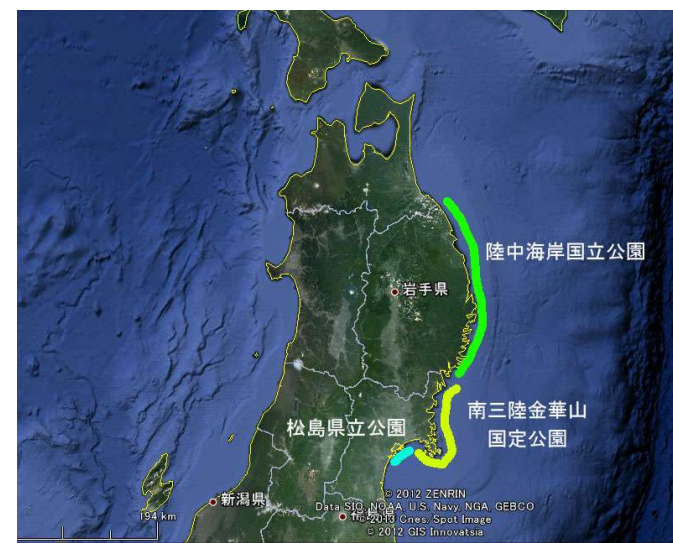


環境省環境研究総合推進費

S13-2 開放性内湾が連なる三陸沿岸海域における沿岸環境管理法の開発



研究代表者:小松輝久

所属:横浜商科大学

研究体制

- (1) 遷移する沿岸環境監視とそれを応用した沿岸海域管理法開発: S13-2-(1)
小松輝久(横浜商科大)
- (2) 森-川-海の栄養物質輸送機構の解明: S13-2-(2)
門谷 茂(横浜商科大)
- (3)1 森-海の物質輸送に果たす有機物の役割解明: S13-2-(3)1 (鉄)
吉村千洋(東工大)
- (3)2 森-海の物質輸送に果たす有機物の役割解明: S13-2-(3)2 (有機物)
西村修(東北大)

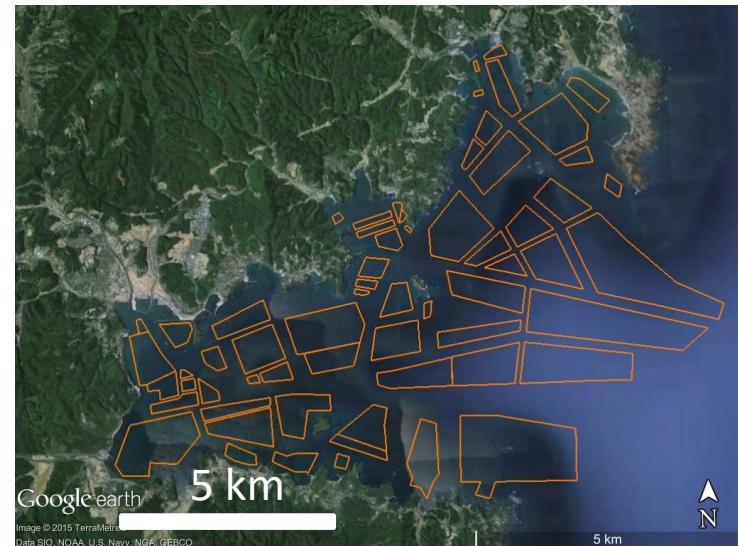
研究開発目的

大津波の甚大な影響を受けた開放性内湾からなる三陸の沿岸生態系と養殖などの人間活動の変遷をモニタリングし、津波で再生した塩性湿地や被害を受けた藻場などのエコトーン、海域利用の状況を明らかにする。また、森川海をつなぐ物質循環を調べ、開放性内湾における、環境収容力に見合い、良好な環境を維持でき、収益を確保できる、カキなどの最適養殖法の提案、塩性湿地などのエコトーンの機能の評価、「森が海の恋人」であることの定量的な証明を行う。また、津波防潮堤が沿岸海域の環境に及ぼす影響を分析し、自然生態系と共存可能な沿岸域のあり方を総括班と共同で提案する。以上をもとに、三陸沿岸の開放性内湾においてどのような人手を加えることが豊かな沿岸海域を復活させることに有効かを明らかにする。

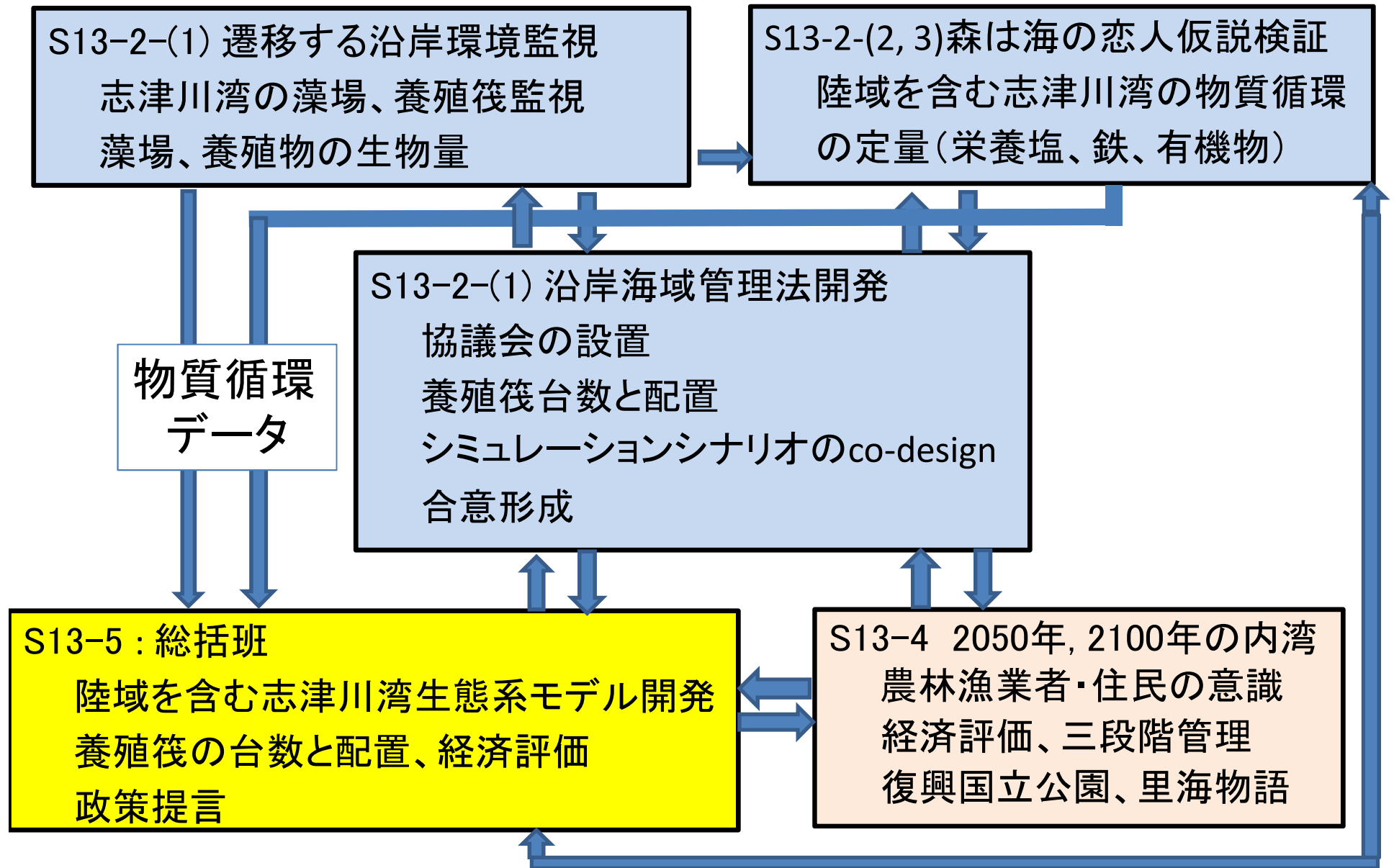
大津波の後、なぜ志津川湾を調べたのか？

1. リアス式湾における持続的な養殖と健全な海洋環境を実現するための方法の開発(遷移する沿岸環境監視とそれを利用した沿岸域管理法開発): 区画漁業権で覆われ、物質循環に及ぼす人為的な影響として養殖業が卓越する日本の典型的内湾
2. 環境省が進める里海活動としての植林の根拠としている、広葉樹が海に不足する鉄を供給するという「森は海の恋人」仮説の定量的検討(森川海をつなぐ物質循環の定量的解明)

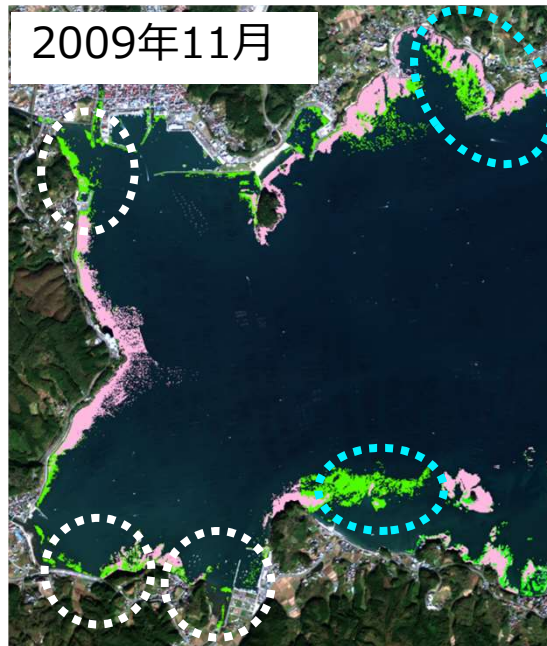
- 三陸の典型的なリアス式の湾
- 適度な大きさの湾
- 南三陸町内で閉じる集水域
- 自然と共生する町を目指す



S13-2サブテーマ、S13-4、S13-5の関係



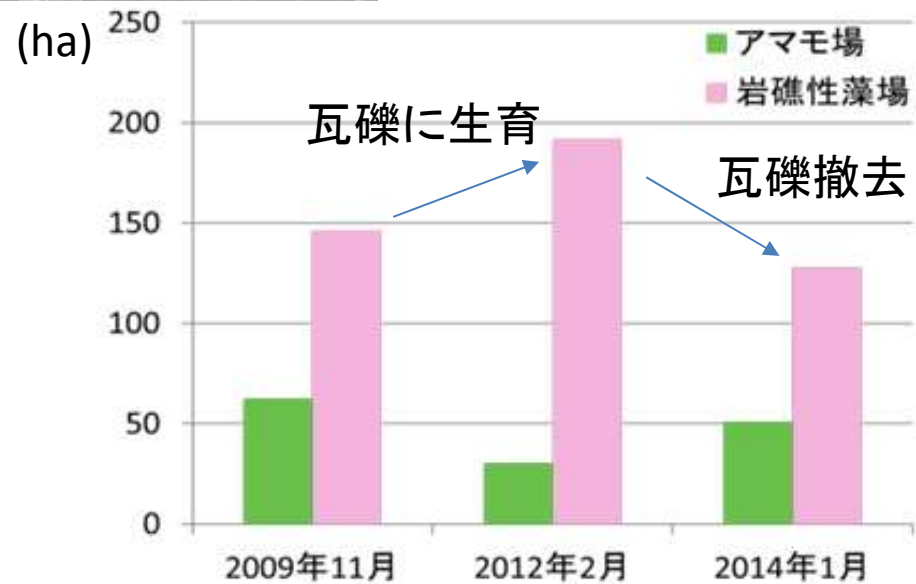
衛星画像解析による志津川湾藻場回復過程の監視



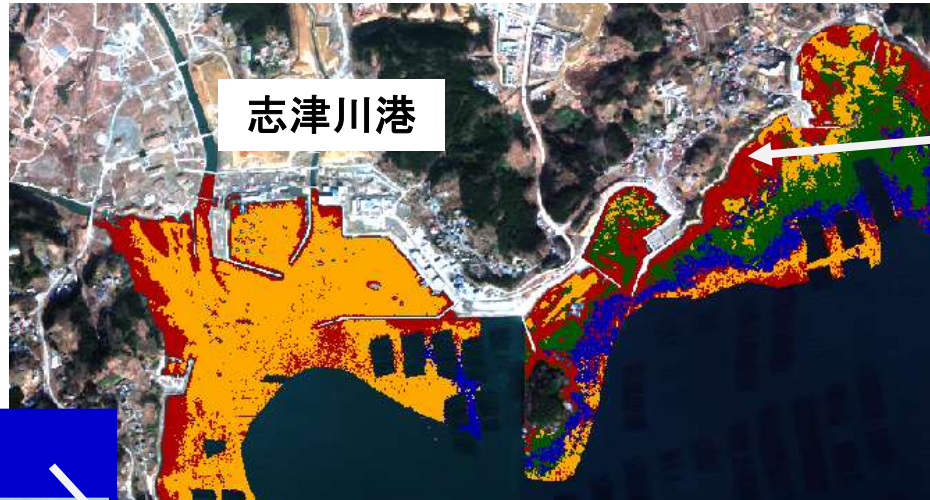
- アマモ場
- 岩礁性藻場

● 津波で著しく減少したが、回復しているアマモ場

● アマモ場が回復していない海域 (湾奥・河口域)



2014年から各所でウニによる磯焼けの発生



岩礁性藻場(ホンダワラ類) ・アカモク等



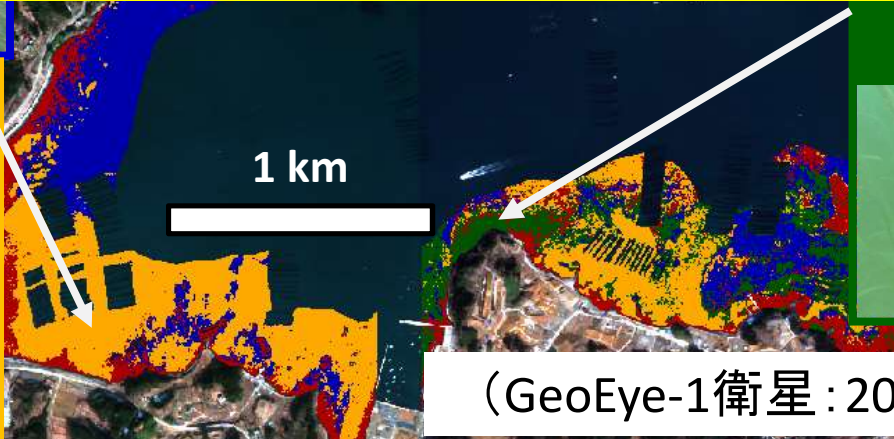
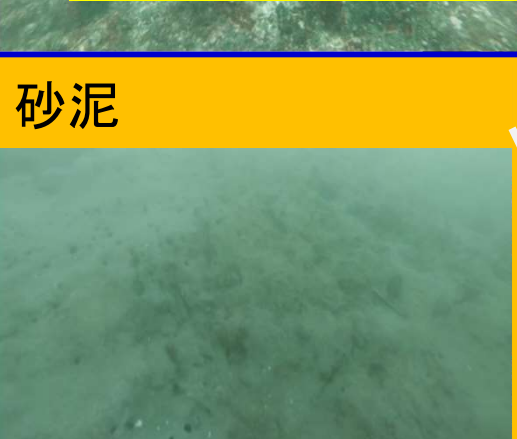
岩礁性藻場(コンブ類) ・マコンブ等



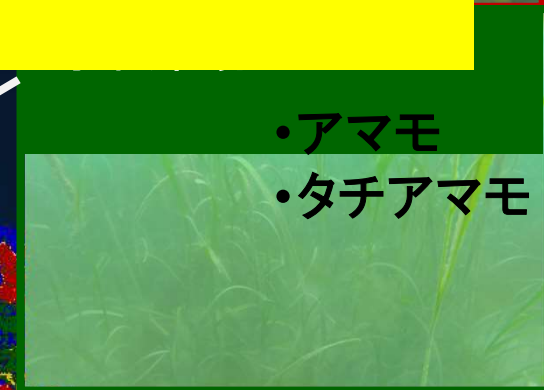
磯焼け岩礁

遷移する沿岸生態系監視の重要性
と管理への応用

砂泥

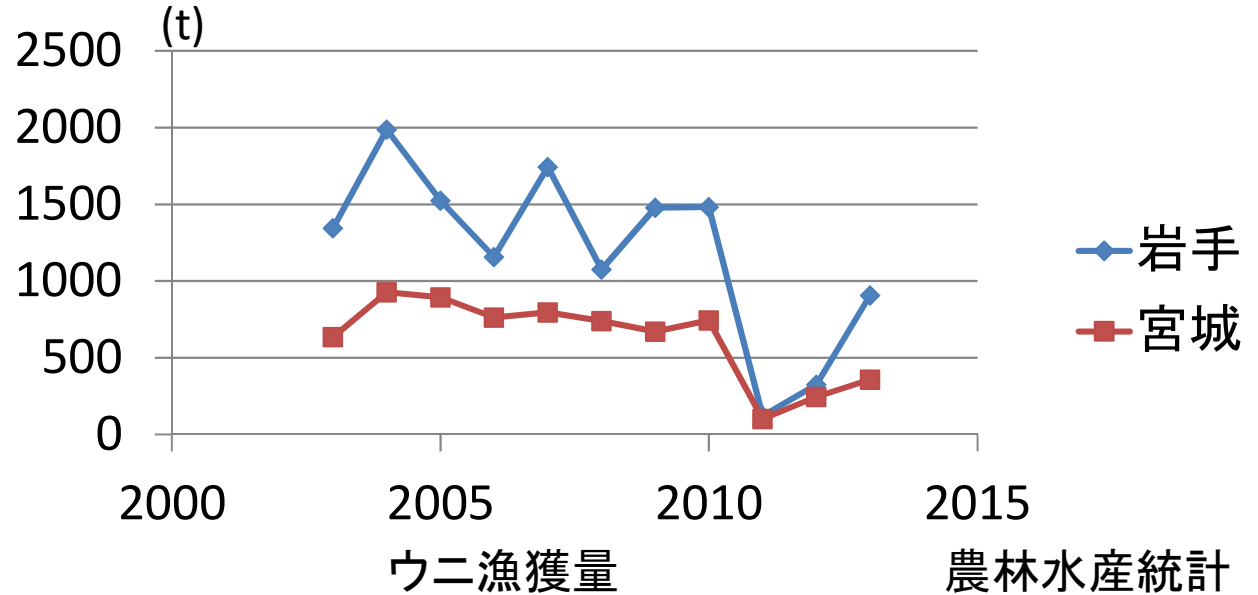
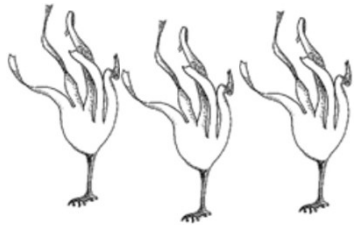


・アマモ
・タチアマモ



(GeoEye-1衛星:2015年2月12日撮影)

沿岸域の生物多様性を支えるウニ漁業：里海



健全な沿岸生態系を支える里海活動としての漁業の具体的事例

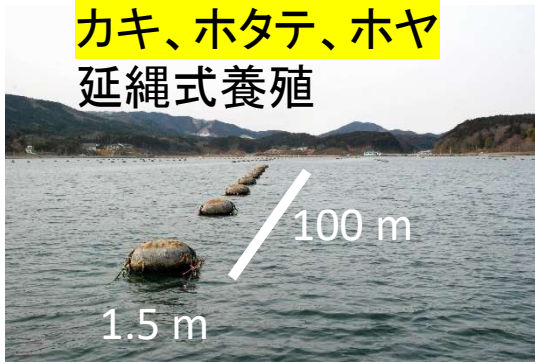
捕食者としての人間活動の停止による爆発的増加



Trophic cascade 栄養カスケード 2015年1月椿島西側

S13-2-(1)

カキ、ホタテ、ホヤ
延縄式養殖



主に延縄式による通年養殖

カキ、ホヤ、ホタテ



10月から4月までの
延縄式ワカメ養殖

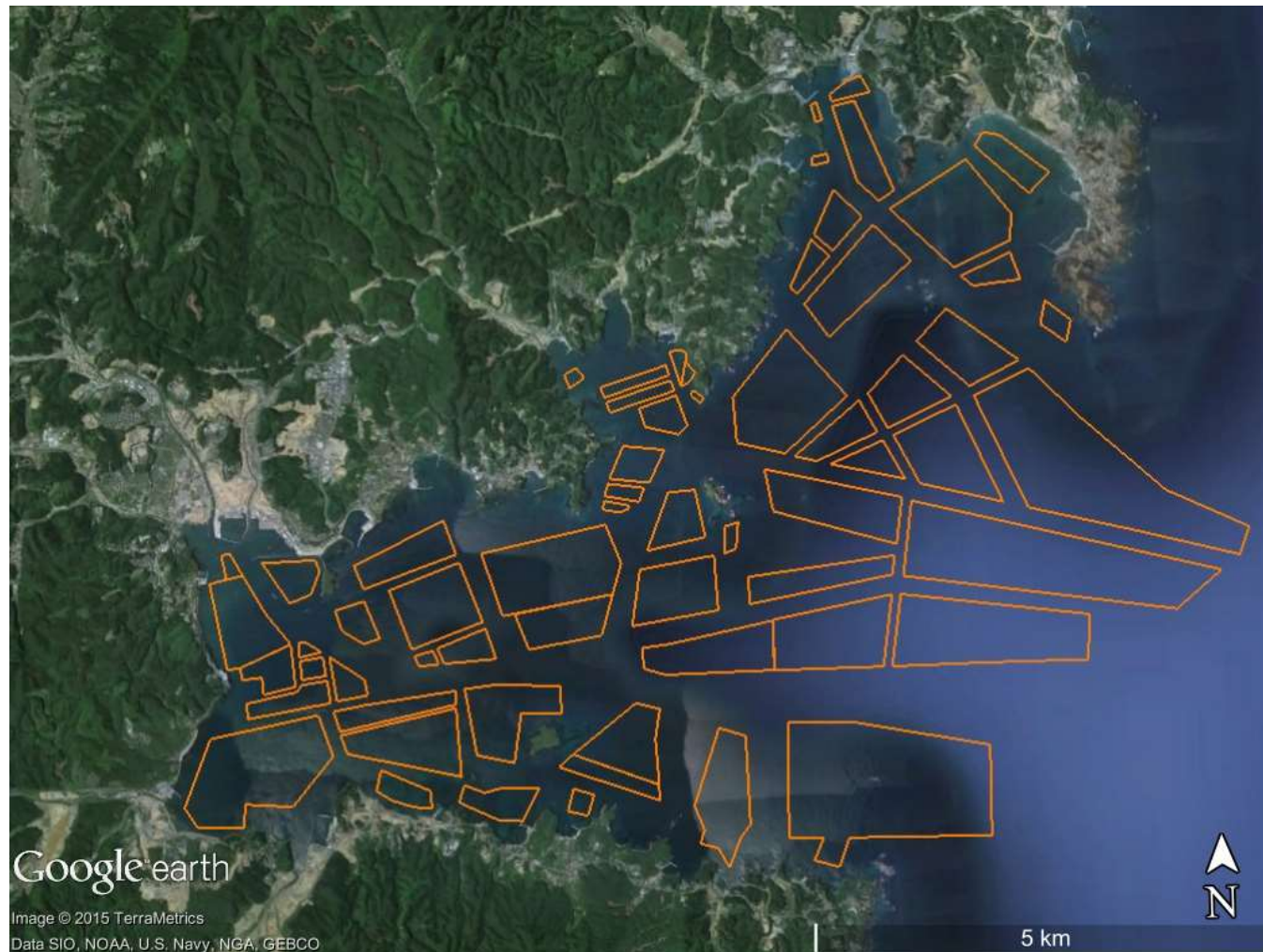


秋から夏に八角形(1辺
6.5 m)の生け簀でのギ
ンザケ養殖

無給餌養殖

給餌養殖

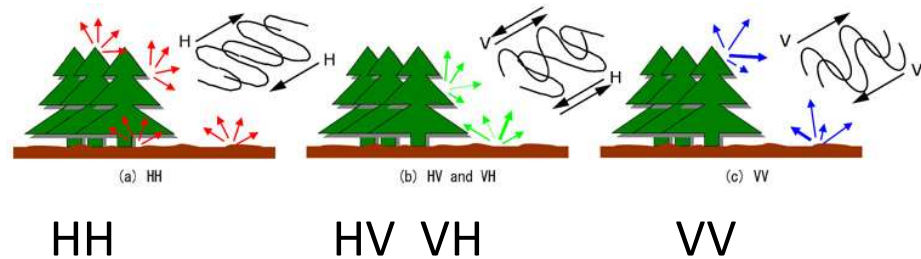
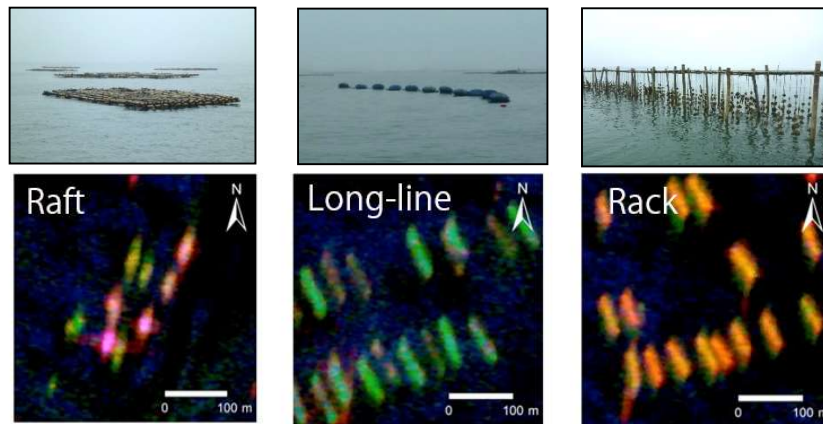
県知事は区画漁業権の免許を与え、各組合が管理
しかし、どこに筏が分布するかunknown



沿岸環境の監視手法開発

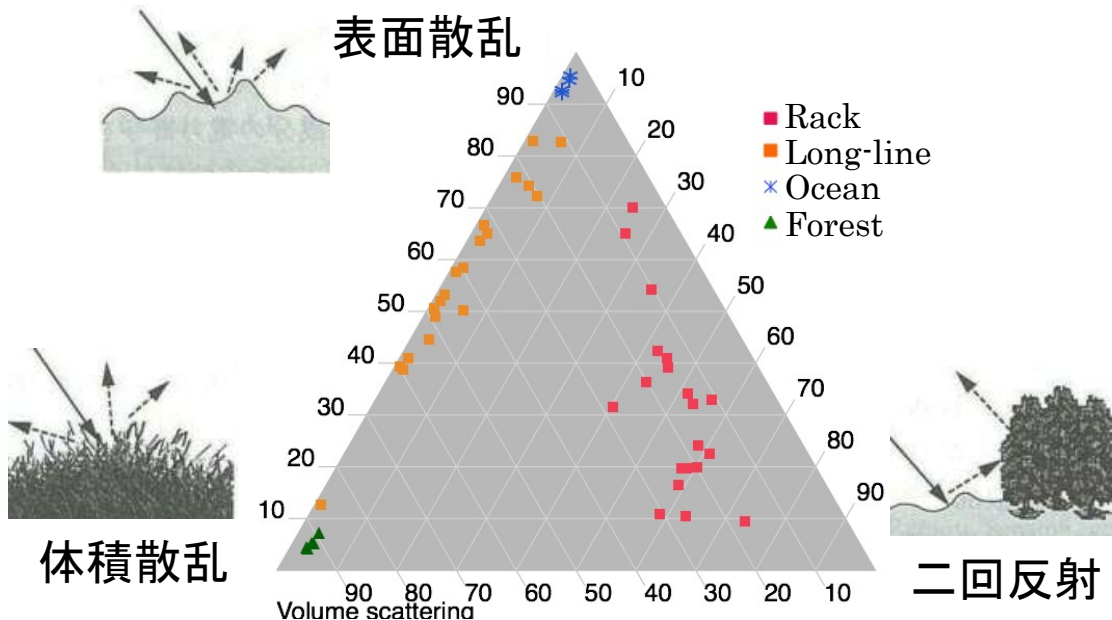
S13-2-(1)

Pi-SAR L2による高空間分解能全偏波SARによる筏分類

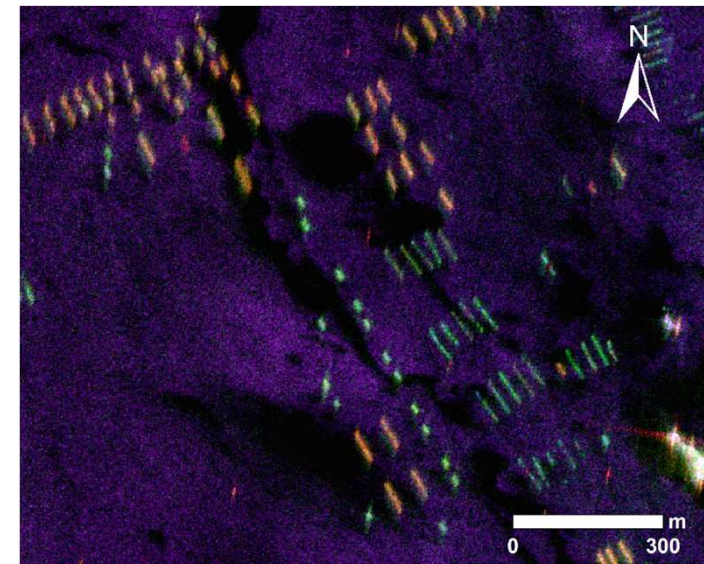


マイクロ波Lバンドの偏波を利用

表面散乱に青，体積散乱に緑，2回反射に赤色を割り当て



3成分散乱モデル分解 (Freeman and Durden, 1998)



Murata, H., Komatsu, T., & Yonezawa, C. (2019) International Journal of Remote Sensing, 1-17.

衛星画像パンシャープン解析による湾奥・湾中部 養殖筏分布位置の特定 S13-2-(1)



衛星画像解析による養殖筏マッピングの有効性：
過去に遡って調べることが可能
高空間分解能の衛星画像で正確にマッピング

2009年2月3日

2014年1月15日

衛星画像解析で検出した海面養殖施設配置図
多角形は志津川(青)と戸倉(赤)の区画漁業権
ワカメ延縄式(緑)、カキ延縄式(橙)、カキ筏式(赤)、サケ生簀(黄)

志津川湾におけるカキおよびワカメ養殖筏台数の変化

カキ養殖筏

戸倉地区70%削減
志津川地区50%削減

ワカメ養殖筏

戸倉地区70%削減
志津川地区震災前と同じ

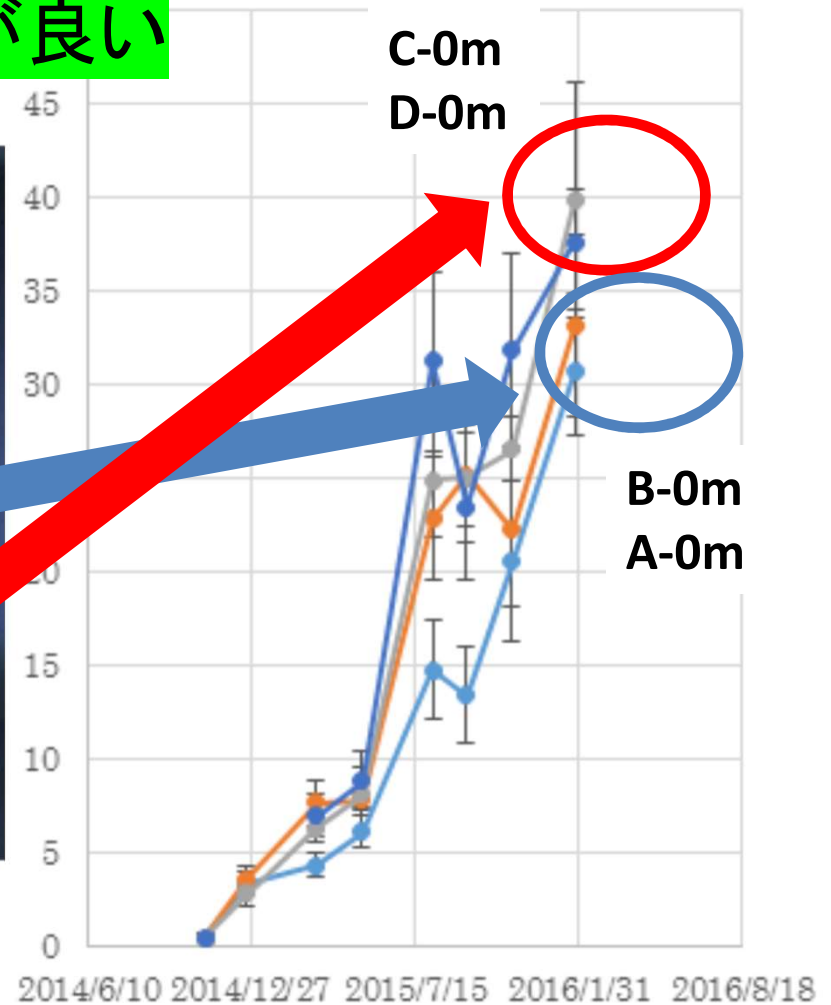
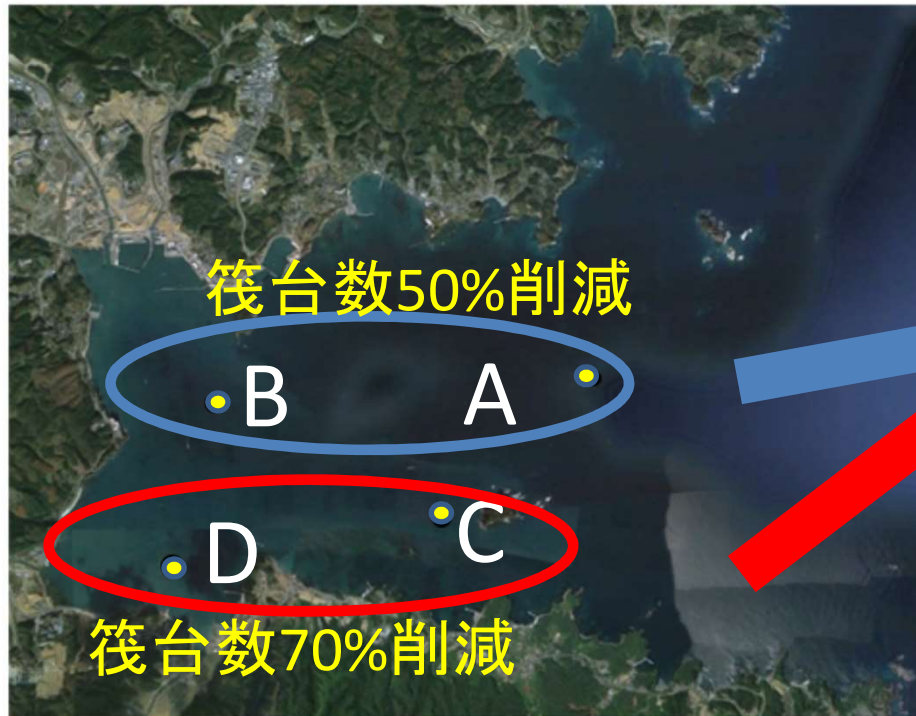
海洋環境(物質循環)への影響は？

カキ成長追跡

S13-2-(3)2

2014年11月から

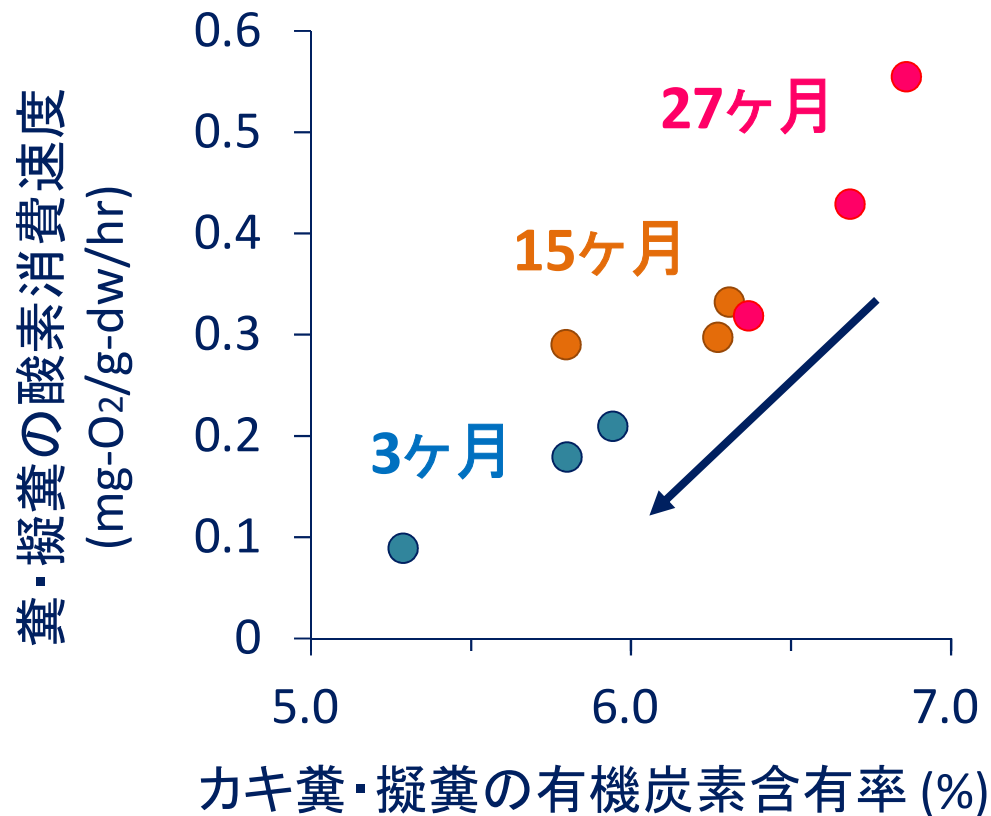
同じ期間で7g (1.3倍)も身入りが良い



カキ1個体の平均湿重量(g/ind)

筏密度の低い戸倉で高い成長

マガキの月齢による糞・擬糞中有機炭素含有率



養殖筏密度を下げることで

養殖期間の短縮(18ヶ月程度以上
⇒10ヶ月程度に)

身入り向上(>20g/個体)

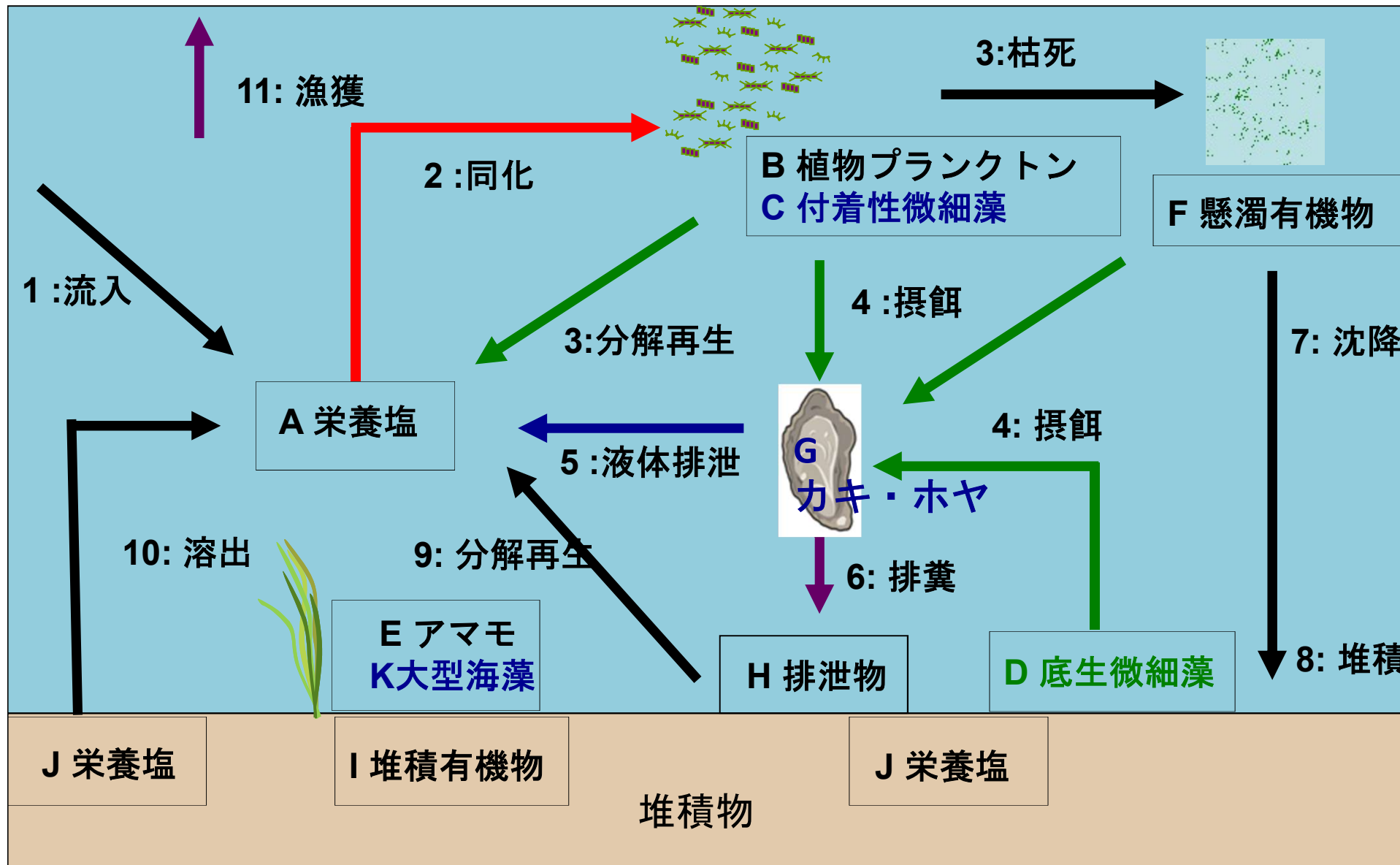
養殖筏密度減少により
生産性向上と環境
負荷の低減が実現

マガキ高齢化により、同化率低下、糞の有機炭素含有量上昇、酸素消費速度上昇。

里海活動

志津川湾の物質循環過程模式図

S13-2-(2)



A~Kは現存量、1~11はFlux : (単位時間、単位面積当たりの移行量)

● 流入河川定点, ● 志津川湾内定点

現地観測(15定点)

2014/7,10・2015/1,4,7,10・
2016/2

(2014/6~2015/3にStn.8,13,15
にて2週間に1度の定期採水)

計器観測 (YSI6600)

0・2・5～28 m

※5 m以降は5 m おき観測

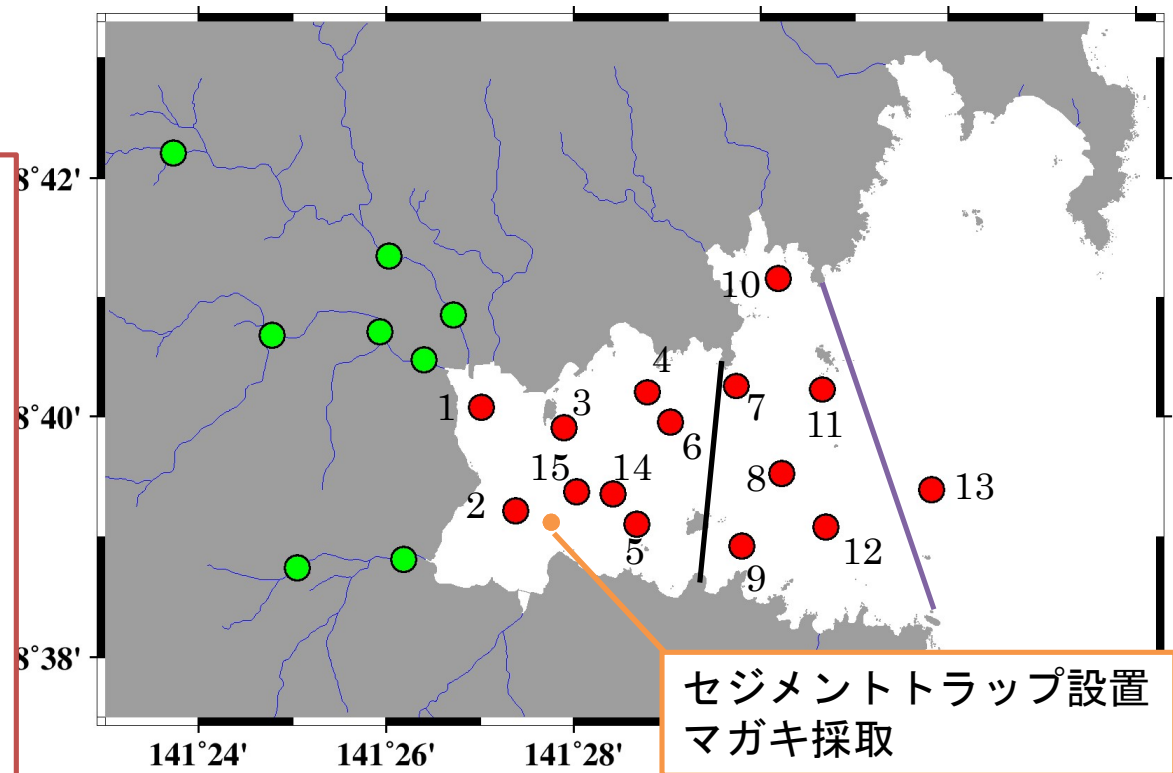
採水 (ポンプ・バンドン)

0 - 30 m

※5 mおきに採水

項目:

TS・Chl.*a*・NH₄-N,NO₂+NO₃-N(DIN),
PO₄-P(DIP)・CN



セジメントトラップ設置
マガキ採取

志津川湾奥部

13.8 km² (黒線より内側) と仮定

セジメントトラップ設置

2014/10～2016/8

24時間設置後回収



ADCP断面観測 (2015/10)

湾口部 (地図上赤線) にて断面解析

物質循環に及ぼすカキとマボヤの影響 S13-2-(2)

マガキは全国では約20万トンの生産があり、宮城県は5万トン前後で全国2位
宮城県におけるマボヤ養殖は全国の約9割、震災後の現在でも4000tの出荷
量(農林中金総合研究所, 2013)

沿岸域で垂下式養殖法により養成(宮城県, 2012)

大きなバイオマスは物質循環に影響



震災後のマガキ、マボヤ養殖業
の復旧加速が期待される(農林
中金総合研究所, 2013)

カキ殻表面やロープの付着藻類も
カキの餌として重要: 実験で定量

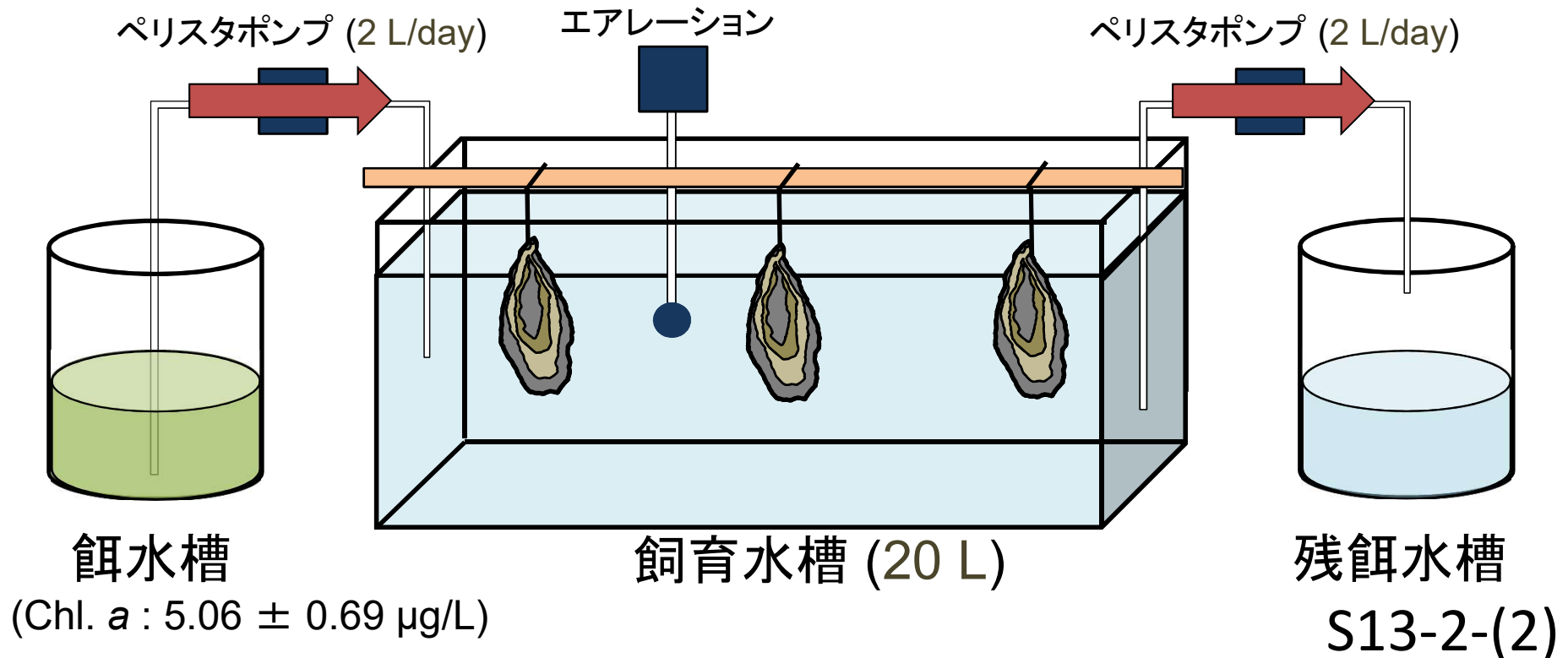
セルフガーデニング効果

物質循環に及ぼすマガキ・ホヤの影響の推定実験 給餌，無給餌実験による液体排泄栄養塩量の推定

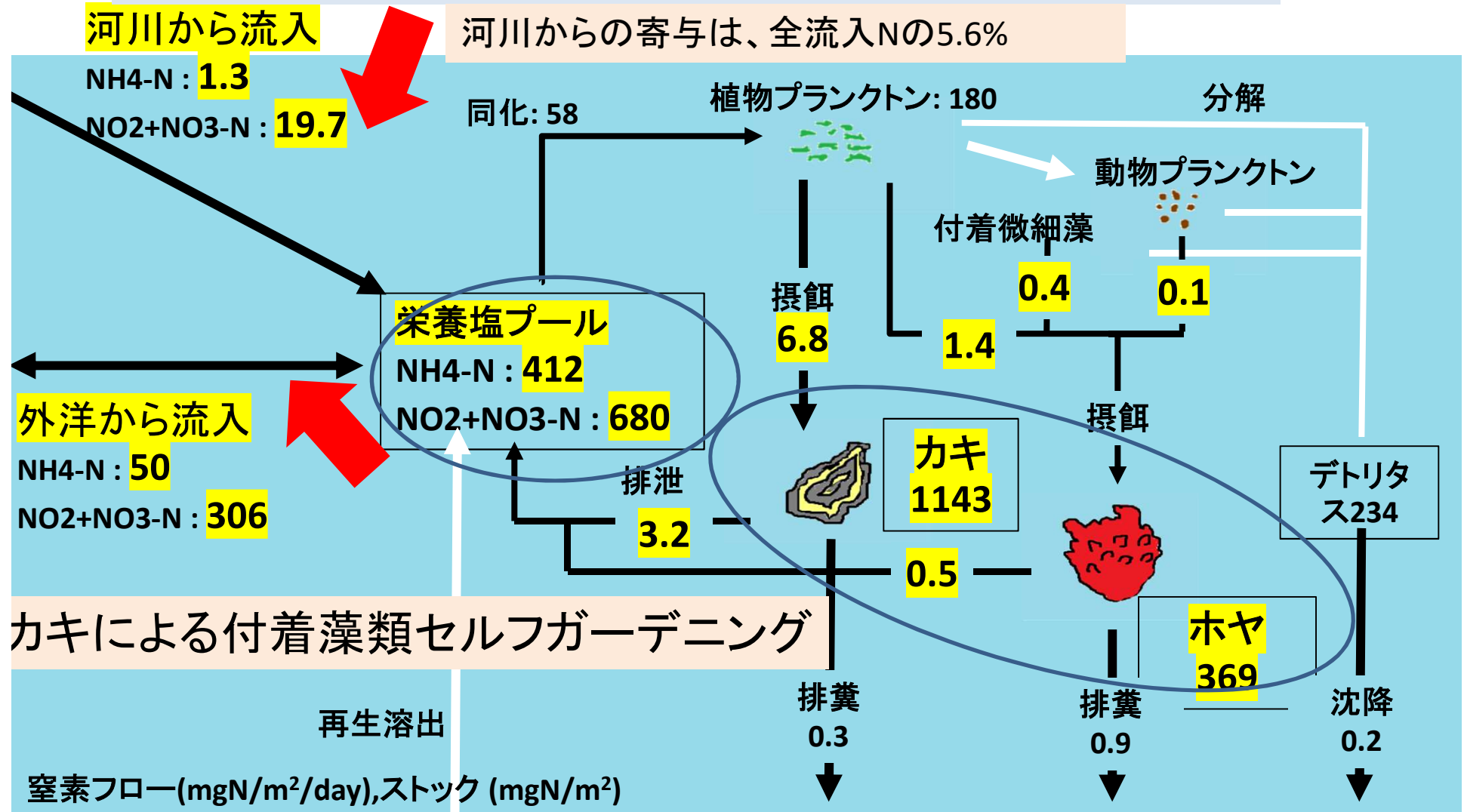
- ・ 濾過海水を入れた水槽で3日間培養 (糞粒を吐き出させる)

マガキの例

- ・ 濾過海水を入れた水槽にカキ3個体を吊るし，
餌飼料 (*Chaetoceros gracilis*) を供給 (2 L/day)



志津川湾における年間平均窒素循環図



湾内の栄養塩はおもに外洋から

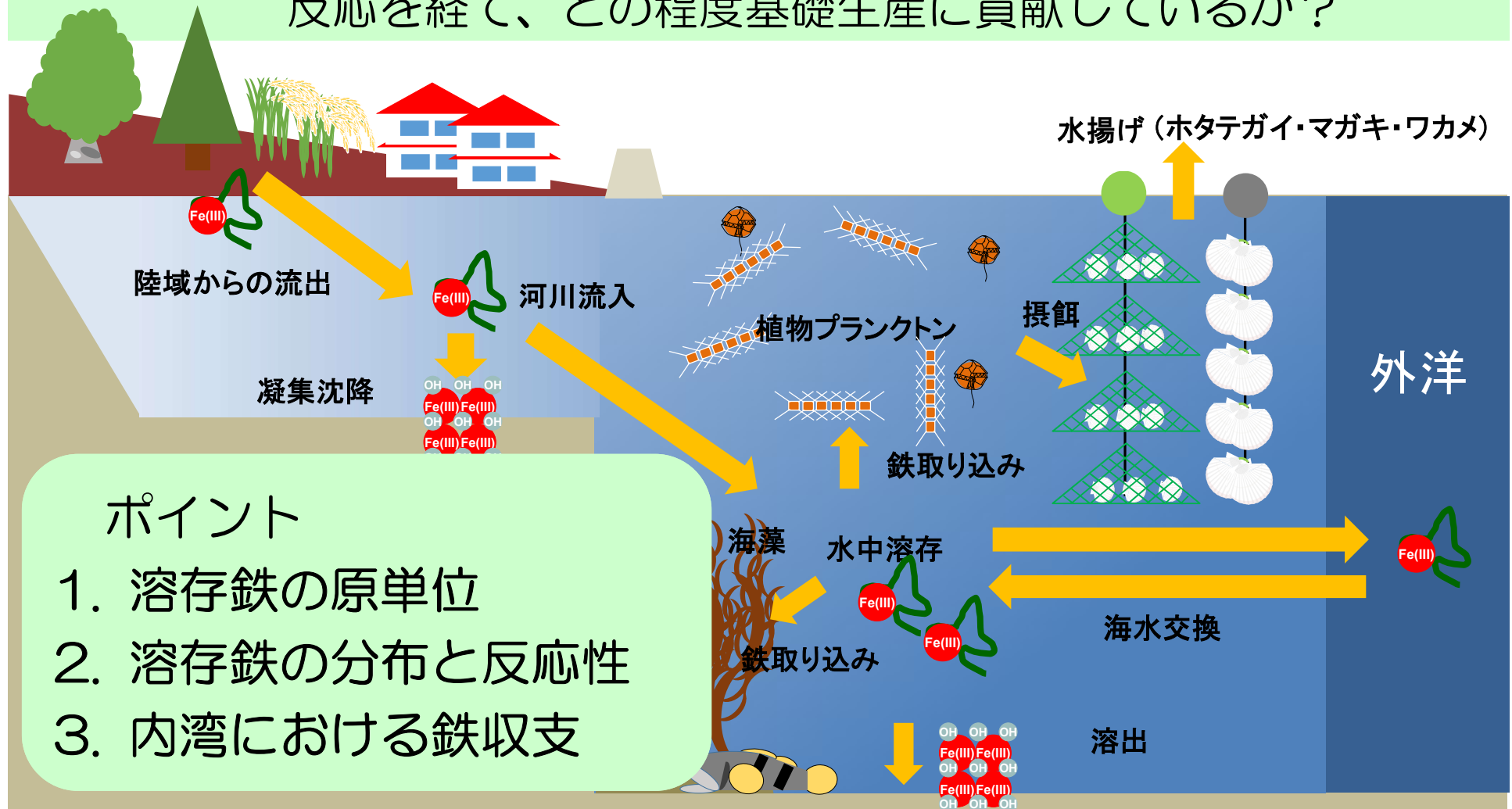
カキとホヤによる栄養塩の再生は餌中の窒素の約40%

堆積物

鉄仮説：森林から供給される有機鉄は沿岸域の基礎生産に貢献？

※溶存態の鉄はフルボ酸等の有機物と結合して存在する

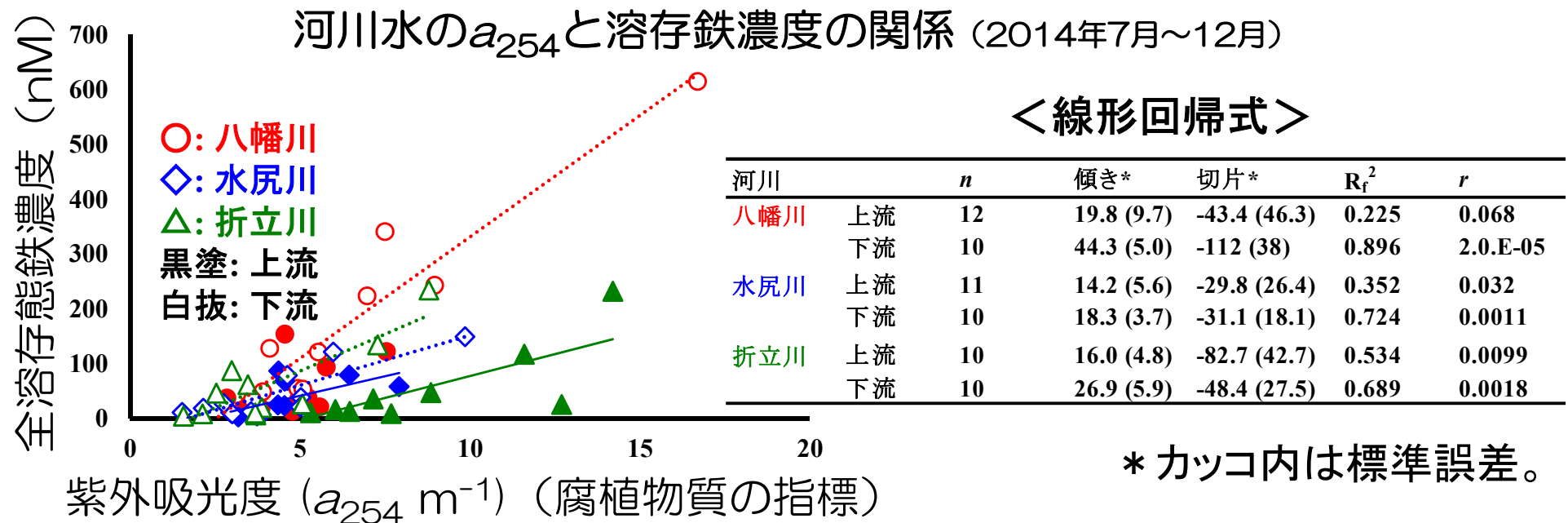
つまり、鉄輸送・化学動態・生物利用に関する定量的な評価は限定的
 → どのような土地から流出した鉄が、どのような経路・
 反応を経て、どの程度基礎生産に貢献しているか？



ポイント

1. 溶存鉄の原単位
2. 溶存鉄の分布と反応性
3. 内湾における鉄収支

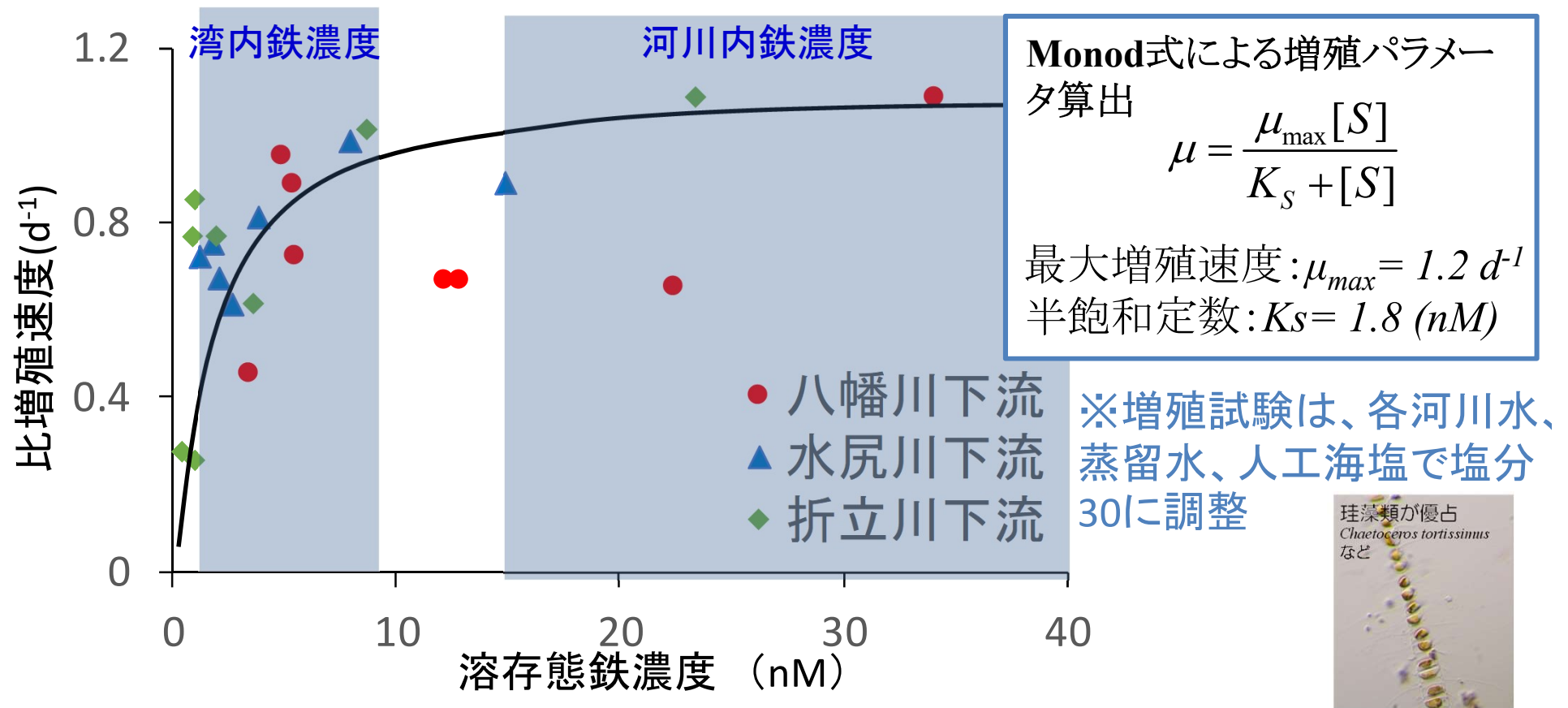
陸域由来有機物と溶存鉄との関係



- 八幡川と水尻川で、 a_{254} と溶存鉄濃度との間に有意な正の相関
⇒ 溶存鉄は主に腐植物質と結合した形で陸域から下流へ輸送
- 河川間で回帰直線の傾きに異なる傾向
⇒ 鉄の供給源となる森林土壌の特性(鉄含量や形態等)の違いや、他の供給源の混入の程度の違い等が要因

鉄濃度と珪藻 *Chaetoceros* sp. の増殖速度 河川水希釈実験

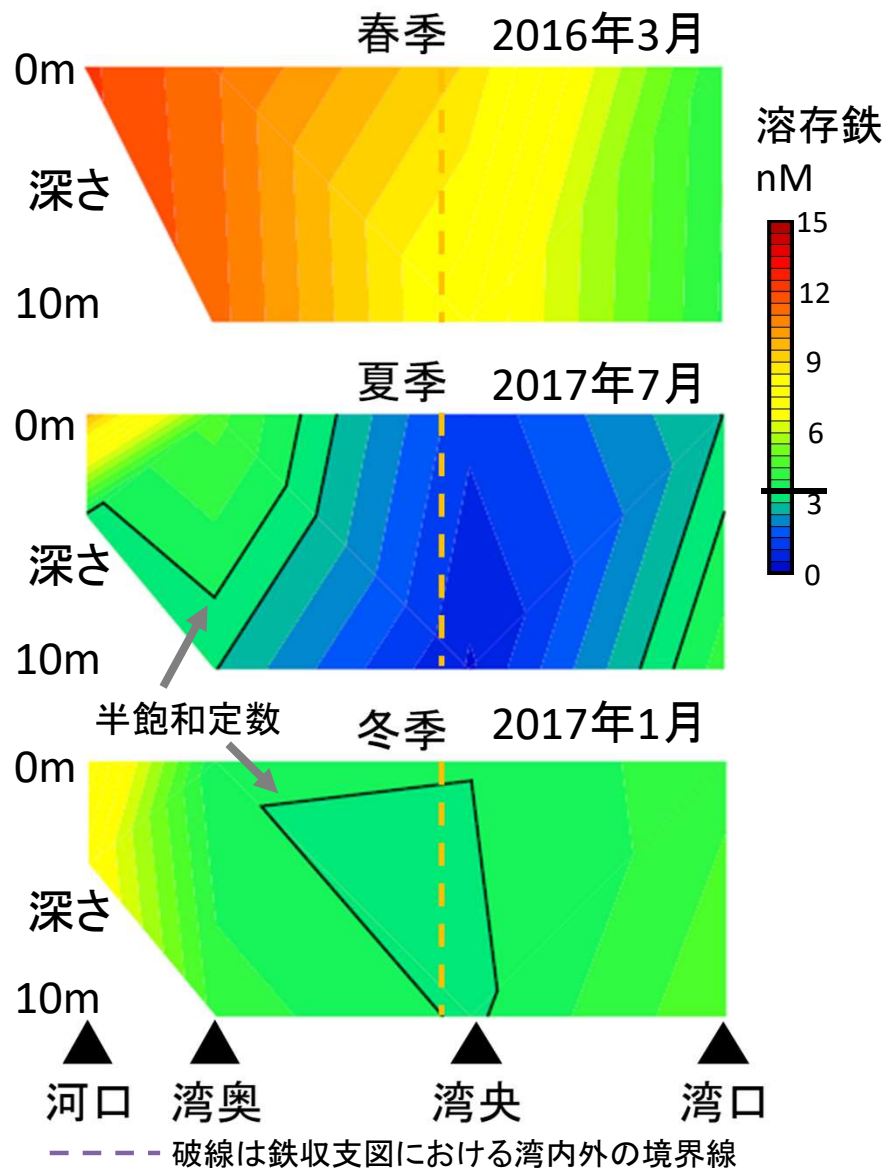
S13-2-(3)1



- 藻類増殖の半飽和定数 (K_s) は 1.8 nM で、河川の鉄濃度はこれより1桁高かった。→ 河川は高濃度の鉄を湾に供給
- 湾央・湾外の表層で K_s 値よりも溶存鉄濃度が低かった。→ 鉄による増殖制限の可能性

志津川湾における溶存鉄の濃度分布 S13-2-(3)1

溶存鉄濃度の分布



溶存鉄濃度

河川： 90 ± 118 nM

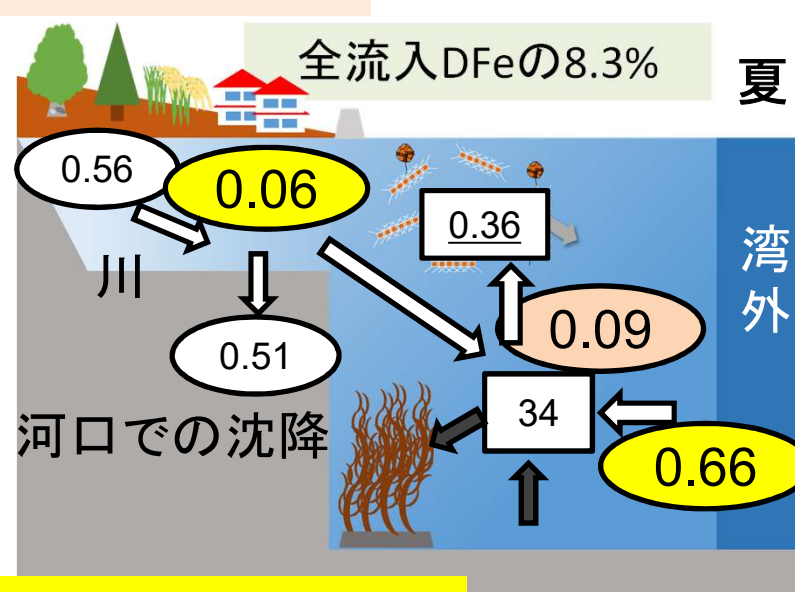
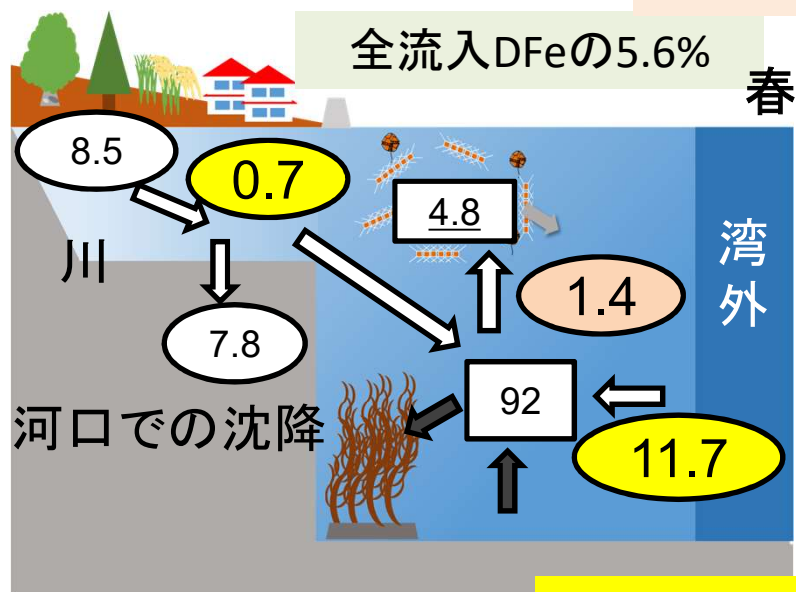
湾内： 6.7 ± 4.1 nM

珪藻の半飽和定数： 3.5 nM

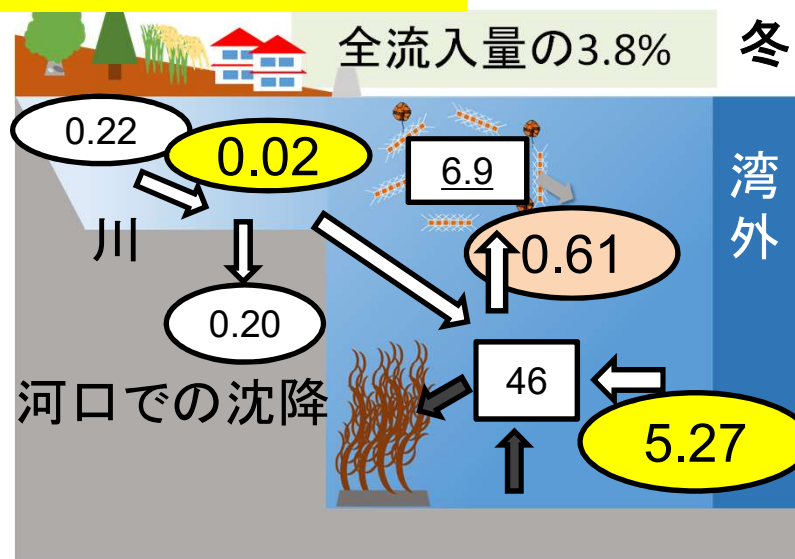
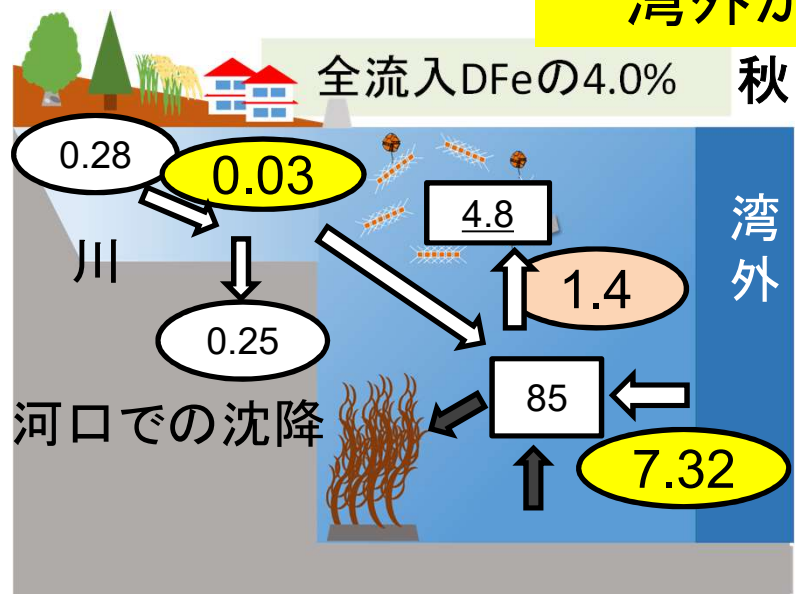
- 塩分と鉄濃度間に負の相関
- 湾央で半飽和定数以下に
(夏季、冬季)
- 冬季に A_{254} と鉄濃度に正の相関
→ 陸域有機物の役割が季節的に変化

志津川湾における鉄の収支 (DFe flux in kg day⁻¹) S13-2-(3)1

河川からの寄与は年平均5.4%

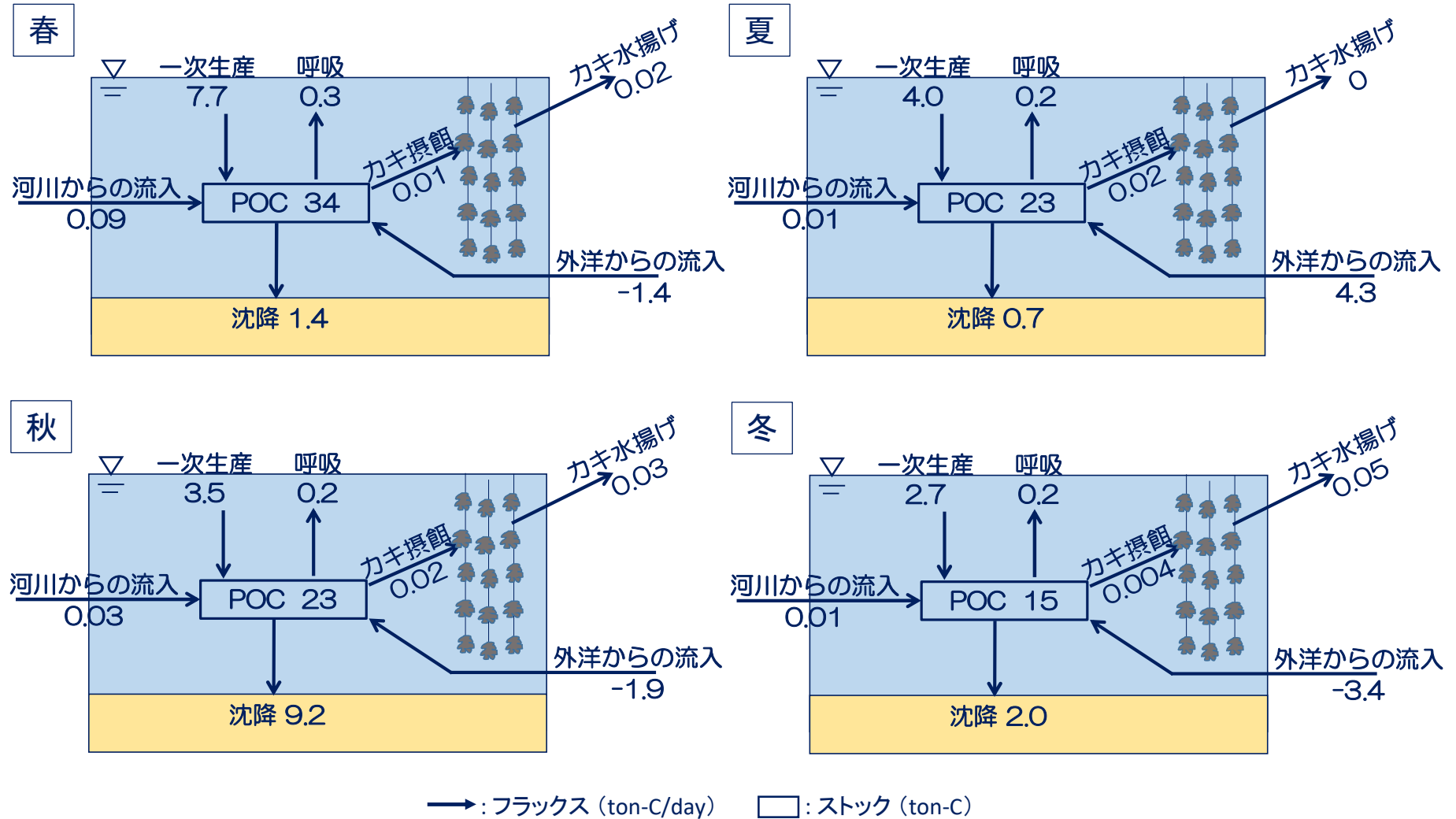


湾外からの寄与が大きい



流域起源粒状有機物の流入と養殖カキによる利用

□ 湾奥部(約14km²)における粒状有機物の各種フラックスの比較



✓ 年間を通じて、一次生産はカキの摂餌や河川からの流入に比べかなり大きい

「森は海の恋人」仮説検証

S13-2

開放性内湾では窒素栄養塩律速で、河川の貢献は外洋よりも小さい

河川由来の溶存有機態鉄の鉄フラックスへの寄与は外洋よりも小さい

河川由来の有機物は、湾内で生産される有機物よりも量的に少ない

森は海の友達！？



森林の多面的機能の重要性：

出水、淡水の大量流入、土砂の流入を防ぐ！

手入れをしない針葉樹林よりも広葉樹が多面的機能を発揮？

第1回志津川湾の将来を考える研究会開催

1. 日時 2015年4月30日(木曜日)14時30分から17時
2. 場所 南三陸町平磯の公民館(和室)
3. 主催 「志津川湾の将来を考える研究会」実行委員会
4. 参加者: 漁業者約16名, 宮城県関係3名, NHK1名, 海洋大1名, 組合3名, 南三陸町2名, WWF1名, 本プロジェクト8名
5. 目的 本プロジェクトの結果の紹介とそれをもとにした、地元漁業者、自治体関係者、環境NPOとの志津川湾の将来の海洋環境に対する意見交換



S13-4、S13-5、WWF、
南三陸町も発表

その後協議会と改称

第2回 2016年5月16日

第3回 2017年1月16日

第4回 2017年10月11日

第5回 2018年7月31日

第6回 2019年3月12日予定

総括班の生態系シミュレーションによる 志津川湾の海洋環境の再現と予測

総括班、組合、南三陸町、県と協働でCo-design

再現:

現在の志津川湾の状況再現によるモデルの検討
津波前の志津川湾の状況

予測:

養殖筏の台数と配置
陸域の土地利用(森林など)
による海洋環境と漁業の持続可能性を検討

2015年7月14日志津川湾の生態系シミュレーションモデル構築についての打ち合わせ

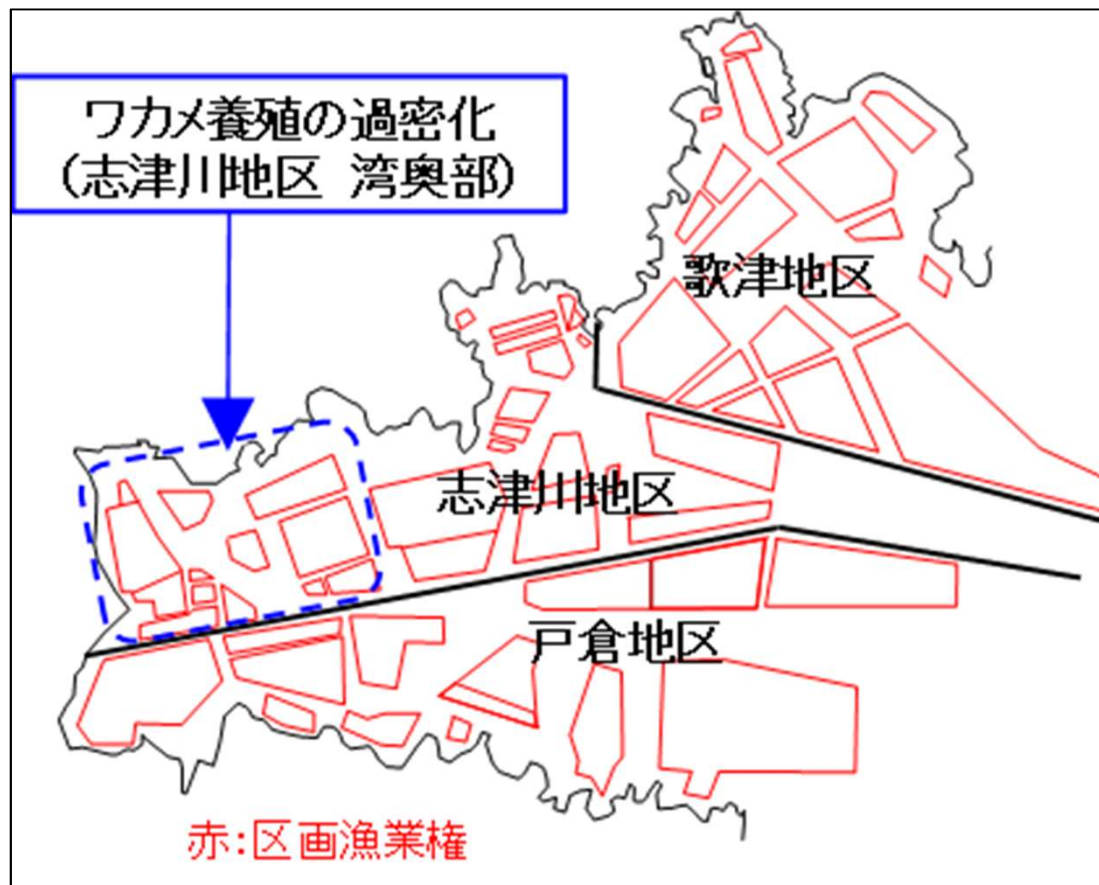


南三陸町役場会議室での、南三陸町、宮城県漁連志津川湾運営協議会、S13-2班メンバー、S13-5モデル班による議論

筏の台数や配置など地元の知りたいことをシミュレーションで探る

第5回 2018年7月31日の協議会 湾奥部のワカメの過密養殖

ワカメ葉部の色落ち



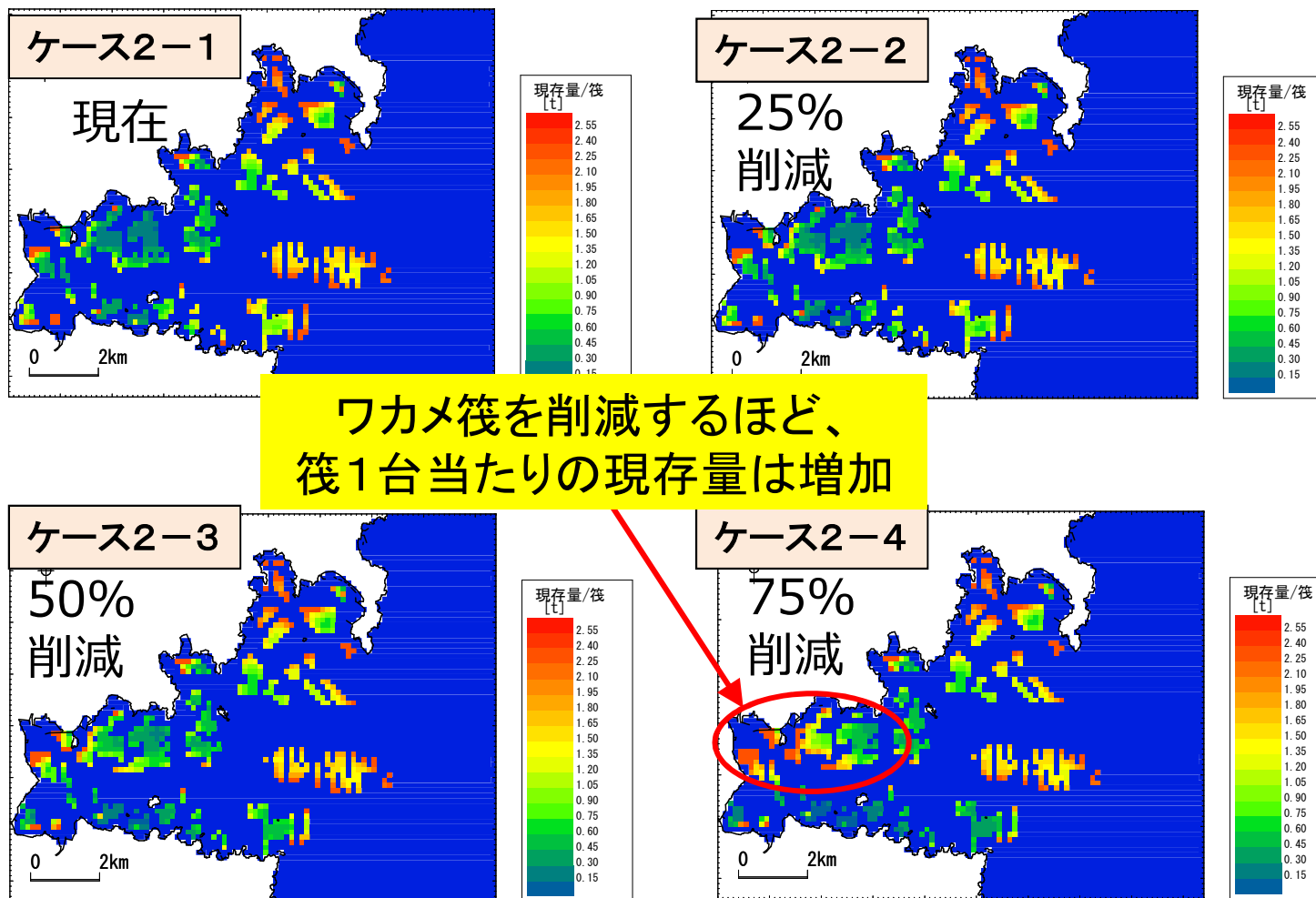
4つのシナリオ

- 現状維持
- 25%削減
- 50%削減
- 75%削減

湾奥部のワカメ養殖筏台数を変化させたときの筏1台あたりワカメ収穫量の変化予測

S13-2
S13-5

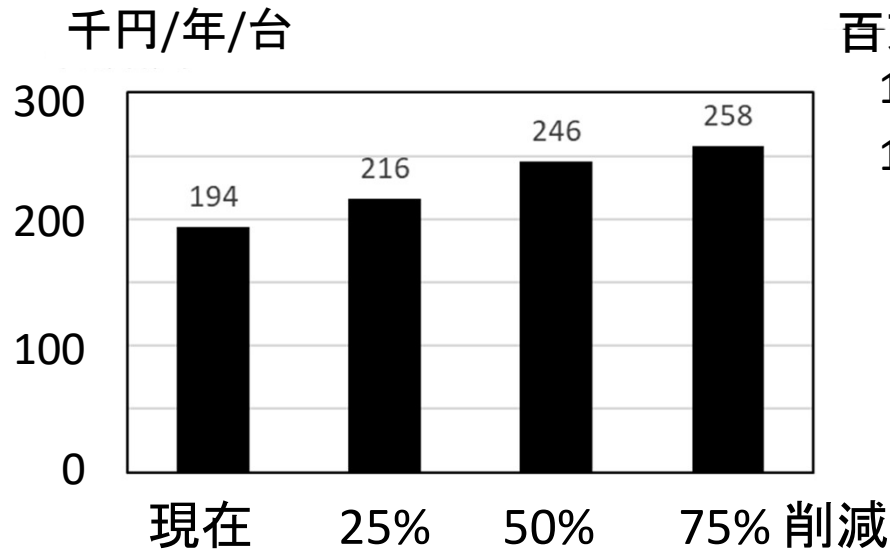
※ 3月末時点



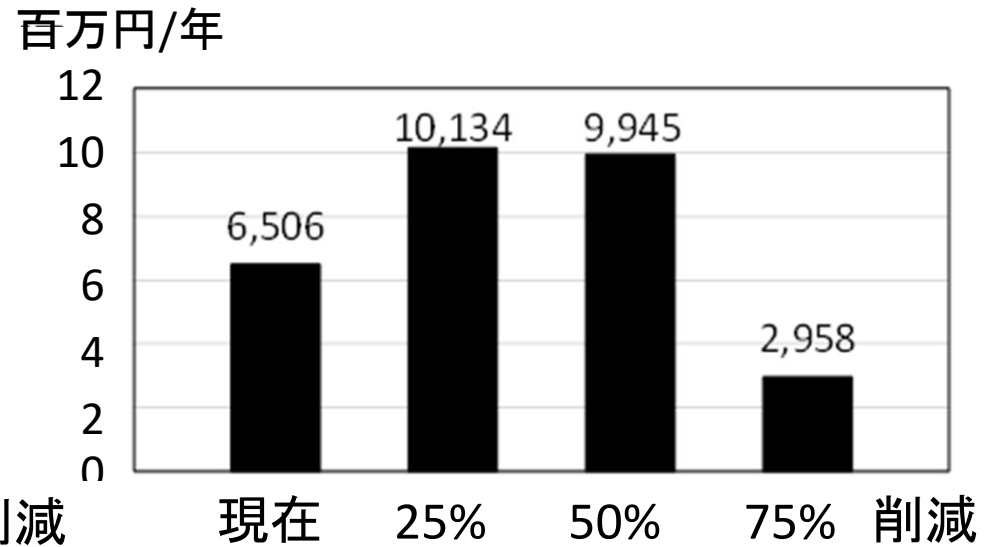
山本 裕規, 吉木 健吾, 小松 輝久, 佐々 修司, 柳 哲雄, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2018, 74 巻, 2 号, p. I_1279-I_1284

ワカメ養殖シナリオによる収入の変化

S13-2
S13-5



湾奥部ワカメ筏1台当たり水揚高



湾奥部ワカメ養殖の総収益



ワカメ筏を現状から25%削減で最も収入が上昇

協議会での議論で漁業者の経験知と一致

ワカメ筏削減による湾奥部の流動環境改善
より持続的で健全な海洋環境へ

志津川湾における海洋環境管理法

- 科学的データ(現場調査とシミュレーション)による海洋環境と環境収容力の推定
- 科学的データをもとにした漁業者、自治体、WWF、科学者など関係者による協議会でのボトムアップの議論
- 持続的な生産と健全な海洋環境を実現する人手のかけ方、里海手法の適用

エコラベルなどの国際認証

FSC認証取得：2015年10月7日南三陸森林管理協議会 S13-2

よきことを、よきひとへ。被災地復興に取り組む人のための業界新聞



「提案できる林業」を目指して。南三陸町が県内初のFSC森林認証を取得

株式会社佐久（南三陸森林管理協議会）

南三陸町で代々森林経営・林業を営む佐久（さきゅう）。佐藤太一さんは12代目。「バイオマス産業都市構想」を掲げる南三陸町で、林業のあり方を見直し、さまざまな新しい取り組みを進めています。佐久が所属する南三陸森林管理協議会では、2015年に国際環境認証FSCを取得。持続可能な森林運営に力を入れています。



原則1：合法性

- 商標・法人登記
- 土地の所有・使用権
- 納税
- 違法行為への対策
- 汚職防止

原則2：労働者の権利

- 男女平等
- 教育訓練
- 安全衛生
- 労働災害補償
- 雇員賃金

原則3：先住民族の権利

- 先住民との協議
- 重要な場所の特定・保護
- 伝統的な権利の保障
- 知的財産の保護

原則4：地域社会との関係

- 地域の利害関係者との特定
- 地域経済への貢献
- 地域社会との協議
- 公正な補償

原則5：森林からの便益

- 利用資源の多様化
- 持続可能な資源採取
- 地元サービスの優先
- 健全性

原則6：環境

- 環境影響評価
- 河川・溪流の保護
- 絶滅危惧種やその他の生物種の保護
- 自然の森の転換の禁止
- 原生林の保護

原則7：管理計画

- 理念と方針
- 目標の設定
- 具体的計画の作成
- 管理計画の公開
- 利害関係者の関与

原則8：モニタリング

- 方法の決定
- システム実施の記録
- 評価結果の計画への反映
- 保護のための方針と活動計画
- HCVのモニタリング

原則9：高い保護価値(HCV)

- 関係者との協議
- 保護のための方針と活動計画
- HCVのモニタリング

原則10：管理活動の実施

- 種実な更新
- 虫害等の優先使用
- 遺伝子組換え生物の不使用
- 肥料、農薬、生物学的防除の制限
- 有害動物の処理
- 土壌保全

FSC FORESTS FOR ALL FOREVER

FSC 認証とは環境保全の点から見ても適切で、社会的な利益にかなない、経済的にも継続可能な森林管理を理念とする認証（里山と一致）

ASC認証：筏データ提供

S13-2

社会貢献Co-design, co-production, co-delivery

河北新報
ONLINE NEWS

2016年3月30日

カキ養殖場に国際認証 南三陸で国内初取得



ASCの国際認証を取得した養殖場から 収穫したカキ＝30日、宮城県南三陸町戸倉

宮城県南三陸町戸倉のカキ養殖場が30日、環境に配慮した養殖を後押しする水産養殖管理協議会（ASC、本部オランダ）の国際認証を国内で初めて取得した。東日本大震災で養殖施設が被災したことを受けて実施した、養殖いかだを大幅に減らす漁場改革が奏功した。生産者や町は「南三陸ブランド」としてカキを国内外に売り出す考えだ。

認証を受けたのは、県漁協志津川支所戸倉出張所のカキ部会37人が所有する志津川湾の養殖いかだ305台。県漁協が昨年10月、ASCに申請し、周辺の環境状況、労働環境などの審査を受けた。

カキ部会の後藤清広会長（55）は「被災地の新しい取り組みが認められてうれしい。認証取得がゴールではないので、今後も高品質のカキづくりを目指す」と話している。

宮城県漁業協同組合志津川湾運営委員会、
WWFとの協働

持続可能で適切に管理された養殖場を認証

ラムサール条約登録申請 藻場分布データ提供：藻場としては国内初

朝日新聞デジタル > 記事

2018年10月18日

宮城) 南三陸「志津川湾」がラムサール条約に登録

佐々木達也 2018年10月20日03時00分



寒海性のマコンブの藻場＝宮城県南三陸町の志津川湾、宮城県南三陸町提供

宮城県 南三陸町の「志津川湾」が国際的に重要な湿地を守る「ラムサール条約」に登録された。藻場の多様性や、希少な水鳥の重要な越冬場所であることが評価された。海藻の藻場としては国内初、震災後の被災地としても初の登録だ。町は一帯の保全とともに、利用方法を検討する。

登録されたのは18日で、志津川湾とその周辺の5793ヘクタール。三陸復興国立公園の海域公園地区でもある。



南三陸町と協働

登録されたポイントの一つが、多様な海に
繁茂する藻場の特殊性だ。寒い海に

湿地の「保全(・再生)」と「**ワイズユース(賢明な利用)**」、これらを促進する「**交流、学習(CEPA)**」が条約の基盤となる考え方



CONVENTION ON WETLANDS

(Ramsar, Iran, 1971)

里海手法による沿岸域管理

国際エコ認証・登録で山、藻場、海をつなぐ！
適切な人手のかけ方、里山、里海！

山：FSC

藻場：RAMSAR

海：ASC

つながる
FSC
Ramsar
ASC

物質循環

太く長くスムーズな物質循環実現



つなげよう、
支えよう
森里川海

環境政策への貢献

- リモートセンシングによる沿岸環境監視が三陸復興公園および内湾における遷移する海洋環境把握に貢献することを提示
- 栄養塩解析で網羅的・系統的分析による開放的内湾における栄養塩循環の全体像解明。海洋環境基準への貢献
- 溶存鉄解析で開放性内湾における溶存鉄動態の全体像解明と原単位推定
- 粒状有機物解析で、開放性内湾における粒状有機物動態の全体像解明
- 「森は海の恋人」の仮説について定量評価
- カキ養殖における環境負荷の少ない若齢出荷、筏削減の根拠提供。海洋環境基準づくりへの貢献
- ウニ漁業など適切な漁業（里海手法）が、生物生産と生物多様性の維持に貢献することを提示
- 地元漁協、自治体、WWF、科学者が科学的知見を共有し、海洋環境とともに考え、ともに活動する協議会の経験は環境行政に貢献
- 生態系モデルによる将来予測の有効性を協議会で確認
- 山と海のエコラベル・RAMSAR湿地国際認証で健全な沿岸環境実現に貢献することを提示

本研究成果を応用できる内湾

開放性リアス式内湾では流量の多い河川は少ない
開放性リアス式内湾ではカキ、真珠貝、ホタテなどの貝類養殖が盛ん
開放性リアス式内湾では外洋の影響を大きく受け、窒素栄養塩が植物プランクトンの生産を律速



三重県英虞湾など



愛媛県御荘湾など

日本海側、東シナ海側にも開放性リアス式内湾が分布

ありがとうございました



<http://www.jarl-chiba.com/2009/%E5%A4%A7%E6%A9%8B%E4%BA%8B%E5%8B%99%E5%B1%80%E9%95%B7/%E8%8A%B120.htm>