

JAMSTECにおける海洋生物研究の取組について

海洋研究開発機構 JAMSTEC
海洋生物多様性研究分野 分野長

藤倉 克則

海洋立国日本の新たな姿（15年後の姿）

- ▶ 海中から深海底、地殻に生存する生物を利用したユニークなバイオテクノロジーにより、新薬、新酵素等有用な物質を創り出し、これによる新たな産業が起こり、経済を推進する原動力の一つとなっている。

JAMSTEC
長期ビジョン

海洋・地球・生命の
統合的理解への挑戦

- ▶ 海底鉱物資源の成因や産状に関する科学的な理解が進み、大規模な鉱床が発見され、実用開発、商業生産が始まっている。あわせて、環境負荷低減技術、環境保全指針が確立され、我が国が世界にその規範を示し、海底鉱物資源開発で世界を主導する立場にある。
- ▶ 海洋再生可能エネルギー、非在来型炭化水素エネルギー（メタンハイドレート、海底シェールガスなど）の新たなエネルギー開発・利用に関する優れた技術を生み出し、日本周辺海域のみならず海外においても活発な活動を展開している。
- ▶ 気候変動における季節予測の信頼性が向上し、社会活動や生活の基盤情報として広く利用されている。さらに海洋の状況を近未来も含めて把握・提供するシステムが構築され、水産資源の育成や管理、海運の安全、海洋レジャーなどに広く活用されている。

海洋立国日本の新たな姿（15年後の姿）

- 自然災害、特に地震・津波を監視する観測網が国内外に構築され、それにより減災に向けた情報をリアルタイムに流通させるシステムが実用化されている。また、自然災害に関する教育が進み、国民の防災・減災意識が向上し、社会の安全・安心を確保するための備えが整備された災害に強い社会が実現されている。
- 海洋・地球・生命の科学的理解が一段と向上し、各種の数値モデルが社会の各所で利用されるようになる。その知見が、さらなる科学の推進、技術開発、産業利用、次世代の育成のための教育啓発、すなわちイノベーションへ貢献している。
- 海洋に対する国民のリテラシーが向上し、海中・深海観光や海洋情報利用などの多様な海洋関連産業や海洋環境保全活動などが展開されており、海洋から国民の福祉向上と、健康的な生活に資する生態系サービスが提供されている。

海洋に基礎をおいた豊かな国家モデルが提示され、その恩恵を国民が享受し、我が国が世界における海洋立国の規範となっている

JAMSTECの取り組むべき次の15年の研究課題

- 地球環境変動の統合的理解とその予測
- 地球内部ダイナミクスの統一像の構築と地震・津波の防災研究
- 生命の進化と海洋地球生命史
- 資源研究・海洋地球生命工学の新たな展開

中期目標（FY26–FY30）

（1）海底資源研究開発

海底資源の形成過程に係る多様な要素を把握し、形成モデルを構築するとともに、成因を解明する。海底を広域調査する研究船、有人潜水調査船、無人探査機等のプラットフォーム及び最先端センサ技術を用いた効率的な調査手法を確立する。

海底資源の利活用に必要な基礎データ等を収集することで、科学調査を加速する。持続的な海底資源の利活用を推進する上で不可欠な環境影響評価については、新たな環境影響評価法の確立に向けた調査研究を行う。

他の研究開発機関や大学、民間企業等との連携を強化するとともに、開発した技術が速やかに実海域調査に活用されるよう、民間企業への技術移転を進める。



金属鉱床となる深海熱水噴出孔

中期目標（FY26–FY30）

（2）海洋・地球環境変動研究開発

海洋が大きな役割を果たす地球環境変動を総合的に観測するとともに、予測モデルやシミュレーション技術を駆使し、環境変動が我が国に及ぼす影響を把握するため研究開発を行い、地球環境問題の解決に海洋分野から貢献する。

北極海域等、我が国の気候への影響が大きいと考えられる海域における観測及び調査研究を強化する。気候変動、物質循環、海洋生態系の変化・変動に関する新たな観測データを収集・蓄積・分析し、地球環境の変動について包括的に理解するとともに、我が国の気象等への影響を評価する。

IPCC、IPBES、IOC、GEOなど国際的なプログラムをリードし、機構及び我が国の国際的プレゼンスの向上を図る。



中期目標 (FY26–FY30)

(3) 海域地震発生帯研究開発

海域におけるリアルタイム地震・津波観測網を整備するとともに、研究船や海底地震計等を用いた高度な観測技術等を最大限に活用し、南海トラフや日本海溝等を中心とした地震発生帯の精緻な調査観測研究を実施する。

「地球シミュレータ」等を用いた計算技術等により、海溝型地震の物理モデルを構築し、プレートの沈み込み帯活動の実態を定量化するとともに、より高精度な地震発生モデルやプレート境界モデルを確立する。

地震・津波に起因する災害ポテンシャル等の評価や、我が国の防災・減災対策の強化に資する情報を提供するとともに、**地震・津波が生態系に及ぼす影響とその回復過程を把握する。**



中期目標 (FY26–FY30)

(4) 海洋生命理工学研究開発

深海へアクセスできる最先端の研究開発基盤を有する研究機関として、**深海**等における未踏の極限環境生命圏を含む海洋を調査する。

海洋生態系の機能、地球環境との相互作用、物理・化学プロセスと生物の関連を明らかにするとともに、海洋生物多様性を生み出すメカニズムの解明に資する研究成果を創出する。

ライフサイエンス分野や工学研究との融合や産学官連携を強化することにより、**将来の産業化**に向けた取組を行い、海洋生物特有の機能等を最大限に活用した**イノベーション**を創出する。

生物学的特性や多様性に関する情報の提供等を通じ、IOC及びIPBES等の国際的な取組への貢献も果たす。



中期目標 (FY26–FY30)

(5) 先端的基盤技術の開発及びその活用

未踏のフロンティアへの挑戦、新たな分野の開拓を可能にする先端的基盤技術を開発するとともに、それらを最大限に活用することで研究開発課題に積極的かつ組織横断的に取り組む。

シミュレーション科学技術は、理論、実験と並び国際競争力をより強化するために必要不可欠な先端的基盤技術である。

海洋地球科学の推進のために必要な先端的な融合情報科学に関する研究開発や新たなモデリング手法・シミュレーション技術等に関する数理的研究開発を行う。さらに、有人潜水調査船、無人探査機等の深海調査システムを高度化し、観測や調査等をより効率的・効果的に推進するため、各システムの運用技術を確認する。



中期計画

(1) 海底資源研究開発

④ 環境影響評価手法の構築

(2) 海洋・地球環境変動研究開発

③ 観測研究に基づく地球環境変動予測の高度化と応用

(3) 海域地震発生帯研究開発

③ 地震・津波による生態系被害と復興に関する研究

(4) 海洋生命理工学研究開発

① 海洋生態系機能の解析研究

② 極限環境生命圏機能の探査、機能解明及びその利活用

中期計画

(5) 先端的基盤技術の開発及びその活用

① 先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進

(ハ) 海底下の生命活動と水・炭素・エネルギー循環との関連性の解明

② 先端的融合情報科学の研究開発

③ 海洋フロンティアを切り拓く研究基盤の構築

(イ) 先進的な海洋基盤技術の研究開発

研究開発基盤の運用・供用

海洋科学技術関連情報の提供・利用促進

(1) データ及びサンプルの提供・利用促進

世界の頭脳循環の拠点としての国際連携と人材育成の推進

(1) 国際連携、プロジェクトの推進

生物研究のテーマ

社会問題

地球環境問題

- 生物多様性の減退
- 生態系の破壊
- 地球温暖化
- 海洋酸性化
- 国際活動との協同

機能の応用

大規模災害への対応

生物多様性の現状

- 生態系
- 種・系統
- 機能

地球生命史

進化

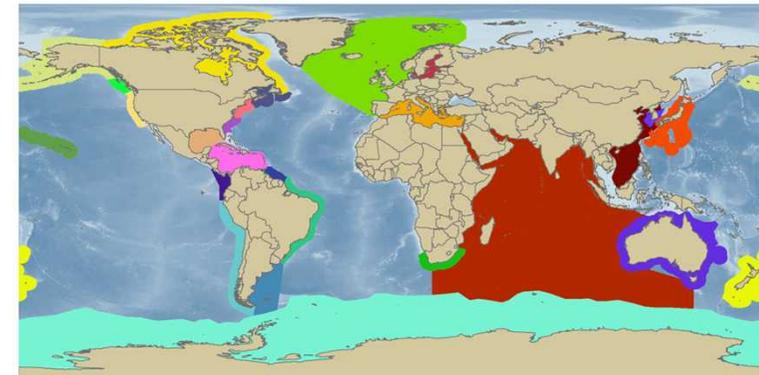
機能解析

基礎研究

日本近海は世界で最も種多様性が高い

海域	生物種数	EEZ面積 (km ²)
日本	33,629	3,970,743
オーストラリア	32,897	6,820,501
中国	22,365 (真核のみ)	831,966
南アフリカ	12,915 (真核のみ)	846,463
ニュージーランド	17,135	4,072,895

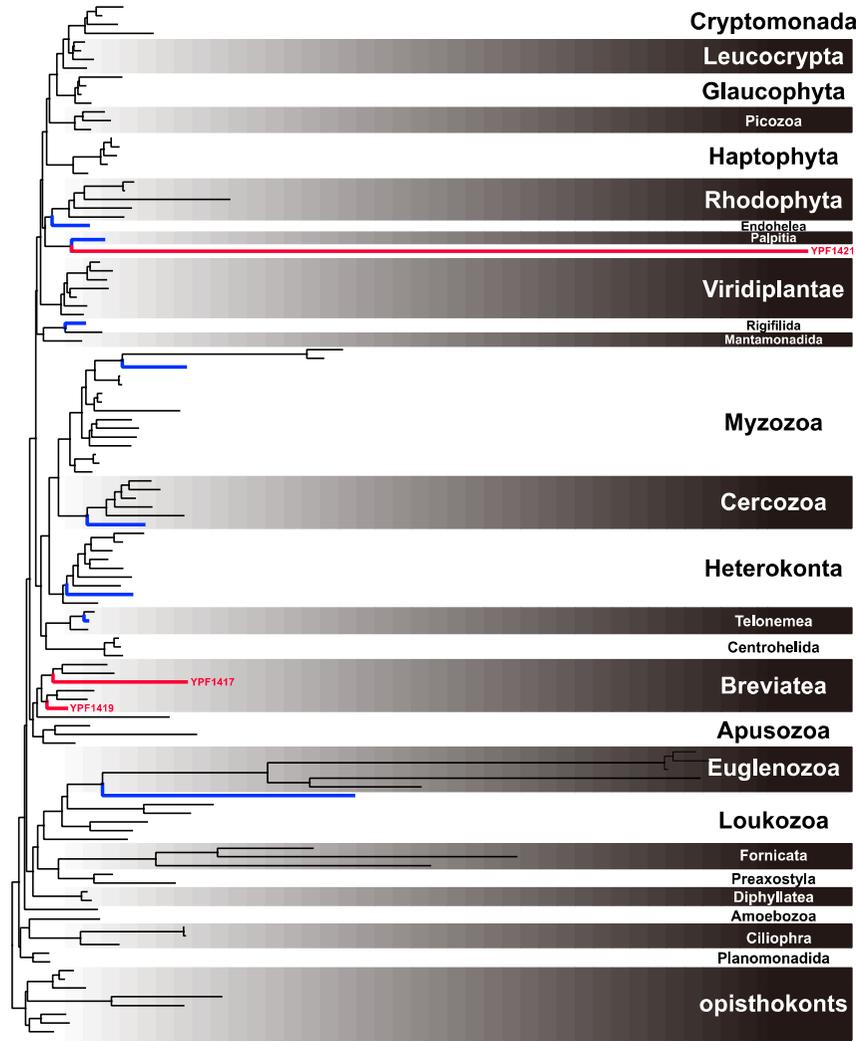
- 総種数は25海域中No. 1
- 真核生物の種数はNo. 2
- 日本近海には未記録種約12万



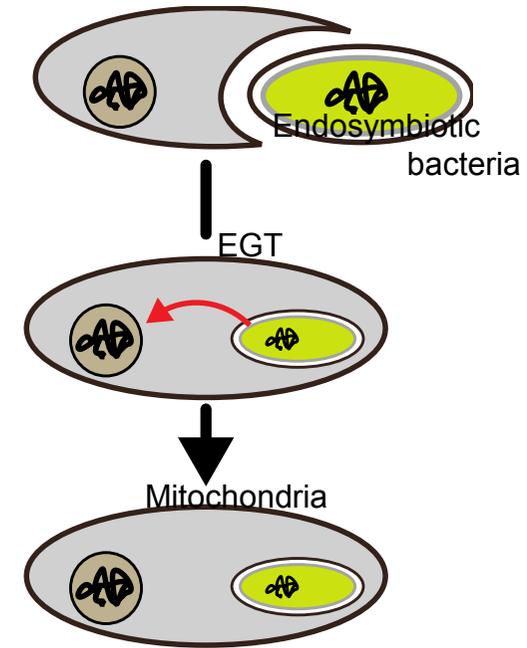
Antarctica, Australia, Canada Arctic, Canada Eastern, Caribbean, China, India, Japan, Mediterranean, New Zealand, Atlantic Europe, South Africa, Brazil Shelves, Humboldt Current, Patagonian Shelf, SA Trop West Atlantic, Trop East Pacific, South Korea, Alaska, USA California, Gulf of Mexico, USA Southeast, USA Northeast

NRIC Regions and Sub-Regions

深海を含め多数の新規分類群・系統群の発見



真核生物全体の系統樹。赤・青の系統を発見 (Yabuki et al.)

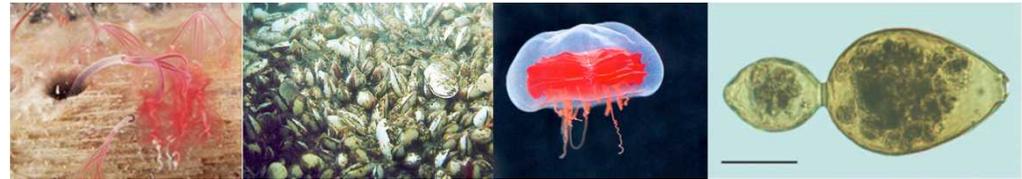
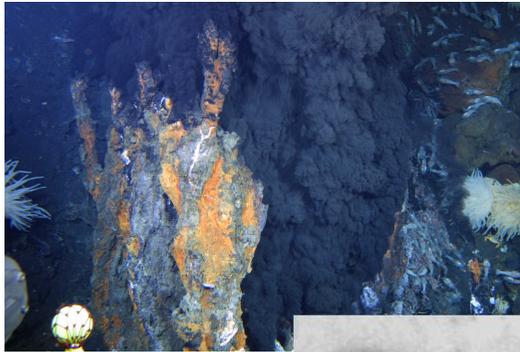


共生説のサポート。真核生物の嫌気環境適応およびミトコンドリア退化プロセスに対する新たな知見。ミトコンドリア→*Cantina marsupialis*のMitochondrion-related organelles→ハイドロジェノソーム

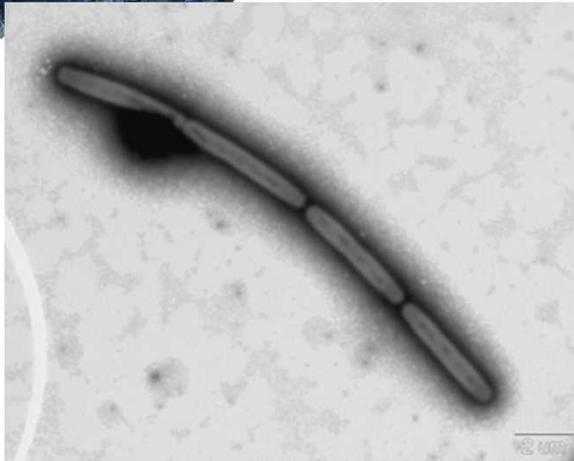
(Noguchi et al. submitted)

基礎研究 生物多様性の現状 (種・系統・進化・機能解析)

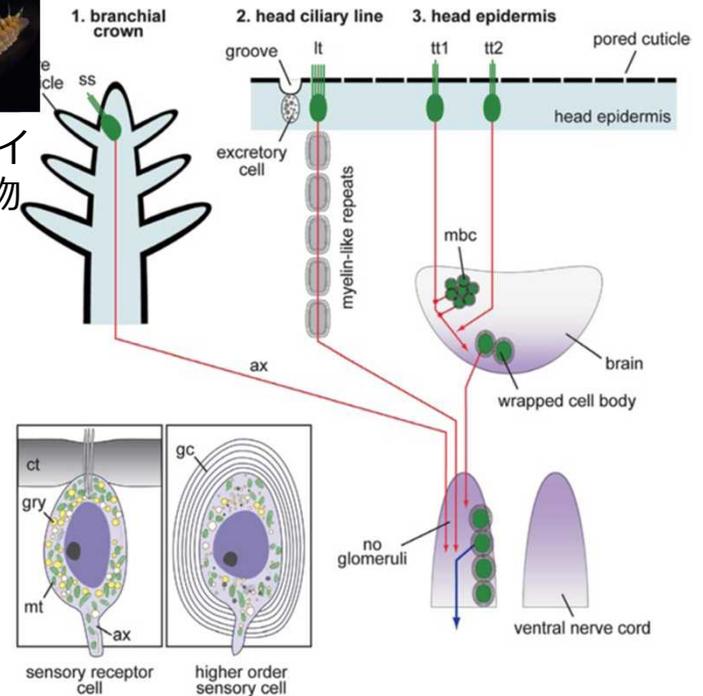
深海を含め多数の新規分類群・系統群の発見



深海域から多数の新種



イトエラゴカイ
50℃を好む動物



122℃で増殖し、重い炭素に富んだメタンを生成する超好熱メタン菌 (Takai et al. 2008)

熱水極限環境への適応機構：高温耐性を持つ動物 (Shigeno et al. 2014)

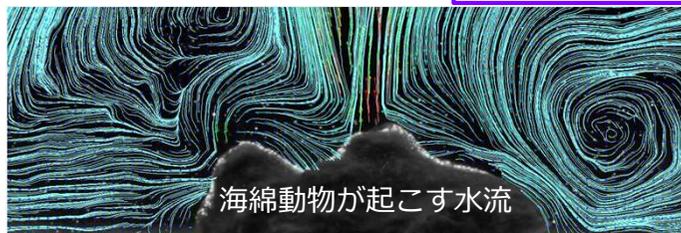
深海・海洋生物の有用な酵素、生理活性物質等の機能及び生産技術研究

- 深海・地殻サンプルから抗MRSA活性物質生産菌を発見
- 天然リグニンからの選択的フェノール性モノマーの回収技術の開発着手
- 深海微生物由来の耐熱性アガラーゼの立体構造を解析し、耐熱機構を解明

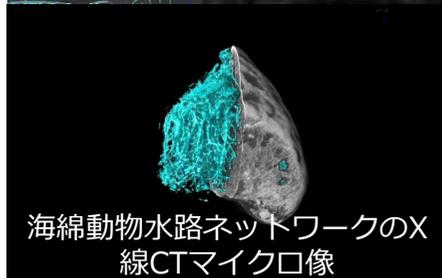


耐熱性βアガラーゼ：研究用の試薬として製品化

海洋・深海生物の構造や機能の工学利用



海綿動物が起こす水流



海綿動物水路ネットワークのX線CTマイクロ像

海綿から学ぶ効率的な物質輸送経路



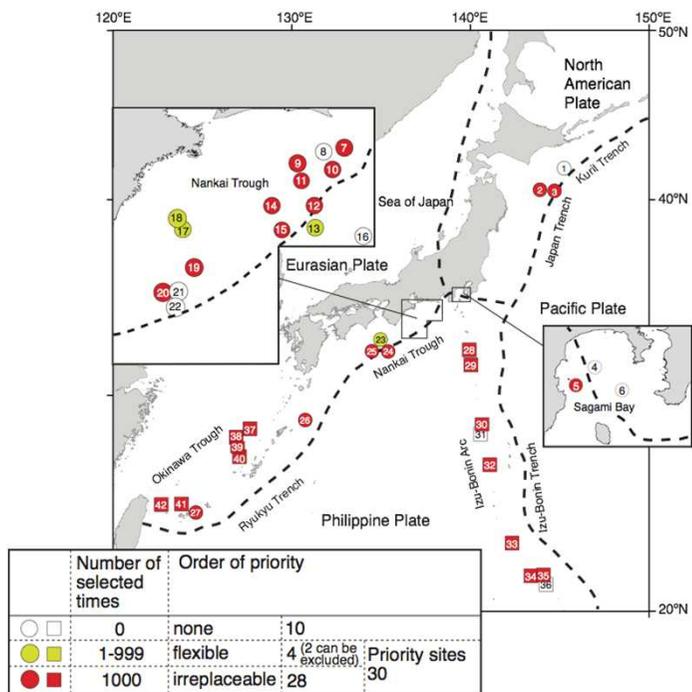
ホネクイハナムシのモデル生物化
・深海性共生系動物として世界で初めて継代飼育

- ゲノム解析、遺伝子操作系の確立
- 骨組織の分解に関わる酵素群の機能解析
(Miyamoto et al. 2013)

生物多様性の減退

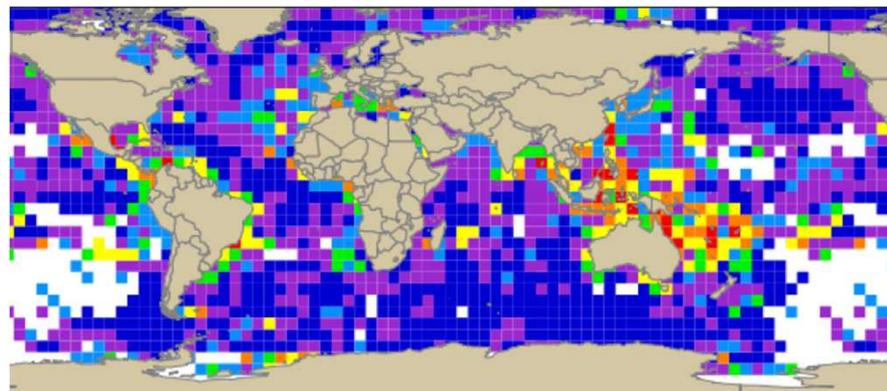
海洋保護区：生物多様性条約CBD_COP10

沿岸域および海域の少なくとも10%を、効果的な保護区制度などにより保全する



深海化学合成生態系全42サイトのうち30サイトを保全すれば全155種を保全可能 (Nakajima et al. 2014)

世界規模の海洋生物多様性評価

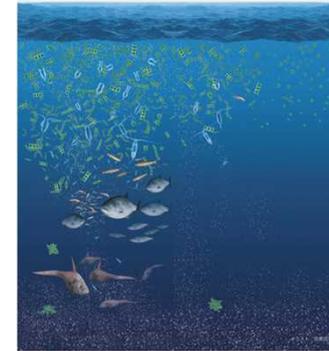


ユネスコ：国際的海洋生物データベースOBISへの参画

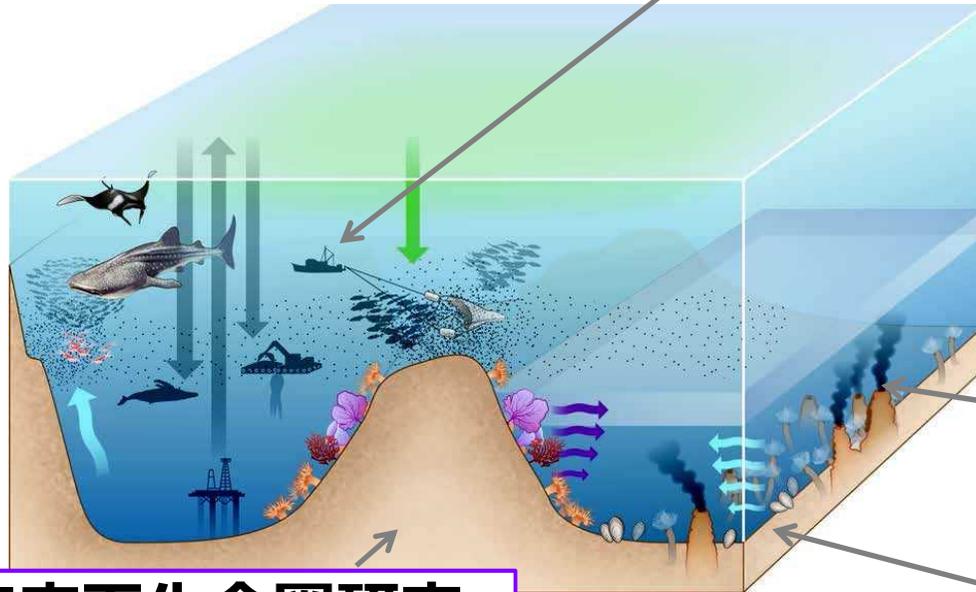
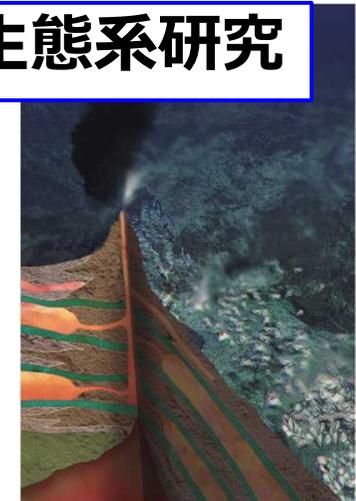
- OBIS は国連ユネスコ傘下のプロジェクト
- JAMSTECが日本ノード

生物多様性の現状（生態系）

表層一中・深層生態系研究



深海化学合成生態系研究



海底下生命圏研究



水一堆积物境界研究

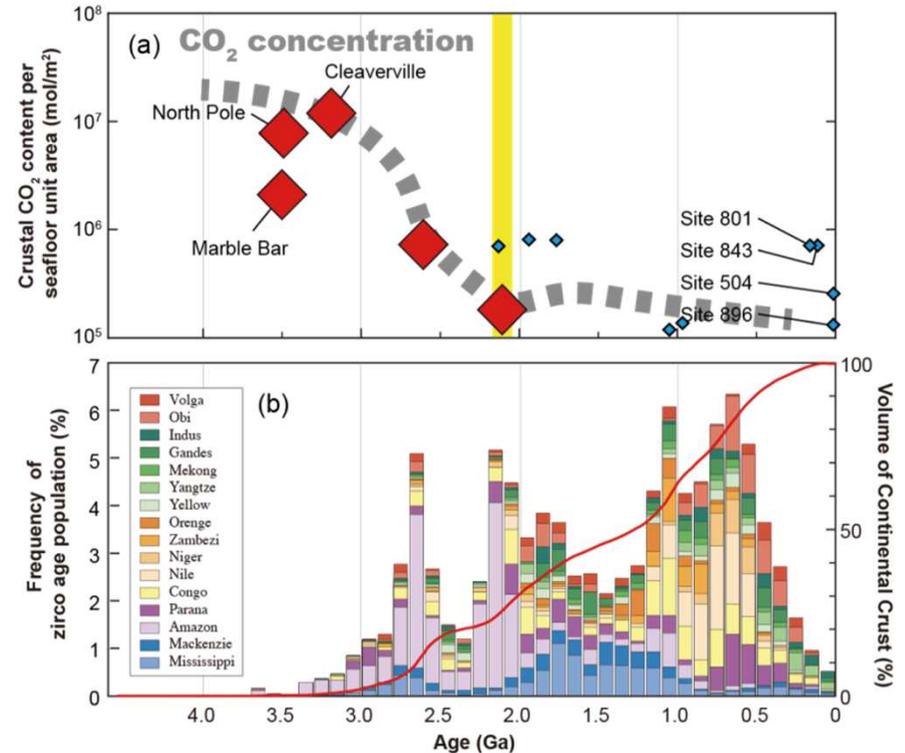


全球凍結の要因

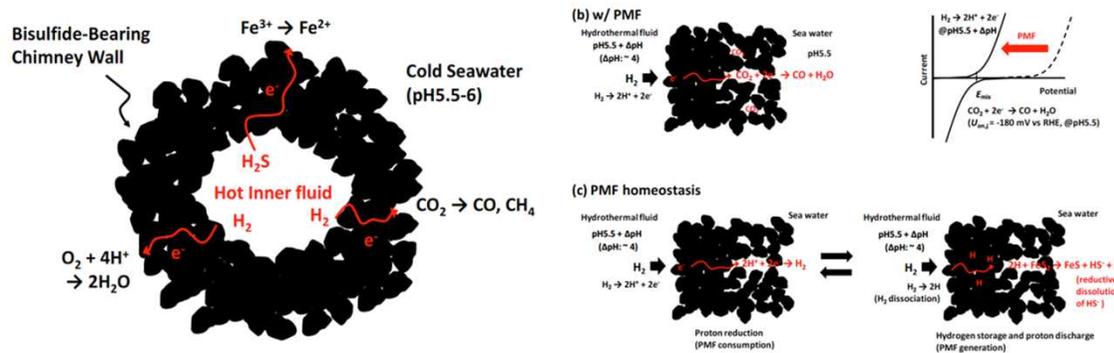
- 海洋生態系の誕生から初期進化をへて細胞生理の大進化が起きた先カンブリア紀に、全球凍結が急激なCO₂の減少で誘因

化学進化プロセス

- 化学進化プロセス・初期微生物代謝進化において熱水硫化物沈殿を介した電気化学触媒反応が有機物生成に重要な役割を果たす仮説を提唱



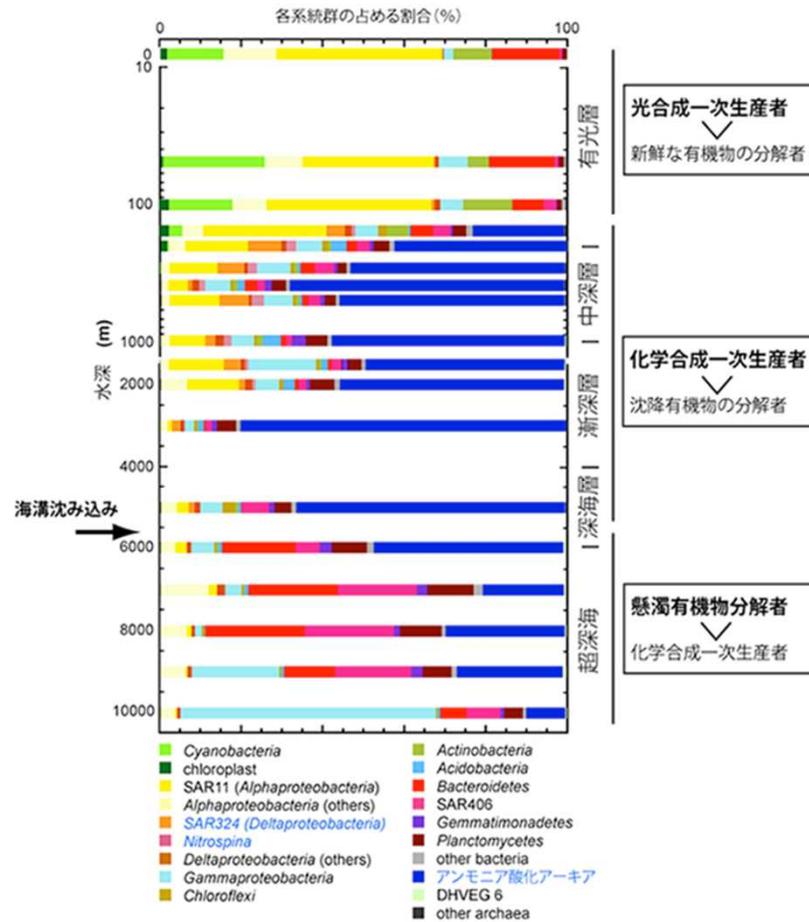
原始海水の組成進化とCO₂濃度変化
(Nakamura et al. 2001, Shibuya et al., 2012)



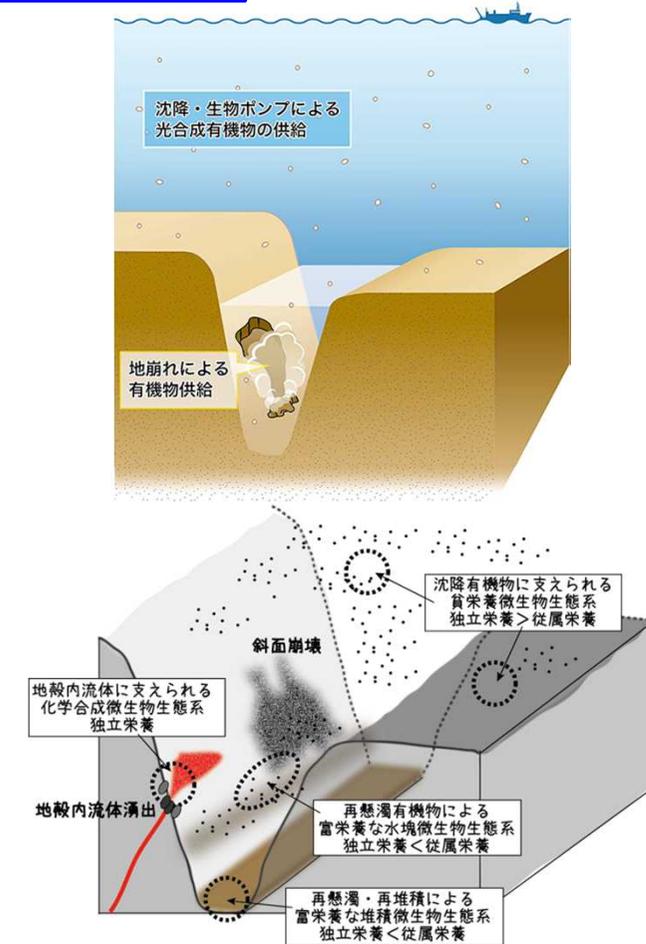
深海熱水チムニーでの非生物学的電気化学反応による有機物生成の理論モデル
(Yamaguchi et al., 2014)

生物多様性の現状（生態系）

超深海・海溝生命圏が存在



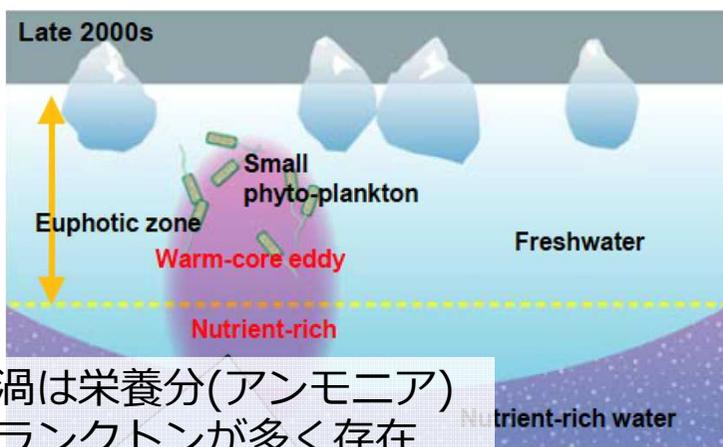
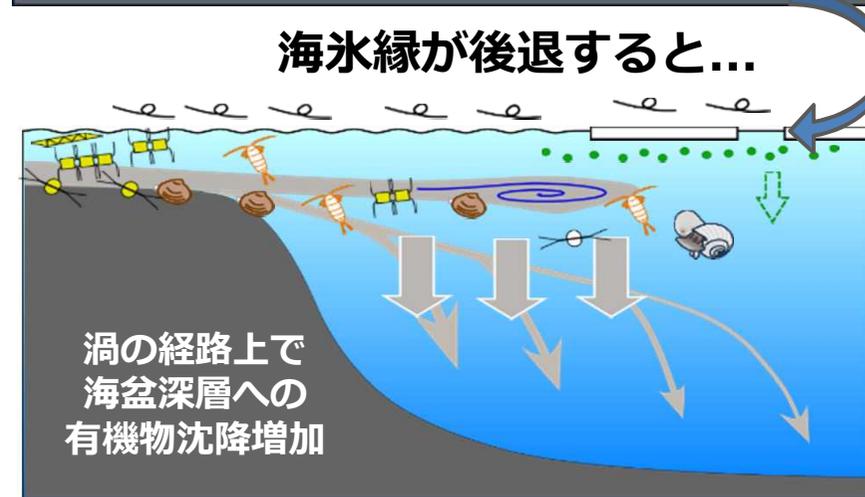
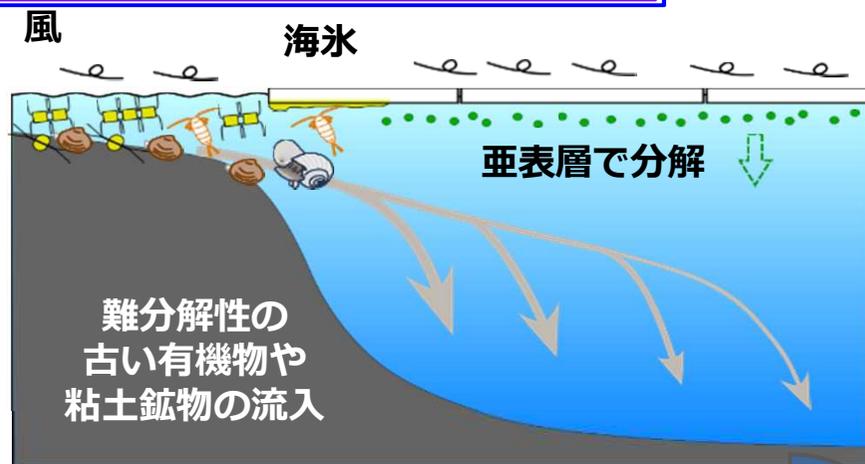
超深海の微生物群集構造は深海層の微生物群集とは異なり従属栄養系統群が優占。超深海環境特有の有機物源に依存する微生物生態系が超深海で発達。



海溝斜面に堆積した有機物が、地震等による海溝斜面の崩壊に伴って放出される現象に支えられる

北極海の渦が育む海洋生態系 ～海水減少に伴ってプランクトンの生息環境が変動～

- 沈降粒子観測と数値モデル：海水減少に伴う海洋渦の活発化が大陸棚から深層へ栄養塩豊富な水を運び、プランクトンの生息環境を変動させる
- 北極域の気候変動が海洋生態系へ与える影響評価につながり、温暖化研究において北極海の役割が見直される可能性



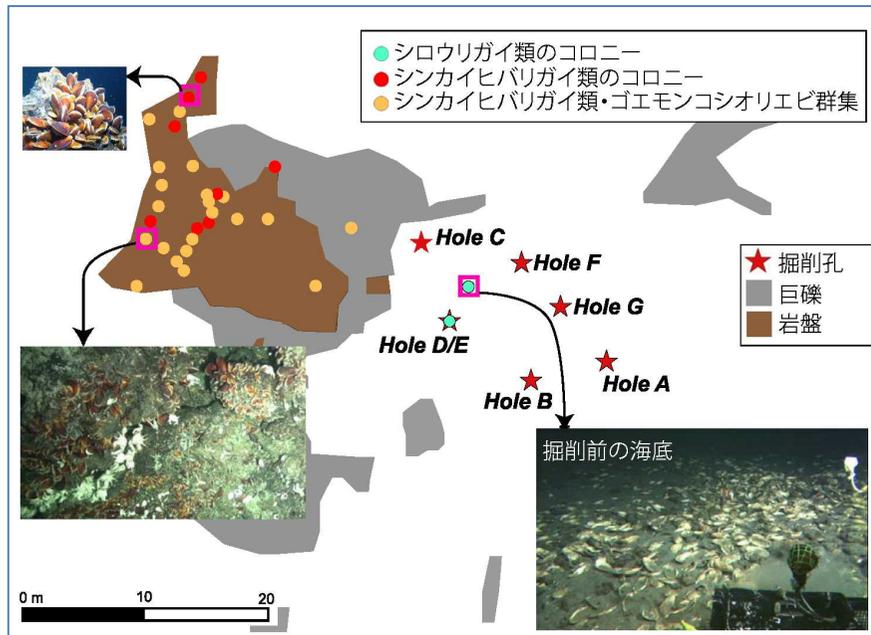
巨大暖水渦は栄養分(アンモニア)に富みプランクトンが多く存在

海水減少に伴う渦の活発化がプランクトンの生息環境を変化させる

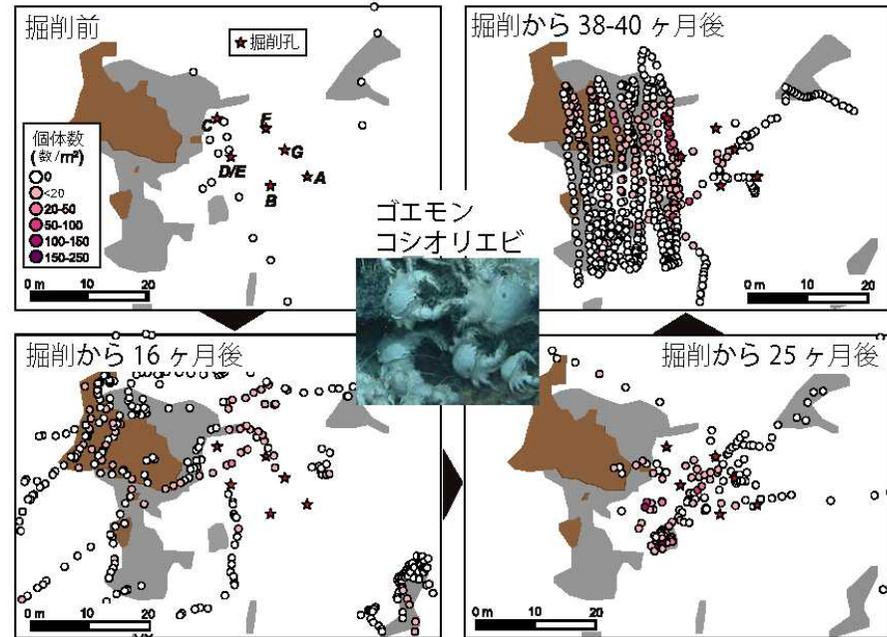
深海底鉱物・エネルギー資源開発にともなう環境影響評価手法の構築

「ちきゅう」による掘削孔をテストケース（沖縄トラフ）

- ・ 不活発な熱水域を掘削
- ・ 掘削後に熱水生態系遷移と海底環境の変化との関係を定量的にモニタリング



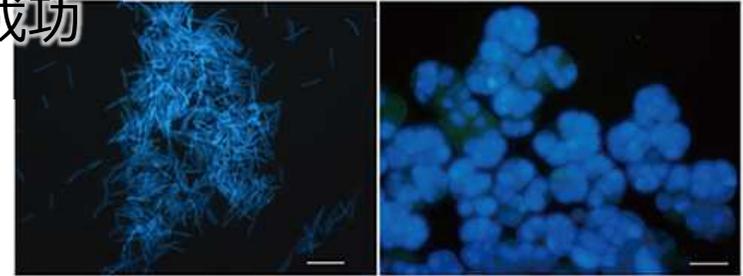
掘削前は堆積物に覆われ熱水噴出は見られず、二枚貝（多くは死貝）が優占



掘削から16ヶ月後には、ゴエモンコシオリエビが最大で43 inds/m²、25ヶ月後には最大で110 inds/m²

海底下生命圏

- ・ 海底下2kmの石炭層からメタンハイドレートや天然ガスの形成を担うメタン菌を含む嫌気微生物群集の集積培養に成功
- ・ 海底下2kmの海底石炭層付近に生息する現場の微生物活動によりメタンが生成されていることを確認

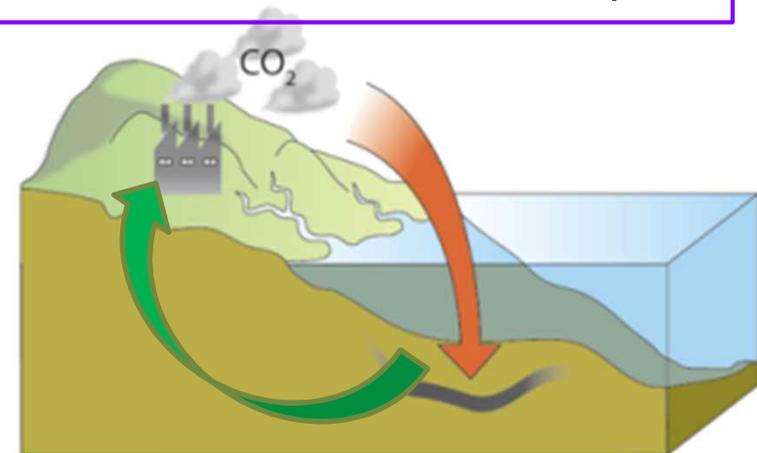


Imachi et al. (2011)

地球環境問題（地球温暖化）

地下にCO₂を貯留→微生物によりCH₄生成→エネルギー源へ: CCS/U

- ・ 持続的なCO₂転換・エネルギー生産に係る「バイオCCS/U基幹システム」をデザイン構築及びその小規模実証試験に向けた要素技術や基盤研究の研究開発に着手



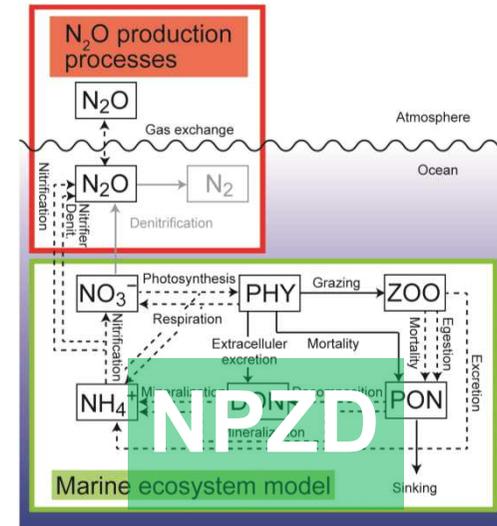
閉鎖的な炭素・エネルギー循環系を目指す

地球環境問題（生態系の破壊）

観測とモデルを用いた海洋生態系変動予測

西部北太平洋における窒素循環メカニズム

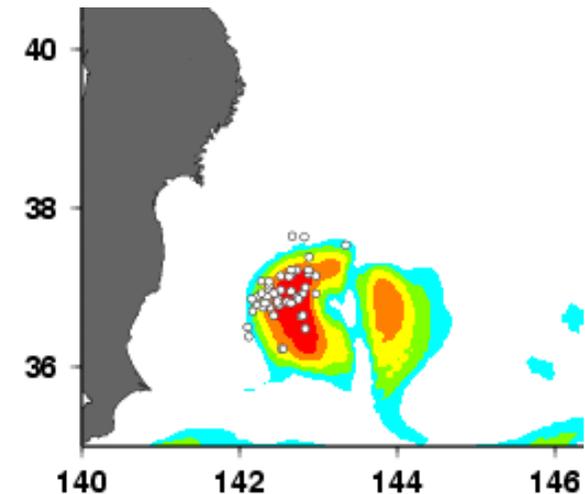
- 温暖化ガス N_2O の海洋収支と生成プロセスを北太平洋の観測と窒素循環-同位体モデルで再現
- 海洋生態系の変化を予測する際に必要なプロセスを提示→全球展開しIPCC報告書に期待



海洋N₂O同位体分子種モデル

高分解能データ同化を利用したアカイカ漁場予測配信システムの構築

- シミュレーション研究に付加価値を加え、情報発信まで行う海洋情報サービスとしてパッケージ化
- 青森県の事業としてひきつがれる



海洋環境情報と漁獲量情報を組み合わせたアカイカ好適漁場の推定

東北マリンサイエンス拠点形成事業 TEAMS

地震によって三陸沖の環境がどのように変動するのか

- 詳しい地形図、ガレキの分布、水質計測

水産生物の分布や量がどのように変動するのか

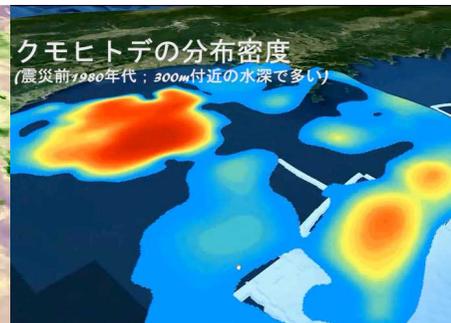
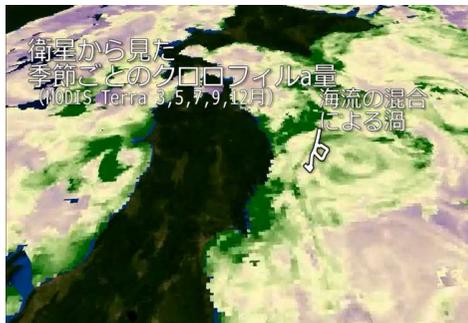
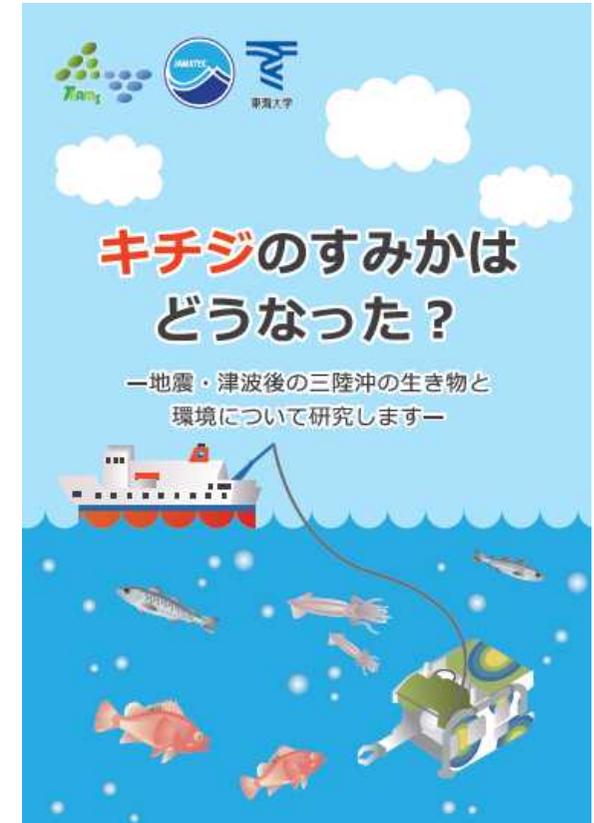
- 生物の現場観察、行動追跡

化学物質が蓄積されているか

- 食物連鎖と生物含有物の測定

水産生物を持続的に利用するにはどうすればよいか

- 生物環境マップとデータベース



今後の方向性

- 海洋生物の多様性保全は世界的／政治的にも一つの重要な課題（サミットでも取り上げられた, CBD, UNFCCC）
- 多様性の保全だけでなく生態系サービスの持続的な利用も重要な視点（IPBES/Future Earth）
- 保全（人間の活動を制限）から、管理（悪い人間活動を制限し、よい人間活動を推進する）へ
- 従来の研究は、保全と管理が中心で人間が自然に働きかけることは想定していない
- 地球環境の変化が止められない現状を認めざるを得ない
- 適応策を考えることが今後は必要
- 海洋環境に人類が手を加えることも視野に

海洋環境に人類が手を加える生態系管理へ

エコシステムエンジニアリング

- 海洋生態系の構造と機能を理解し、精緻なシミュレーションができることが前提
- ジオエンジニアリングは環境の制御を目指す（瀬戸内海の栄養塩制限）
- エコシステムエンジニアリングでは物理・化学だけでなく、生息する生物も制御することを目指す（生態系もうまく制御したい）
- 微生物相によって生態系の構造と機能生態系サービスは大きく異なる。微生物相を制御できると、生態系サービスを最大限に使える

海洋環境に人類が手を加える生態系管理へ

エコシステムエンジニアリング

- あるモデル海域（例えば三陸の湾）を決めて、**アクションを起こした場合の結果をシミュレーション**
- 成功例を示すこと
- 応用：**漁獲対象種の増殖**、風力発電の複合機能、熱水鉱床の環境影響の最小化



海洋生態系との良好な関係を持続的に保つ