事や予算執行等に関し、拠点長が実質的に判断できる体制を整えること。

(東北大学のコミットメント)

東北大学,海洋研究開発機構

変動海洋エコシステム高等研究機構

AIMRと同様に、拠点長による拠点運営の独立性を確保するため、**本拠点の人事や予算執行等については、拠点長が実質的な権限を有する執行体制を敷く**。また、本拠点に措置される補助金については渡し切りとし、本学から配分される予算も含め、拠点長の裁量により執行できる体制とする。

(海洋研究開発機構のコミットメント)

2020年から開始したJAMSTEC の第4期中長期計画において、各研究部門の長による高い自由度をもった運営がなされレベルの高い科学成果の創成ができるような体制になっている。本拠点の運営については、採択後直ちに新組織を設置し、人事や予算執行等、拠点長に**大きな裁量権を確保する体制とする**。

**6) 機関内研究者を集結させ、必要な環境整備を実現するにあたり、各ホスト機関内の他の部局における教育研究活動にも配慮しつつ、調整を積極的に行い、拠点長を支援すること。**

(東北大学のコミットメント)

本プログラムへの申請にあたり、総長及び研究担当理事の下、関連する部局との綿密な調整を行い、ホスト機関の総力をあげた提案とした。本拠点に参画するPIが所属する部局とは、人事・事務機構・研究支援体制・博士学生指導についての緊密な連携・協力体制を構築している。特に、博士学生指導に関しては、本拠点に参画する部局長から多大な期待が寄せられているところである。採択後も、拠点の研究活動をより活性化させるために、また関連部局の教育研究活動の高度化に繋がるwin-win連携を確立するために、全学を挙げて関係部局との連携体制やJAMSTECのPIが教育活動に参画できる体制を構築するよう積極的に調整を図り、拠点長を支援する。

(海洋研究開発機構のコミットメント)

本拠点に参画するPIが所属する研究部門においては、毎月開催する研究部門会議を通して部門内の連携協力のための情報共有の場を構築している。また他の部門との連携を深めるために役員が主催する部門間連携会議を毎月開催している。これらの会議に必要なに応じて副拠点長または事務部門長が出席し、本拠点と関係部局との連携体制を構築するために必要な議論や調整を図り、所内の拠点の活動および拠点長を支援する。

**7) 機関内の従来の運営方法にとらわれない手法（英語環境、能力に応じた俸給システム、トップダウン的な意志決定システム、大学院教育との連携等）を導入できるように機関内の制度の柔軟な運用、改正、整備等に協力すること。**

(東北大学のコミットメント)

WPI-AIMRと同様に、本拠点でも**能力に応じた俸給システム、トップダウンの意志決定システムを採る**。教員或いは職員にかかわらず公用語を英語とすることで、国内外のトップレベルの研究者が集い、国際的研究拠点としての活動の活性化につなげる。外国人招聘研究者に対する生活や研究

に関する質の高い支援を本拠点でも実施する。本拠点が設置される高等研究機構には、国際的アウトリーチを行う国際広報室、リサーチ・レセプションセンター機能を有する**国際事業推進係(IAC: インターナショナルアフェアセンター)**を既に整備しており、英語で支援を行う承継職員、スタッフを配置している。また、WPI-AIMRでIACが培ったノウハウを基盤とし、全学的支援組織として令和4年4月に新たに設置した外国人研究者等が円滑に研究を開始できるよう支援する組織「国際サポートセンター」が強固な連携に基づいた本拠点への支援を行う。

大学院教育に関しては国際共同大学院プログラム等との連携により、海外拠点を含めた本拠点研究者が大学院教育・指導に参画することについて関連する大学院研究科と既に合意している。更に、東北大学オープンオンライン教育開発推進センターが展開するオンライン学習サービス「MOOC (Massive Open Online Course)」や海外有力大学との連携協定によるダブルディグリー制度といった本学独自の教育制度と連携した新たなWPI-AIMEC国際共同大学院プログラムを設置することとしており、本大学院プログラム設置に向け、全学的な調整について強力に支援する。

また、複数のホスト機関の知的アセットの価値化推進の一環として、本大学院プログラムへJAMSTECも参画可能となるよう学内調整やホスト機関間調整を積極的に行い、JAMSTECが有する多様なリソースを活用した大学院教育を実施する。

#### (海洋研究開発機構のコミットメント)

JAMSTECでは、既に外国人研究者を相当数受け入れており、事務手続の英語化や英語による情報伝達などを実施している。また、給与についても年功序列にとらわれない制度を導入済みである。本拠点についても、設置後は**公用語を英語化すること、給与についても同様に年功序列にとらわれない制度**とする。また、JAMSTECは、**14の大学と連携大学院協定を締結**しており、所属する研究者の多くが学生指導を経験している。更に、マニフェストには、組織として研究指導・教育を強化拡大する方針が記載されていて、本拠点に参画する研究者が大学院教育・研究指導に携わることは、JAMSTECの方針にも合致している。

### 8) その他、当該拠点が「拠点構想」を着実に実施し、名実ともに「世界トップレベル研究拠点」となるために最大限の支援をすること。

#### (東北大学のコミットメント)

本拠点を本学の研究戦略、国際戦略、経営戦略の柱として、社会との共創に基づく未来ビジョンデザインのプラットフォームとして位置づけ、多様なステークホルダーとの出会いの場や財源確保の機会を提供する。

本拠点を前述の研究イノベーションシステムの最上位層「高等研究機構」に位置付け、世界最高標準の研究体制を整備するとともに、本学大学院理学研究科、生命科学研究科、農学研究科との**強固**

な学内連携体制を構築する。加えて、本学が採択されている国際共同大学院、卓越大学院、複数の「ムーンショット型研究開発事業」等との連携により、拠点に集結する研究者と総合大学としての多様な研究者・学生が参画し、「総合知」の観点から本拠点が持続的に発展する仕組みを構築する。

国際的事務体制に関しては、拠点内にとどまらず、現在鋭意進めている全学的な事務改革により、拠点を越えた「ワンストップ・ワンポイント」事務サービスや、「オンライン事務化宣言」に基づく効率的な事務サービスが提供される。高度な専門人材（URA）が研究分析や研究支援を行うリサーチ・マネジメントセンターや、リモート環境で機器共用を行うコアファシリティ統括センター、全学的リサーチ・レセプションセンター機能を担う国際サポートセンターも充実している。更に、本学では令和5年4月、国際法の知見を広く社会に発信するとともに、国際ルールの策定に関する政策提言を行うことを目的として、東北大学国際法政策センターを設置した。本センターを活用することにより、本拠点の卓越した研究成果に基づく国際的なルールや規範および政策提言を行う。これらの取組により、拠点内共同研究はもとよりJAMSTECや海外拠点を含めた学外研究者との共同研究を積極的に促進させる「受け皿」システムが構築されるが、特に国際頭脳循環のハブとなる本拠点には優先的なサービスを行う。

#### (海洋研究開発機構のコミットメント)

本拠点の研究活動の関連がもっとも深い地球環境部門で実施されているグローバルな研究活動や本拠点活動への充当計画に組み込んでいる外部資金である文部科学省の「気候変動予測先端研究プログラム（SENTAN）」との連携はもとより、部門間連携会議等を通じて関連する他の研究部門との連携を図るなど、しっかりとした連携体制を所内に構築する。また東北大学の拠点に集結する多様な研究者・学生との連携についても、クロスアポイント制度や、連携大学院協定を活用した取り組みを通じて一体化を深めていく。また、東北大学の事務組織との役割分担を踏まえつつ、既存の研究支援組織との連携や新たな人材の登用により、センターの研究活動に携わる研究者を支援する事務体制を整備する。

### 9) 各ホスト機関は、当該拠点が達成した成果を自己評価し、ホスト機関自らが優れた取組として評価したものについて、ホスト機関全体への展開・波及を図ること。

#### (東北大学のコミットメント)

本拠点を恒久的な組織として発展させることに関しては前述の学際研究重点拠点の認定にもあるように既に全学的な合意形成が得られている。また採択後早急に「世界トップレベル研究拠点将来構想WG」（仮称）を設置し、本拠点の優れた取り組みを全学的に展開する。本学はWIP-AIMRが世界トップレベル研究拠点形成の過程で達成したシステム改革を全学に波及させたが、それと同様に、本拠点においても、随時自己評価に基づいた拠点の優れた取組を全学的に波及させ、学内のシステム改革を加速させる。

また、東日本大震災を経験した本学は2021年4月に「グリーン未来創造機構」を設置し、環境および社会問題を解決し、持続可能で、自然災害・感染症にレジリエントなグリーン未来社会の実現に向けて研究・社会連携活動のさらなる強化を図ることとしている。同機構が推進する様々なプロジェクトとの連携を図ることで、本拠点における科学的知見・成果を社会的活動へと展開する活動につなげ、本学がグローバル・アジェンダの解決に貢献することに取り組む。

#### (海洋研究開発機構のコミットメント)

JAMSTECにおいては、独立行政法人通則法に基づき、毎年6月末までに自己評価を実施し、文部科学大臣に報告するとともに公表することが定められている。これにあたり、役員が議長及び委員となる自己評価会議を毎年開催し、各年度の業務状況を振り返り、理事長が自己評価を行っている。本拠点の研究活動についても、上述の枠組みを活用して評価し、そのフィードバックについては、部門間連携会議や戦略会議などで共有され、所内全体への展開を図る。

#### 10) WPI拠点やWPIアカデミー拠点を持つホスト機関については、既存の拠点を世界トップレベル拠点として維持・発展させるための十分な支援を行い、また、新たな拠点への十分な支援と、既存の拠点への支援の継続を両立させること。

※WPI拠点やWPIアカデミー拠点を有するホスト機関のみ記載すること。

#### (東北大学のコミットメント)

本学のWPI-AIMRはWPIプログラムによる支援期間終了時にWPIアカデミーとして認定されたが、現在も本学の正式な独立部局としての地位を継続させ、本学の研究イノベーションシステムの最上位である第一階層「高等研究機構」に位置付けている。本学の「第4期中期目標・中期計画」においても、総長の重点投資により第一階層の強化を着実に進め、世界最高水準の研究環境及び研究支援体制を構築・拡充することを、全学目標として掲げている。WPI-AIMRはWPIプログラム終了後の進展計画を着実に推進していることは基より、高い質の研究と国際性を保っていることから本年「**WPIアカデミー**」としての更新が認められた。

WPI-AIMRにおいては、海外サテライトを活用した国際頭脳循環とネットワーク形成、クロスアポイントメントによる雇用拡大のモデルとなる取組、大学事務組織の国際化など、学内におけるシステム改革を主導し本学の国際プレゼンスの向上に大きく貢献している。本学は、このようなブランド力を高めることで、自立的、個性的戦略的経営をさらに強化する「**東北大学グローバルゲートウェイ戦略**」のもとシステム改革を推進している。グローバルゲートウェイとしての地位確立により世界の知を集結し、企業の人材育成や将来ビジネス戦略策定等新たな枠組みによる国際産学連携を加速させ、大変革時代の社会価値創出と外部資金獲得強化を実現する。獲得した外部資金等を総長のリーダーシップによる研究ポートフォリオ戦略に基づいた重点的資源配分につなげることで、更なる本学の**経営力強化に向けた好循環システム**の加速的発展を目指し、不断の改革に基づいた**既存拠点及び新たな拠点形成への手厚い支援を両立**してゆく。

**11) WPI拠点やWPIアカデミー拠点を有するホスト機関については、既存の拠点の優れた成果を、自主的かつ積極的にホスト機関全体に波及させ、機関自らの改革につなげることを。**

※WPI拠点やWPIアカデミー拠点を有するホスト機関のみ記載すること。

(東北大学のコミットメント)

本学は**WPI-AIMRの成功を受けて**、従来部局と異なるトップダウン型の国際的研究所運営の必要性を総長が認識し、**2018年に「高等研究機構」を設立**した。これをフレームワークとして、本学が強みを有する①材料科学、②スピントロニクス、③未来型医療、④災害科学の4分野のWPI型研究拠点群を設置し、**全学的に世界トップレベルの異分野融合研究の創出**を図っている。また、WPI-AIMRが培ってきた国際会議の企画運営や海外研究者招聘のノウハウ、ロジスティクスの知見は、2022年4月に設置した全学的外国人研究者支援組織である「国際サポートセンター」や、高等研究機構内に設置している「国際事業推進係（IAC）」、国内大学初導入の訪問滞在型研究プログラム「知のフォーラム」に引き継がれている。さらに、WPI-AIMRがWPI拠点ミッションとして特に注力した異分野融合、若手キャリア形成、国際頭脳循環といった取組みはホスト機関に多大な波及効果をもたらし、若手異分野融合環境とキャリア形成のための「学際科学フロンティア研究所」や「高等研究機構国際ジョイントラボセンター」設立へと繋がっている。これらに加えて、業績評価に基づくWPI-AIMRの新しい給与システムが、本学の「ディスティングイッシュドリサーチャー」制度へ展開したほか、海外から有能な研究者を招聘するためのクロスアポイントメント制度、海外研究者が来日せずとも所定の業務へ対価を支払うことができる業務委託システムの導入など、AIMRの優れた成果を積極的にホスト機関全体に波及させ、システム改革に繋げている。

# 世界トップレベル研究拠点プログラム 主任研究者リスト

※ 主任研究者が10名を超える場合は、適宜行を追加してよい。  
 ※ 年齢は、2023年4月1日時点とすること。  
 ※ プログラム開始時点で、当該構想に参加できないものについては、備考欄に、参加予定時期を明記すること。  
 ※ 外国人の氏名は英語で記載すること。  
 ※ サテライト所属PIの場合は備考欄に「サテライト」と記載すること。

(日本語で作成)

| 拠点名    |                    | 変動海洋エコシステム高等研究機構            |                                              |                  |                           |       |
|--------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|------------------|---------------------------|-------|
| ホスト機関名 |                    | 国立大学法人東北大学・国立研究開発法人海洋研究開発機構 |                                              |                  |                           |       |
|        | 氏 名                | 年齢                          | 現在の所属、役職<br>(機関、部局、専攻等)                      | 専 門              | エフォート <sup>†</sup><br>(%) | 備 考   |
| 1      | 須賀 利雄              | 60                          | 東北大学、理学研究科、地球物理学専攻、教授                        | 海洋物理学            | 90                        | 拠点長   |
| 2      | 稲垣 史生              | 51                          | 東北大学、理学研究科、地球生物学専攻、教授                        | 地球微生物学、地球生命工学    | 80                        | 副拠点長  |
| 3      | Benjamin Horton    | 52                          | 南洋工科大学、シンガポール地球観測所、所長                        | 海洋学              | 10                        |       |
| 4      | Sabine Kasten      | 59                          | アルフレッド・ウェグナー極地海洋研究所、海洋地球化学部門、部門長             | 堆積物地球化学、生物地球化学   | 15                        |       |
| 5      | 河宮 未知生             | 53                          | 海洋研究開発機構、環境変動予測研究センター、センター長                  | 気象科学、地球システムモデリング | 80                        |       |
| 6      | 近藤 倫生              | 49                          | 東北大学、生命科学研究科、生態発生適応科学専攻、教授                   | 理論生態学            | 80                        |       |
| 7      | 大林 武               | 47                          | 東北大学、情報科学研究科、システム情報科学専攻、教授                   | システムゲノム科学        | 80                        |       |
| 8      | 太田 雄策              | 44                          | 東北大学、理学研究科、地震・噴火予知研究観測センター、准教授               | 固体地球科学           | 80                        |       |
| 9      | 沖 理子               | 58                          | 宇宙航空研究開発機構、第一宇宙技術部門地球観測研究センター、研究領域リーダー／上席研究員 | 大気水圏科学           | 30                        |       |
| 10     | 小野 周平              | 51                          | マサチューセッツ工科大学、地球・大気・惑星科学専攻、教授                 | 同位体地球化学          | 25                        |       |
| 11     | Niklas Schneider   | 60                          | ハワイ大学、国際太平洋研究センター、センター長・教授                   | 海洋学              | 40                        | サテライト |
| 12     | Angelique White    | 48                          | ハワイ大学、海洋学専攻、教授                               | 生物・化学海洋学         | 30                        | サテライト |
| 13     | Shang-Ping Xie     | 59                          | カリフォルニア大学サンディエゴ校、スクリップス海洋研究所、教授              | 気候学、海洋物理学        | 30                        |       |
| 14     | Cheryl Lynn Ames   | 52                          | 東北大学、農学研究科、グローバル農学教育ユニット、教授                  | 分子生物学            | 80                        |       |
| 15     | 瀬織 慎也              | 46                          | 海洋研究開発機構、海洋観測研究センター、センター長代理・主任研究員            | 大気水圏科学           | 80                        |       |
| 16     | Sherwood Lan Smith | 52                          | 海洋研究開発機構、地球環境部門、主任研究員                        | 海洋生態学            | 80                        |       |
| 17     | 安中 さやか             | 46                          | 東北大学、理学研究科、大気海洋変動観測研究センター、教授                 | 海洋環境科学           | 80                        |       |

<sup>†</sup> 研究者の年間の全仕事時間（研究活動の時間のみならず教育・医療活動や兼業部分等、全ての業務等を含む）を100%としたとき、本WPI拠点の研究活動等を実施する時間の配分率