

表層型メタンハイドレートの研究開発 2019年度 一般成果報告会

「環境影響評価」

国立研究開発法人産業技術総合研究所
環境管理研究部門 海洋環境動態評価研究グループ
鈴木 昌弘

表層型メタンハイドレートの開発に向けた工程表

海洋基本計画（平成30年5月15日閣議決定）

- 平成30年代後半に民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指し、将来の商業生産を可能とするための技術開発を進める。

2018～2022年度頃

2023～2027年度頃

生産技術
の開発

回収技術に
関する調査研究

回収の原理や回収
時に想定される事
象等に関する調
査・検討（提案公
募型）

調査研究の評価

有望技術の特定に向けた検討

回収・生産技術の研究開発

要素技術に係る
陸上での実験等

要素技術の評価

要素技術に係る
海洋での検証

海洋産出試験に向けた
生産システムの検討

賦存状況等を把握するための海洋調査

海底の状況等を把握するための海洋調査

海洋産出試験の実施場所に関する検討

環境影響評価手法の研究

海域環境調査

継続的な確認とアップデート

経済性の確保や環境保全など、商業化に必要な条件の検討

方向性の確認・見直し

方向性の確認・見直しの結果を踏まえた
海洋産出試験等

方向性の確認・見直し

民間企業が主導する商業化に向けたプロジェクトの開始

海洋産出試験
の実施場所の
特定に向けた
海洋調査

環境影響評価

長期的取組

環境影響評価①

【目標】

- 表層型メタンハイドレート海洋産出試験等が海洋環境に及ぼす潜在的な影響の度合いやその時空間スケールを事前に予測する環境影響評価技術の構築に向け、メタンハイドレート賦存海域の物理・化学及び生物学的特性に関する知見とデータを蓄積する。
- 表層型メタンハイドレート海洋産出試験等について、事前の環境ベースラインデータの取得や試験期間中・終了後の環境モニタリング手法の構築に向けた検討を行う。

【実施内容】

1. 環境影響評価手法の検討

① 技術・社会動向調査

砂層型メタンハイドレート開発等、先行する大規模な海洋開発事業における環境影響評価の技術動向及び法的・社会的動向の調査を実施する。

② 表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明

表層型メタンハイドレートが賦存する海域の物質循環と生態系を特徴づけるプロセス・パラメータ等の抽出と解明進め、適切かつ効率的な環境調査手法の構築に資する。

2. 海域環境調査

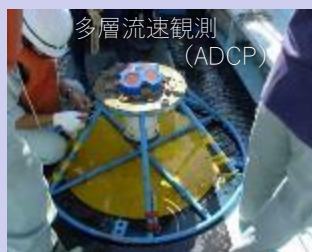
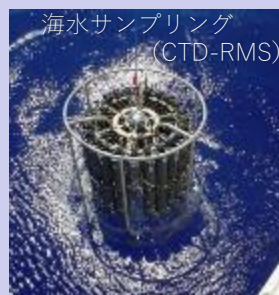
① 表層メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査

表層型メタンハイドレートの賦存する複数の海域において、海洋環境データの取得（センサー計測）のほか、海水、堆積物、生物など種々の試料を採取する海域環境調査を実施する。

② 環境ベースライン観測及び環境モニタリング手法の高度化・最適化

海洋産出試験海域における環境ベースラインデータ調査と環境モニタリングについて、漁業活動にも十分に配慮しながら、賦存海域の特性に応じた調査手法の高度化・最適化を図る。

【海域環境調査】



実験・解析用の試料・パラメータの取得
実験データに基づく観測手法の高度化

疑似現場試験

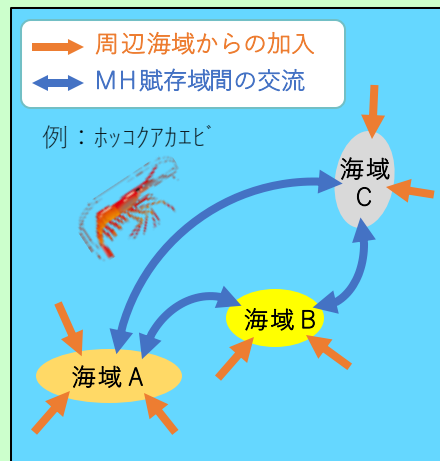


【環境影響評価手法の検討】

○表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明

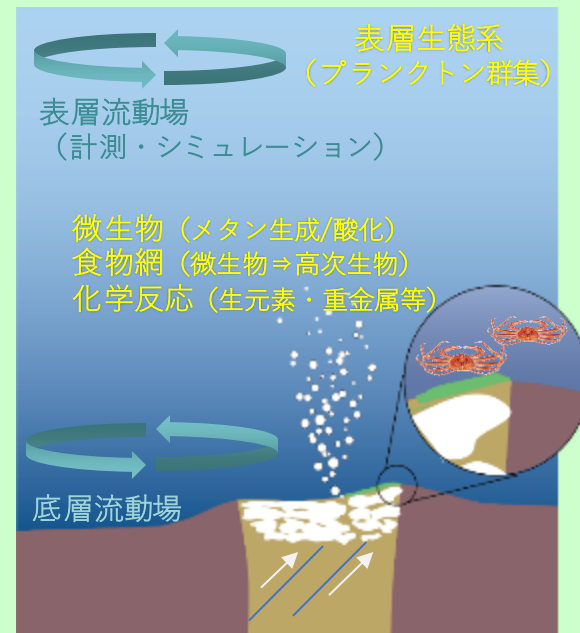
生物学的特性の把握

- 特異性/多様性/コネクティビティ等



物質循環（物理/化学/生態学）特性の把握

- 海底の攪乱状況、高濁度水/生産水の挙動予測
- 重要な物質循環プロセス・パラメータの抽出



○表層メタンハイドレート賦存海域における環境パラメータ調査

○環境ベースライン観測及び環境モニタリング手法の高度化・最適化

環境影響評価（環境アセスメント）

大規模な開発事業などを実施する際に、その事業の実施に伴って生ずる環境への影響について事前に調査・予測・評価するとともに環境保全の措置に検討を行うこと。

表層型メタンハイドレート開発事業における「環境影響評価」

1. 表層型MH賦存海域の特性解明

環境特性の解明：「影響の評価」に必要なパラメータの抽出

⇒ **物理**（水塊構造・流動場）、**化学**（無機・有機・同位体）・**生物**（動植物プランクトン・原核生物・遺伝子・生化学）

2. 調査手法・解析手法の検討

既存のBAT（Best Available Techniques）適用あるいは新規に開発

3. 環境ベースライン調査

上記1と2を元に、適切なベースライン調査手法を構築・実施し、データを集積

4. 環境モニタリング（監視）

事業実施中：懸念された影響が生じていないか？

＝予測される自然変動を超えていないか？

事業終了後：長期的な影響評価と生態系等の回復をモニタリング

要点

- ・MH開発（海洋産出試験）に伴って海域で何が起きうるのか？
- ・開発に起因する影響を検出・監視する方法は？ その限界は？

海洋環境研究の変遷

公害問題（四大公害・有機汚濁・富栄養化）



工場廃水（北九州市HP）



東京湾赤潮（千葉県HP）

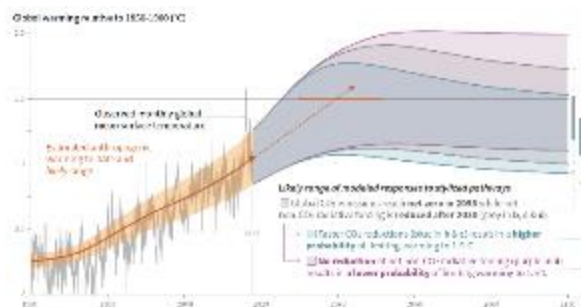


東京湾青潮（千葉県HP）

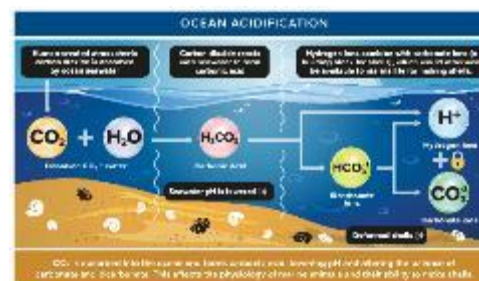


東京湾合成洗剤による泡
（東京都環境局HP）

地球環境問題（気候変動・酸性化・プラスチック）



地球温暖化（IPCC SRC 1.5）

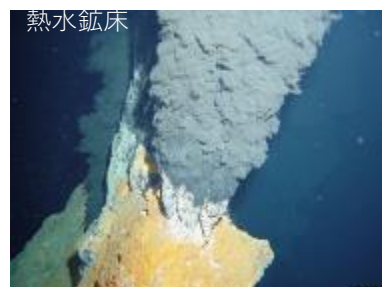


海洋酸性化（UC DAVIS Web site）



海洋プラスチック汚染（EU Web site）

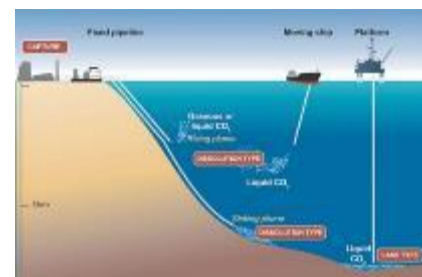
海洋の産業利用



熱水鉱床
海底鉱物・エネルギー資源開発



メタンハイドレート
(JAMSTEC Web site)



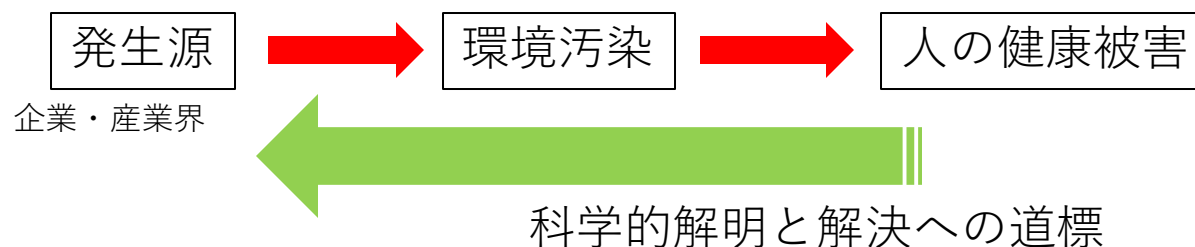
CO2海洋隔離（IPCC SR-CCS）



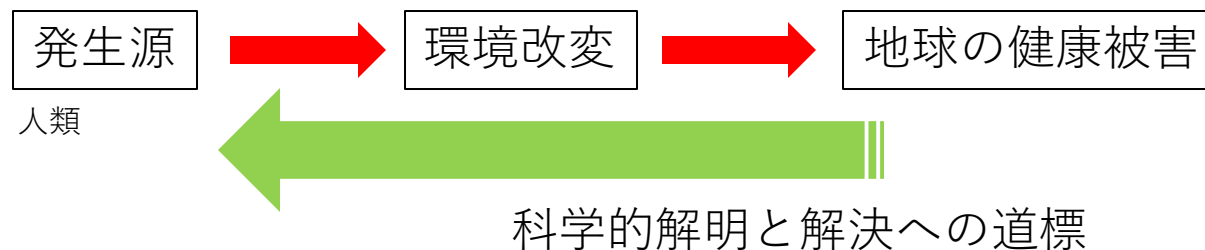
人為的Blue carbon創生技術
産業副産物による沿岸生態系創生

海洋環境研究の変遷

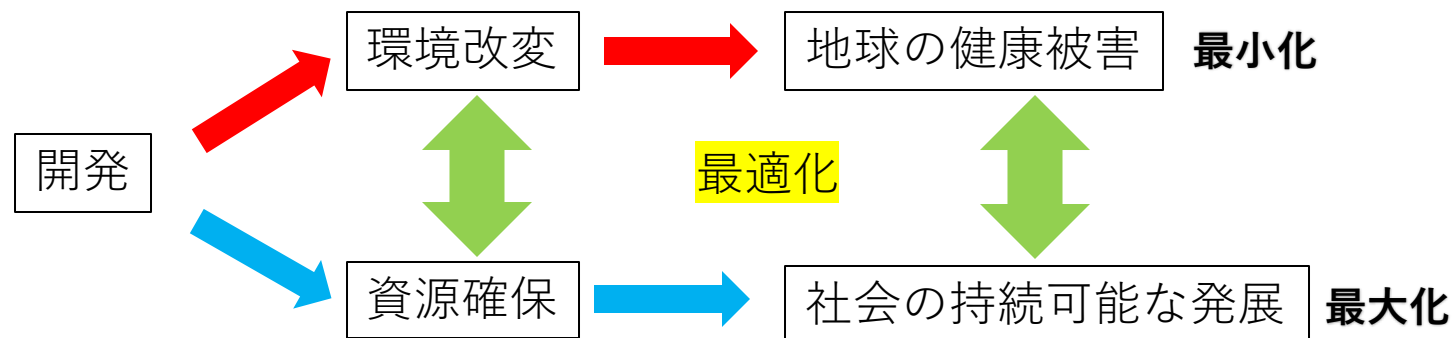
公害問題（四大公害・有機汚濁・富栄養化）



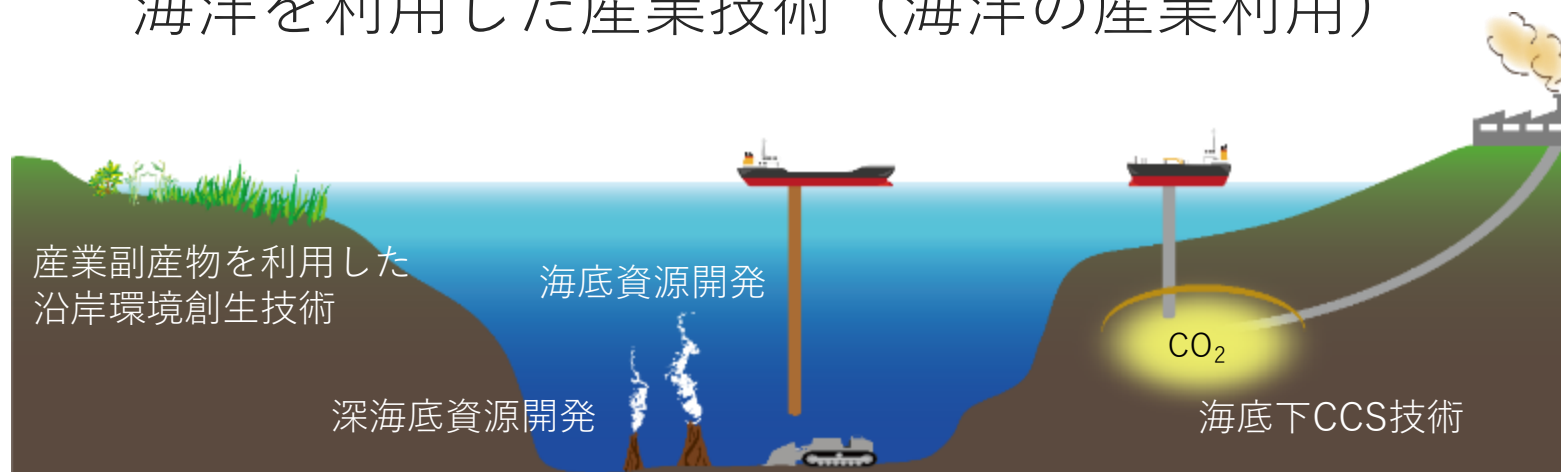
地球環境問題（気候変動・酸性化・プラスチック）



海洋の産業利用



海洋を利用した産業技術（海洋の産業利用）



海洋の産業利用

課題克服

事業化

海底資源
CCS
沿岸環境創生
再生可能エネルギー

技術・
コスト

環境
リスク

死の谷

死の谷

技術革新

克服

理解

社会的
受容性

社会的受容性の確保・適切な規制・監視

- 海洋環境への便益・リスクの整理
- 科学的知見に基づく情報提供
- 適切な規制・基準の設置
- 着実な監視体制の構築

SDGs（持続可能な開発目標）“2030年までに達成すべき17の目標”

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標



SDG 14 TARGETS:

14.1 By 2025, prevent and significantly reduce marine pollution of all kinds

14.2 By 2020, sustainably manage and protect marine and coastal ecosystems to avoid significant adverse impacts

14.3 Minimize and address the impacts of ocean acidification, including through enhanced scientific cooperation at all levels

14.4: By 2020, effectively regulate harvesting and end overfishing, illegal, unreported and unregulated fishing and destructive fishing practices

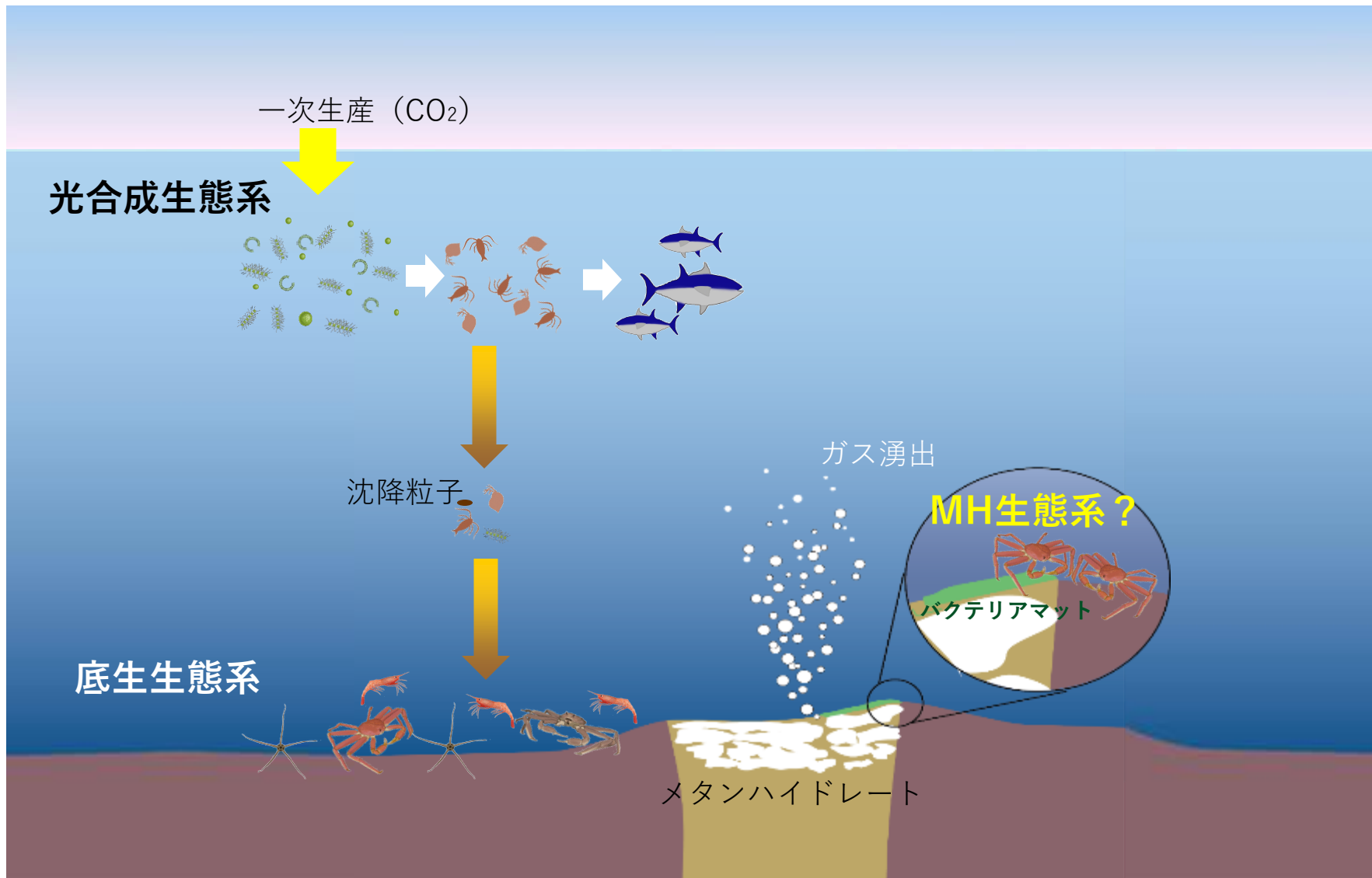
14.5: By 2020, conserve at least 10 per cent of coastal and marine areas

14.6 By 2020, prohibit certain forms of fisheries subsidies which contribute to overcapacity and overfishing, eliminate subsidies that contribute to illegal, unreported and unregulated fishing

14.7 By 2030, increase the economic benefits to Small Island developing States and least developed countries from the sustainable use of marine resources

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS NERUIS PROGRAM

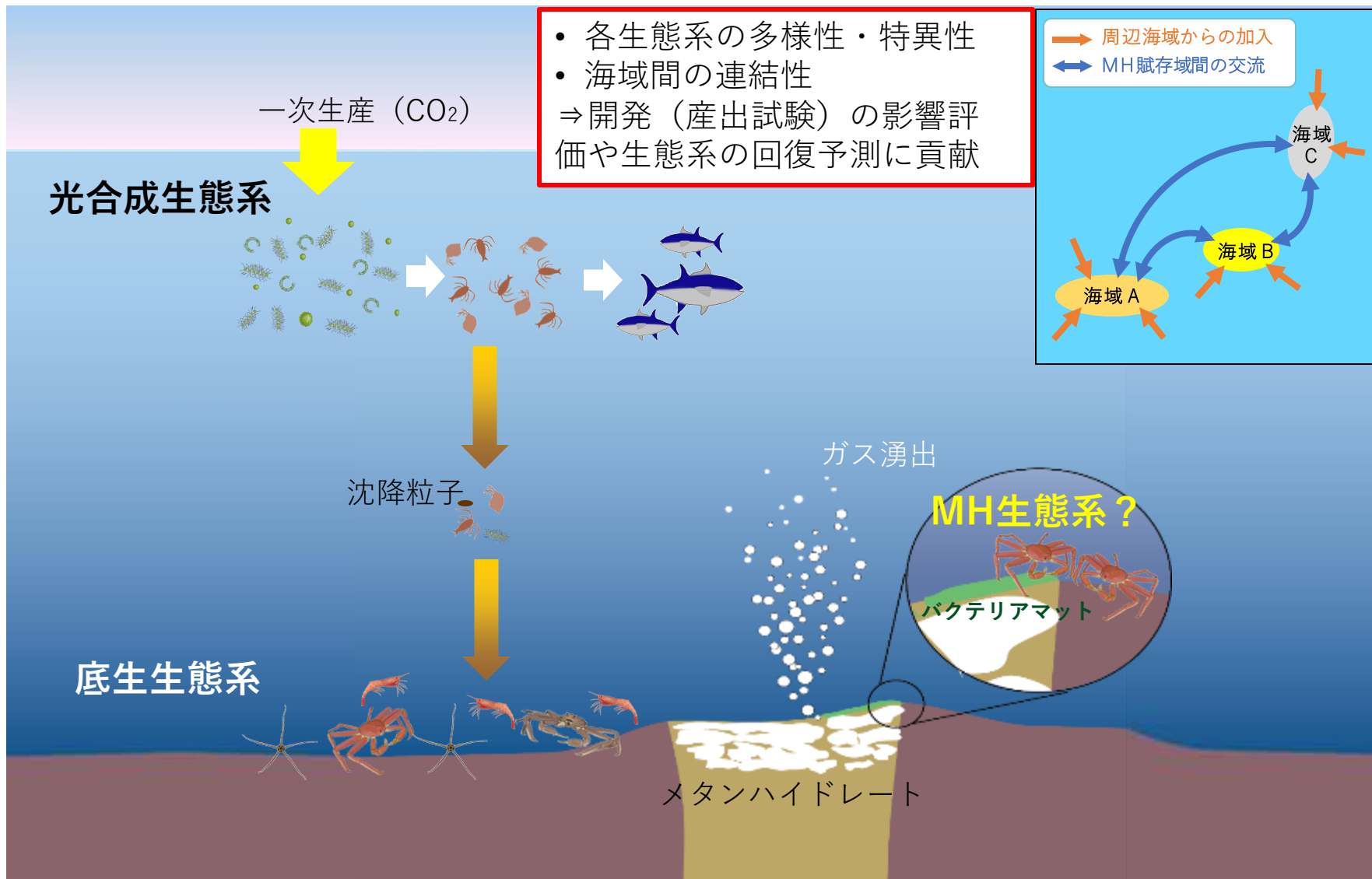
表層型メタンハイドレート：「環境影響評価」の概念図



生物学的特性把握

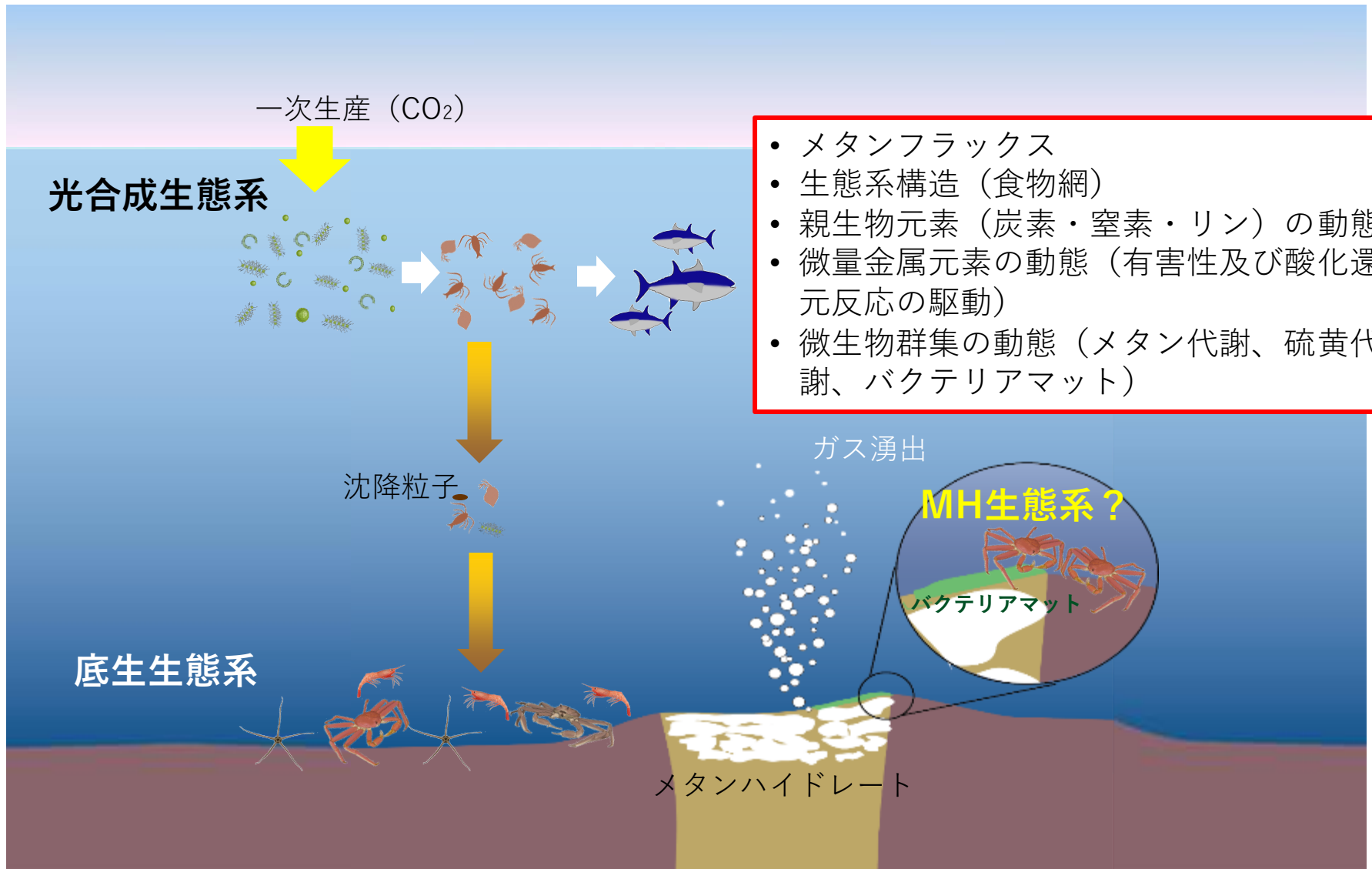
生態系の特異性/多様性/コネクティビティの評価

- 各生態系の多様性・特異性
 - 海域間の連結性
- ⇒ 開発（産出試験）の影響評価や生態系の回復予測に貢献

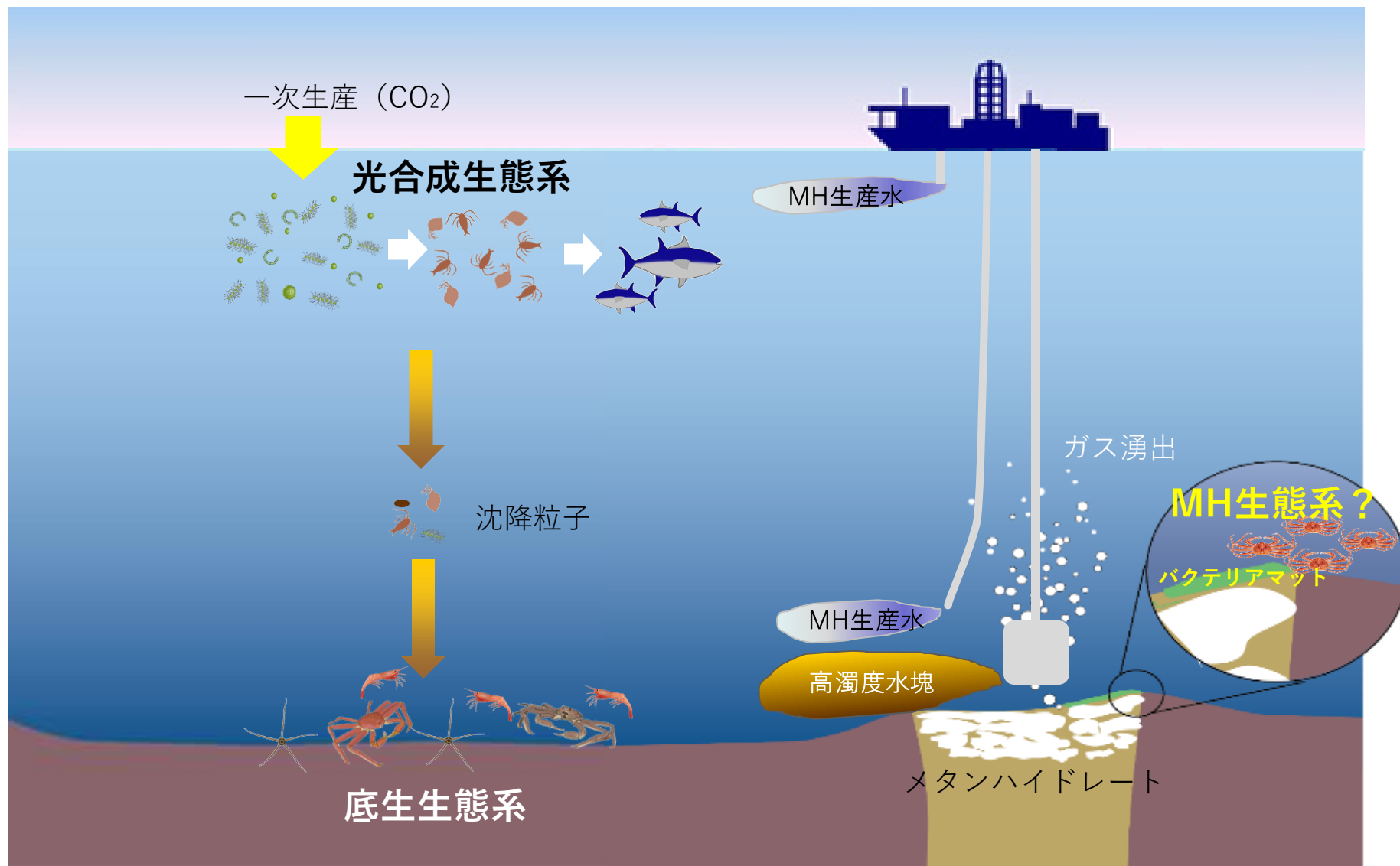


物質循環（物理/化学/生態学）特性の把握

重要な物質循環プロセス・パラメーターの抽出



開発（産出試験）に伴う影響評価・予測



開発（産出試験）に伴う影響評価・予測

生産水・高濁度水塊の影響

一次生産 (CO₂)

光合成生態系

MH生産水

表層流動場

曝露評価

- 拡散予測 ← 物理環境（水塊構造・流動場）
- 生物影響 ← 生産水・再懸濁物の物理特性（水温・塩分）及び化学特性（pH、酸化還元状態、栄養塩、微量金属）

生息域の改変

- 再堆積の影響

ガス湧出

底層流動場

MH生産水

高濁度水塊

メタンハイドレート

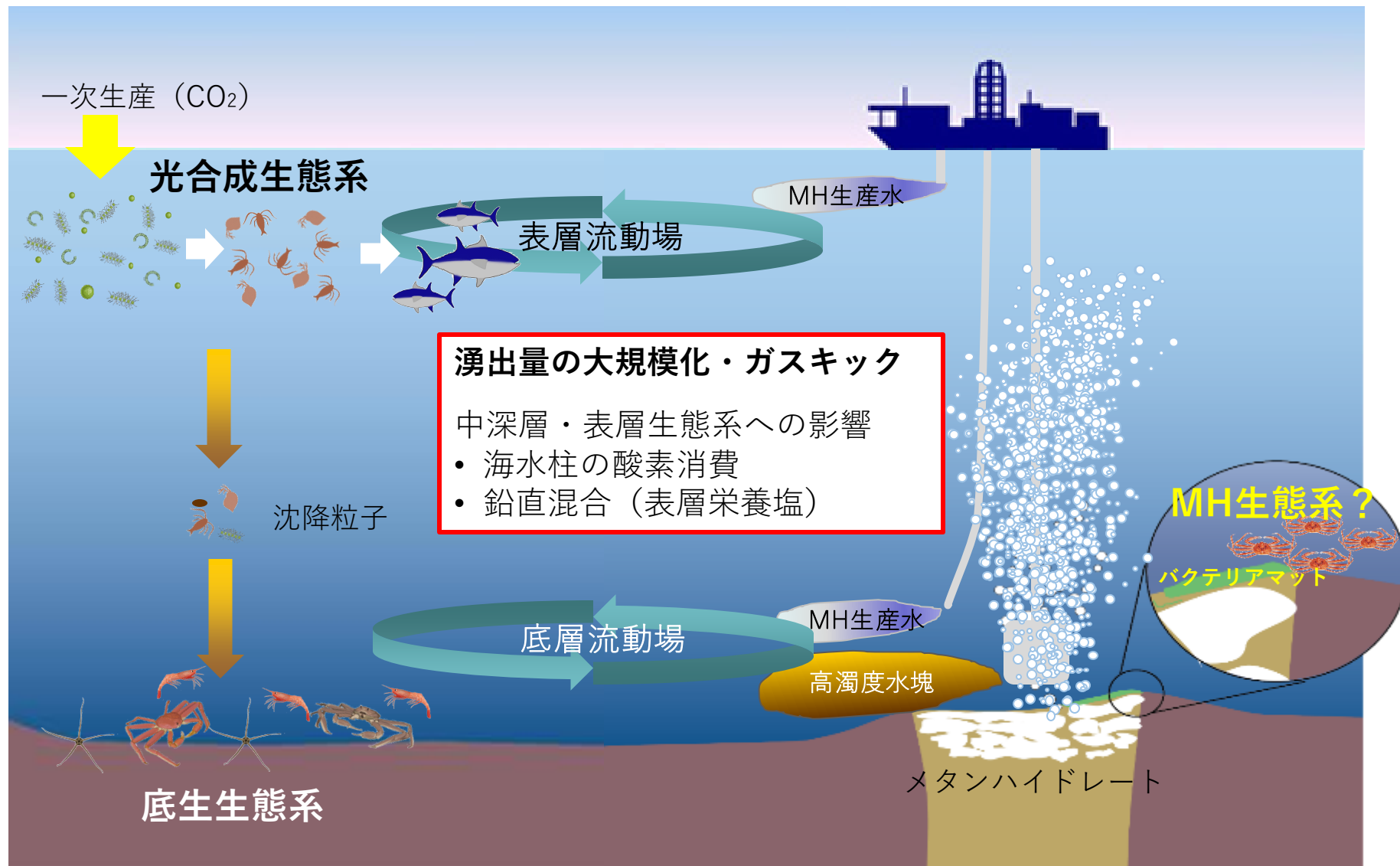
底生生態系

MH生態系？

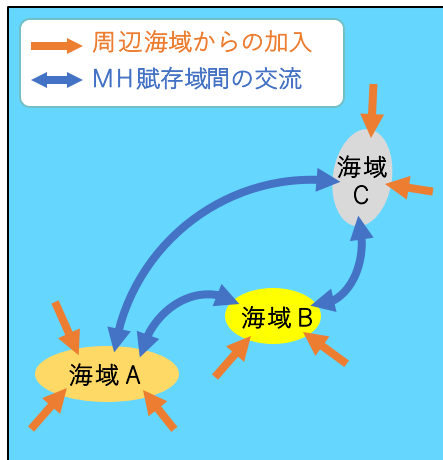
バクテリアマット

開発（産出試験）に伴う影響評価・予測

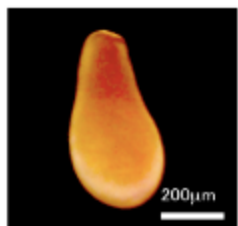
ガス湧出量の変化



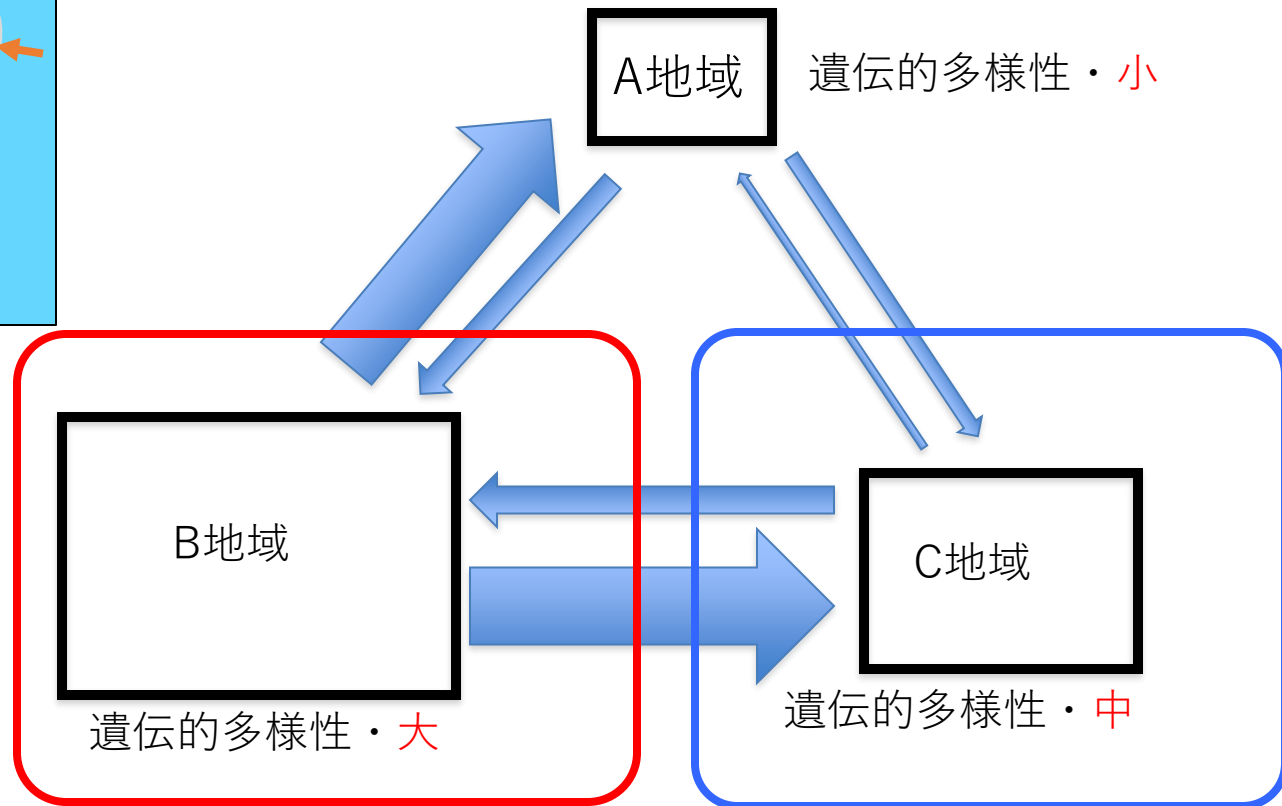
生物群集特性：連結性と種多様性



枠の大きさは遺伝的多様性の大きさ
矢印の太さは交流の大きさ



サンゴのプラヌラ幼生
* 海洋生物の多くは浮遊幼生により分散する



生物の連結性を把握することで広域・長期的な視点で
海域間の影響評価が可能に

連結性評価の研究イメージ

供試生物の入手



地元漁協等の
協力



ソーティング・対象種試料取得
種多様性情報の整理・代表種の選定



種同定用試料の固定
(ホルマリン)

遺伝子抽出用試料



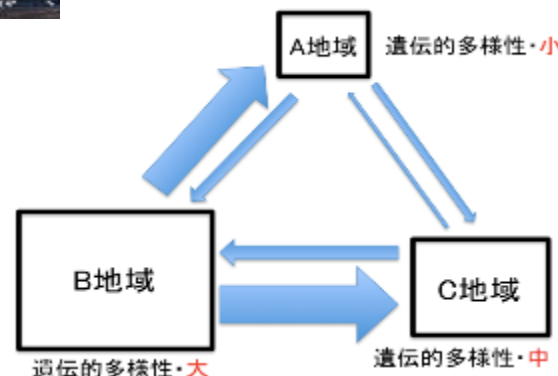
DNA抽出



個体1…AAGGTTCCCGGG…
個体2…AAGGTTCCCGAG…
個体3…AGGGTTCCCGGG…
個体4…AAGGTTCCCGAG…
個体5…AGGGTTCTCGGG…



DNA配列の取得・解析

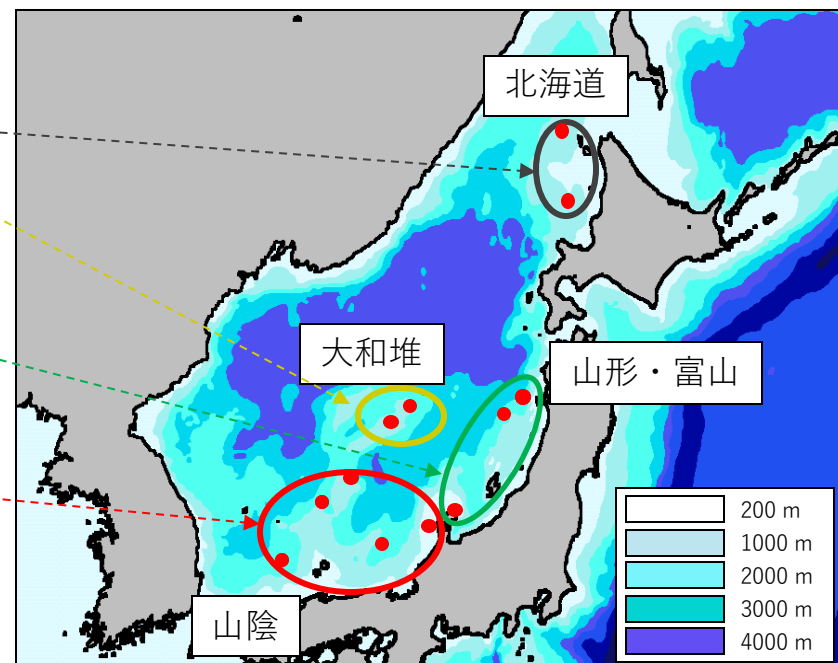
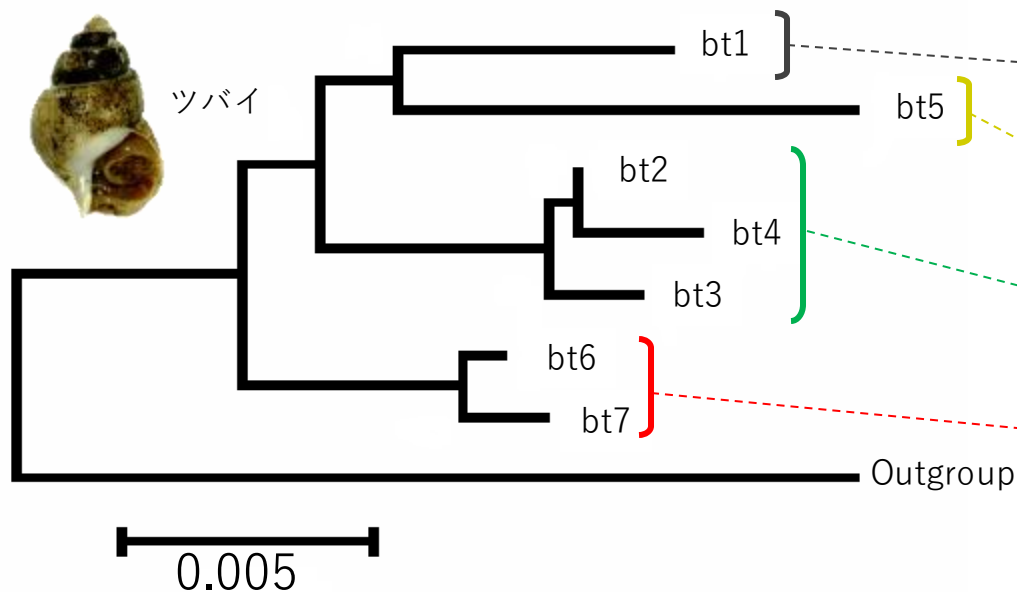


集団連結性の
把握

連結性評価の例：深海性巻貝の集団遺伝解析

ツバイ 水深200～1350 mに生息

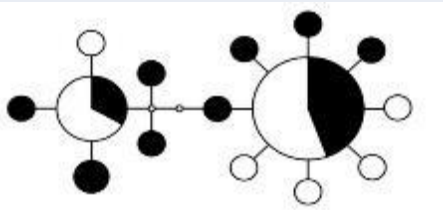
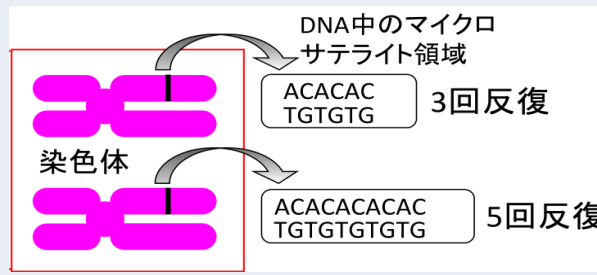
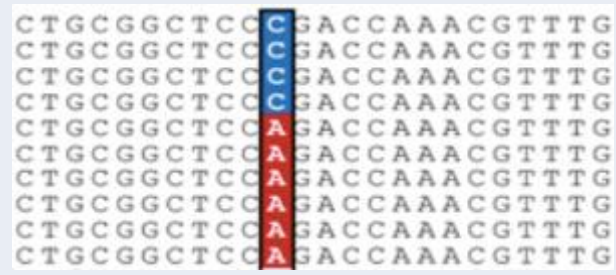
ミトコンドリアのDNA部分配列を用いた分子系統樹



Iguchi et al. 2004 Fish Sci, 2007 Mar Biol

⇒ 4つの地域集団に分けて資源管理する必要性を提言

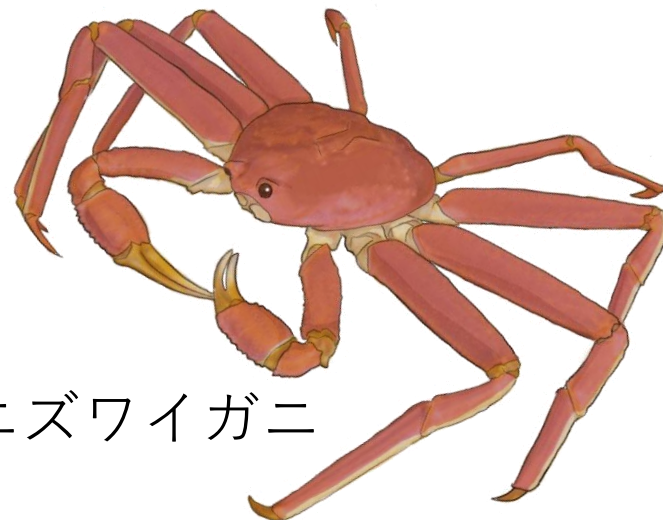
連結性解析における最新手法の適用

	ミトコンドリア COI解析	マイクロサテライト マーカ解析	一塩基多型解析 (SNPs)
装置	従来型分析装置 1000塩基程度	従来型分析装置 1000-5000塩基程度	次世代シーケンサー >100万から1億塩基
対象	ミトコンドリア 遺伝子領域  ハプロタイプネットワーク	核DNAの マイクロサテライト配列 	核DNAの一塩基多型 
特徴	深海性生物での知見も多い。コストが安くデータ取得も容易だが 解像度が低い 。 現在の深海性生物での標準手法	個体の起源集団の推定も可能。データ取得に時間がかかる。深海性生物への応用も少数ある。 警察のDNA鑑定と同じ手法	マイクロサテライトマーカより多くの情報。深海性生物への応用も始まる。 最もデータ量の多い連結性解析

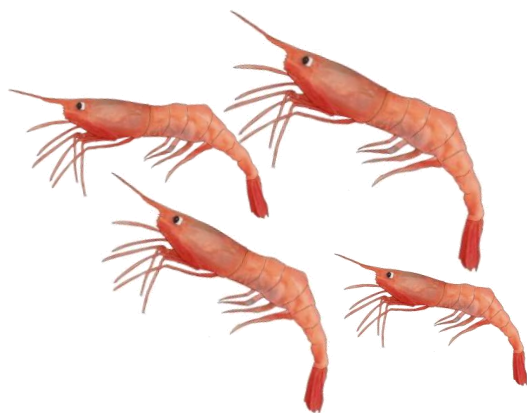
連結性評価：表層型MH研究の対象候補種



ズワイガニ



ベニズワイガニ



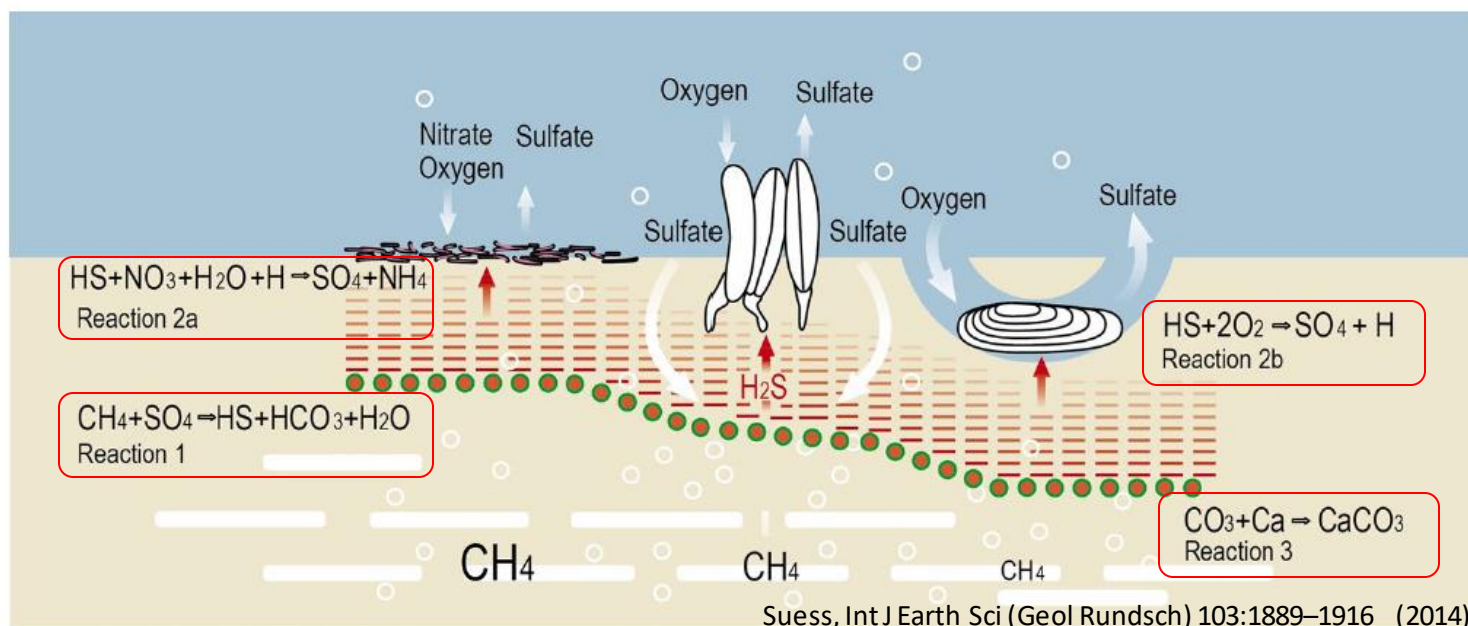
ホッコクアカエビ



キタクシノハクモヒトデ

表層型メタンハイドレート賦存海域の特性解明

微生物が駆動する物質循環（嫌気的なメタン酸化反応）



微生物による化学反応の駆動 + 物理拡散等による物質の移動

反応 1：硫酸還元ーメタン酸化（硫化水素の生成）

反応 2：硫化水素の酸化

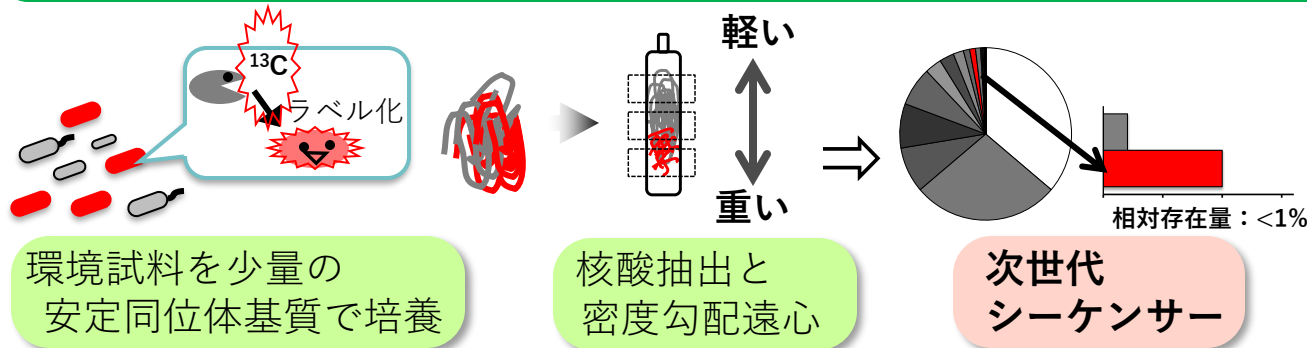
- a) バクテリアマット（硝酸塩による酸化）
- b) マクロベントス共生系（酸素による酸化）

反応 3：炭酸カルシウムの沈着（アルカリ度の変化）

他の生元素（リン）や微量元素（金属）もダイナミックな動態？

どんな微生物群集がどのような役割を果たしているのか？

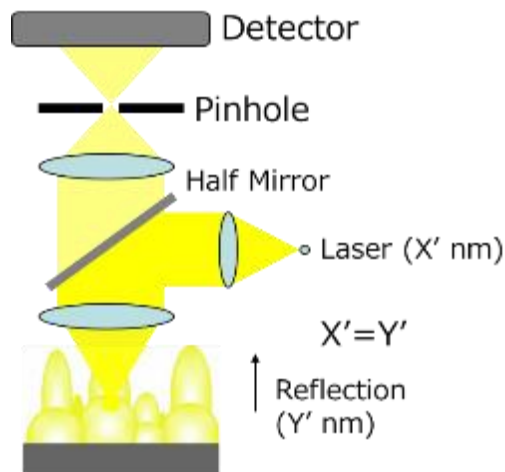
SIP (Stable Isotope Probing) と次世代シーケンサーの融合 実環境レベルの少量の安定同位体で培養・標識された微生物を検出可能



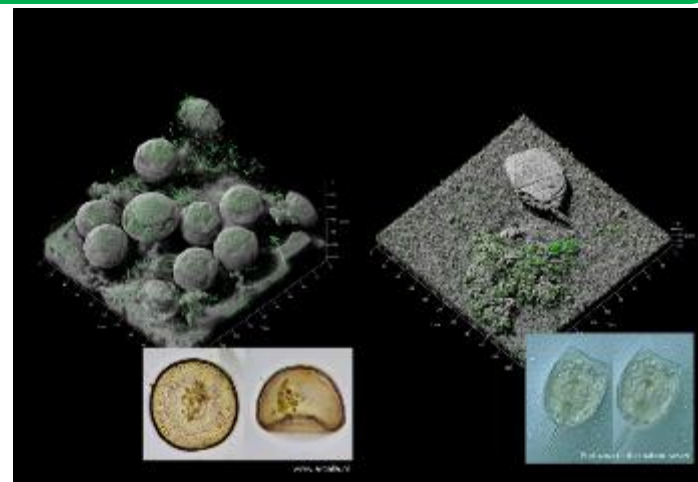
- ・ 実環境条件を反映
- ・ ^{13}C 標識 RNA の検出下限値: 0.001%

Aoyagi et al., Environ. Microbiol. Rep., (2015); Aoyagi et al., ISME J., (2018)

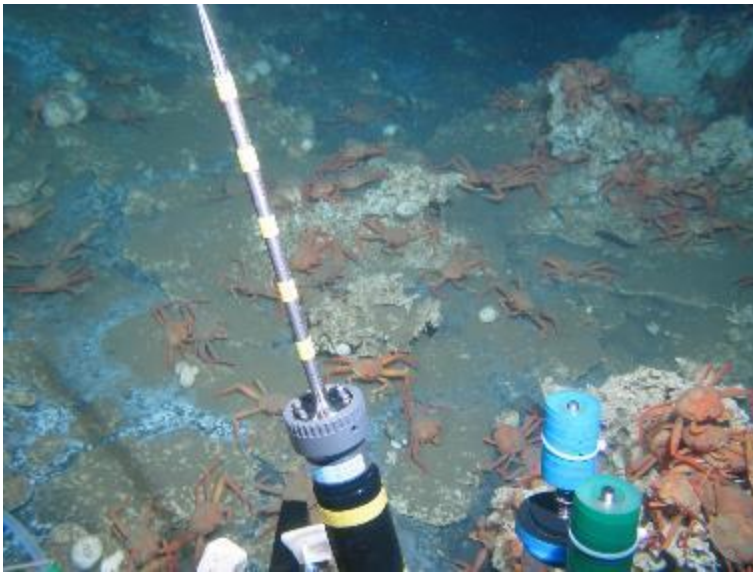
共焦点反射顕微鏡法 (COCRM: Continuous Optimizing Confocal Reflection Microscopy) 非破壊的可視化法によりMH賦存海域のバクテリアマットの解析に挑戦



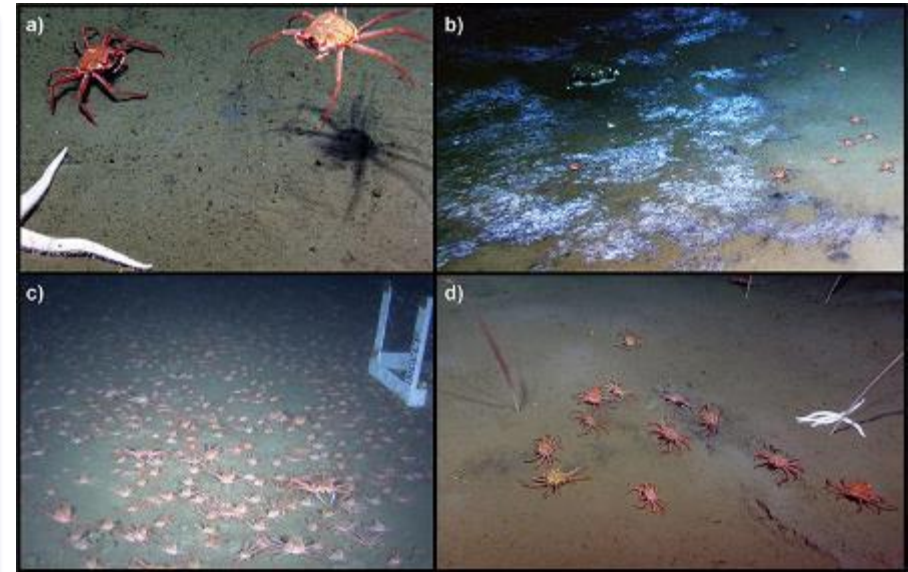
共焦点顕微鏡 LSM880



MH賦存域に生物が蝟集？



メタンハイドレート（シープ）に群がるベニズワイガニ.
R/V Natsushima NT13-E02 Cruise, HyperDorpin Dive.
1568

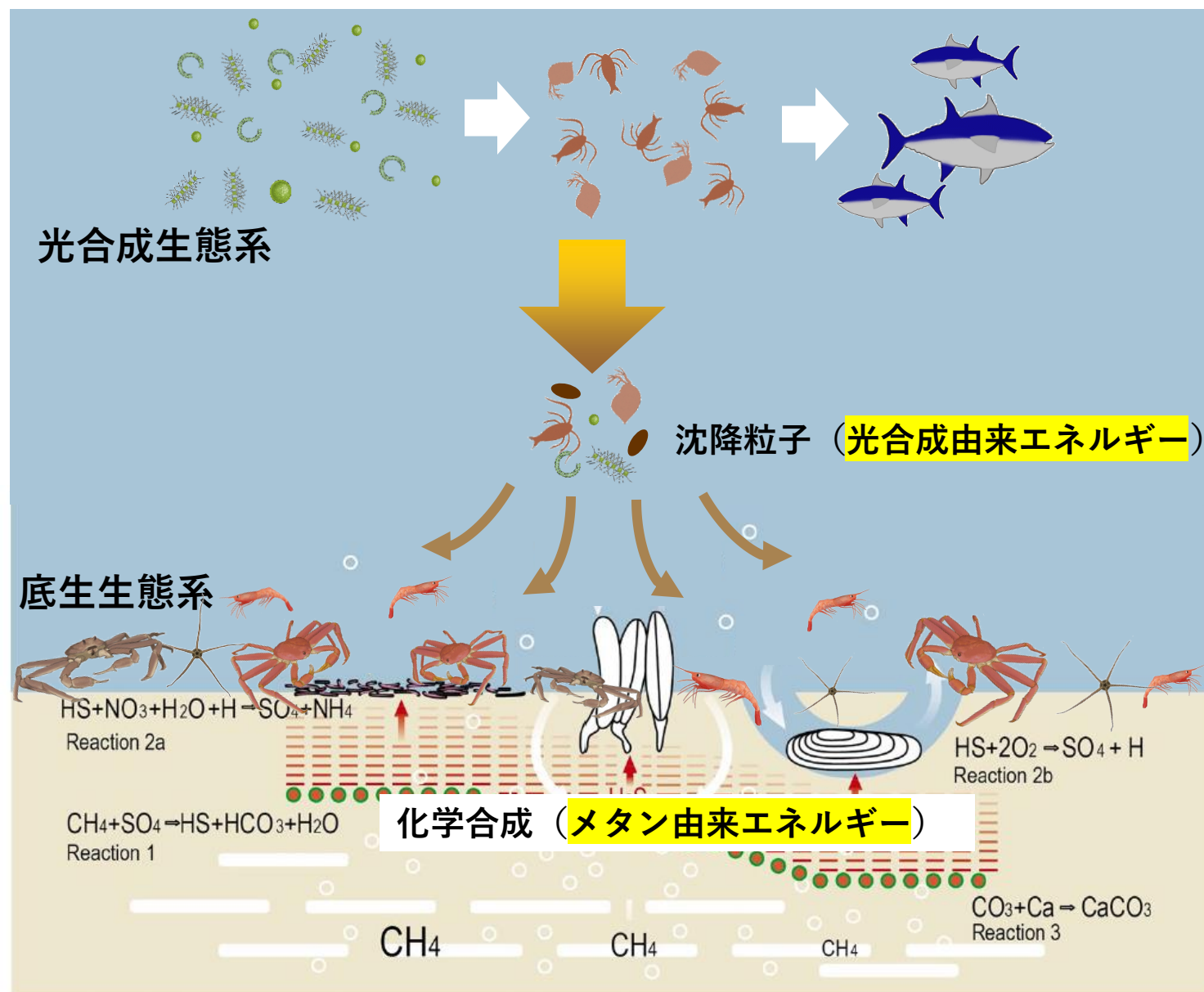


British Columbia沖のメタンシープにおけるミゾズワイガニの蝟集
Seabrook et al. Front. Mar. Sci., 2019, <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00043>

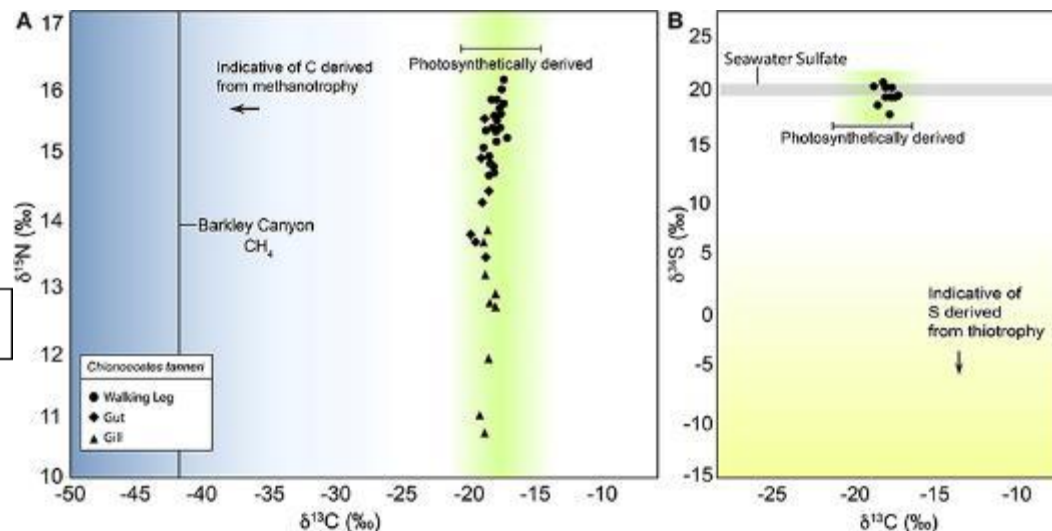
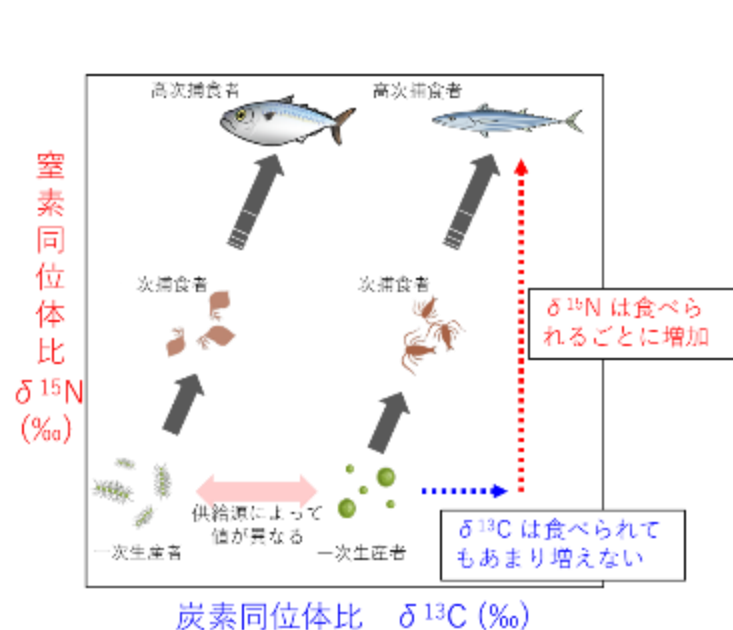


エネルギー（お食事）？、物理的刺激（好奇心・物見遊山）？、水温（湯治・足湯）？

表層型MH生態系？（物質循環⇒エネルギー・食物網）



安定同位体比を利用した食物網・物質循環の評価



British Columbia沖のMH胎胚域におけるミズズワイガニの炭素・窒素同位体比 (A)、炭素・硫黄同位体比 (B) (Seabrook et al. Front. Mar. Sci., 19 February 2019 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00043>)

ベニズワイガニ、ノロゲンゲ、ホッコクアカエビ、ヨコエビ

- ・ MH賦存域と参照域で炭素・窒素安定同位体比の値に有意な違いはなかった
- ・ MH賦存域のベニズワイガニらは、主に光合成由来の炭素依存していることが示された
(福田ら：安定同位体比を用いたメタンハイドレート賦存海域に生息する生物群集の食物網解析, JPGU2016要旨集)

バルクの同位体解析結果

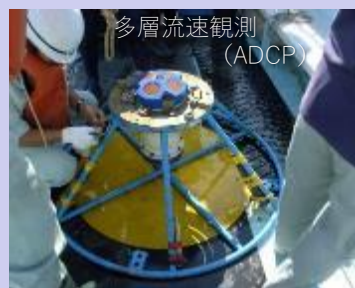
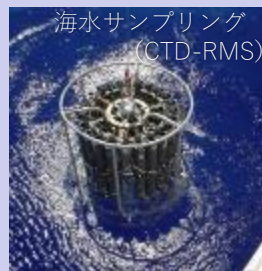
光合成生態系に依存している

「足湯説」が有利？

化合物レベル (脂肪酸・アミノ酸) では痕跡が (Seabrook et al. 2019など)

やはり「お食事」？

【海域環境調査】



実験・解析用の試料
パラメータの取得

疑似現場試験

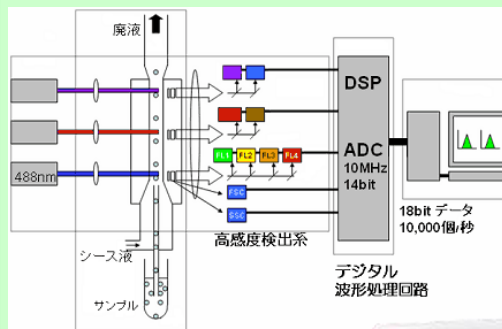


実験データに基づく
観測手法の高度化

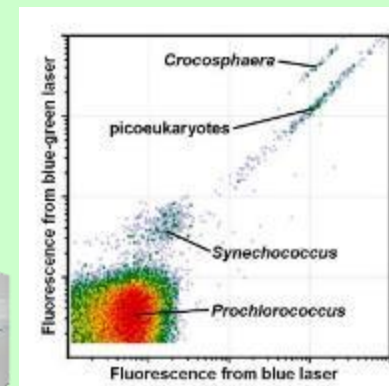
【環境影響評価手法の検討】

キーワード：メタン、栄養塩、有機物、炭酸系、酸素、硫黄、金属元素、陰イオン、年代測定、フラックス、群集構造、同位体解析

フローサイトメトリーによるプランクトン、バクテリア群集への影響評価



<https://ls.beckmancoulter.co.jp/products/f flow-cytometers/>



<http://cmore.soest.hawaii.edu/>

栄養塩・有機物：海洋生物地球化学のキーパラメータの動態解析

超高感度・高ダイナミック
レンジ栄養塩計測

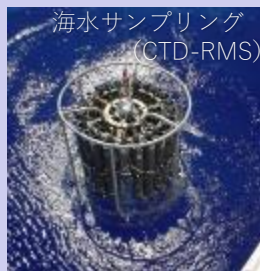
バルク・分子レベルの安定
同位体比分析：食物網解析



【海域環境調査】



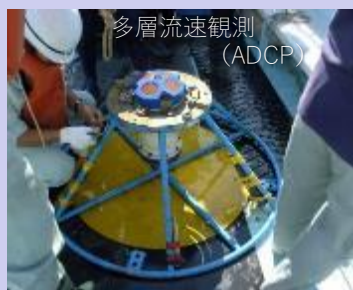
海洋観測



海水サンプリング
(CTD-RMS)



生物サンプリング
(VMPs)



多層流速観測
(ADCP)

実験・解析用の試料
パラメータの取得

疑似現場試験



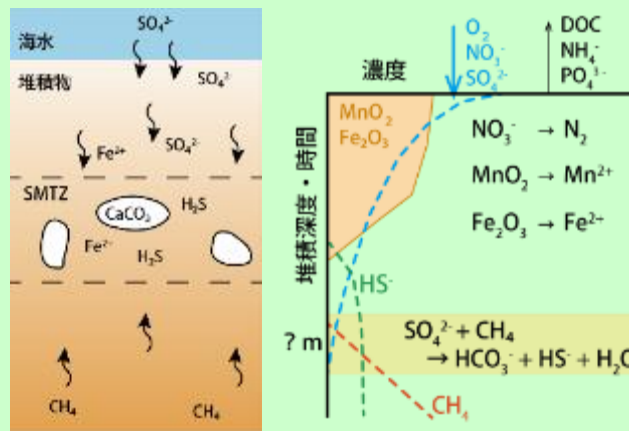
水槽による曝露実験等

実験データに基づく
観測手法の高度化

【環境影響評価手法の検討】

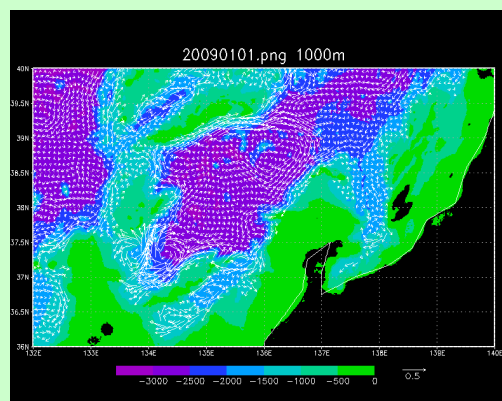
キーワード：メタン、栄養塩、有機物、炭酸系、酸素、硫黄、金属元素、陰イオン、年代測定、フラックス、群集構造、同位体解析

堆積物内の物質の微細動態解析：マイクロプロファイリング計測



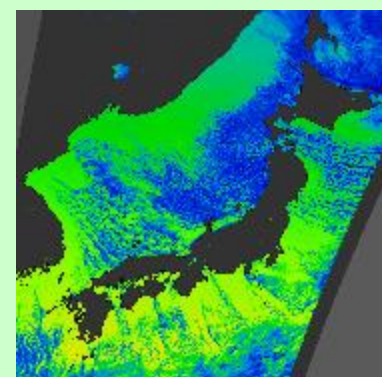
https://www.unisense.com/MicroProfiling_System

シミュレーションモデルによる流動予測や衛星によるリアルタイム観測



水深1000mの日平均流速ベクトル図

懸濁物や生物幼生の動態を予測



JAXAのGCOM-C (しきさい) による海面光合成有効放射
(2019/11/20 1:42UTC
https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/jasmes/sgli_nrt/index.cgi/)