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 森ー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 森ー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）

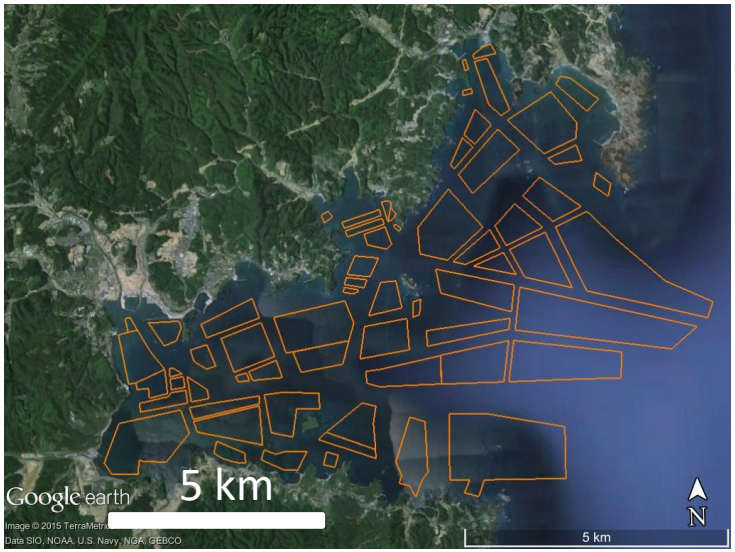
研究開発目的

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。

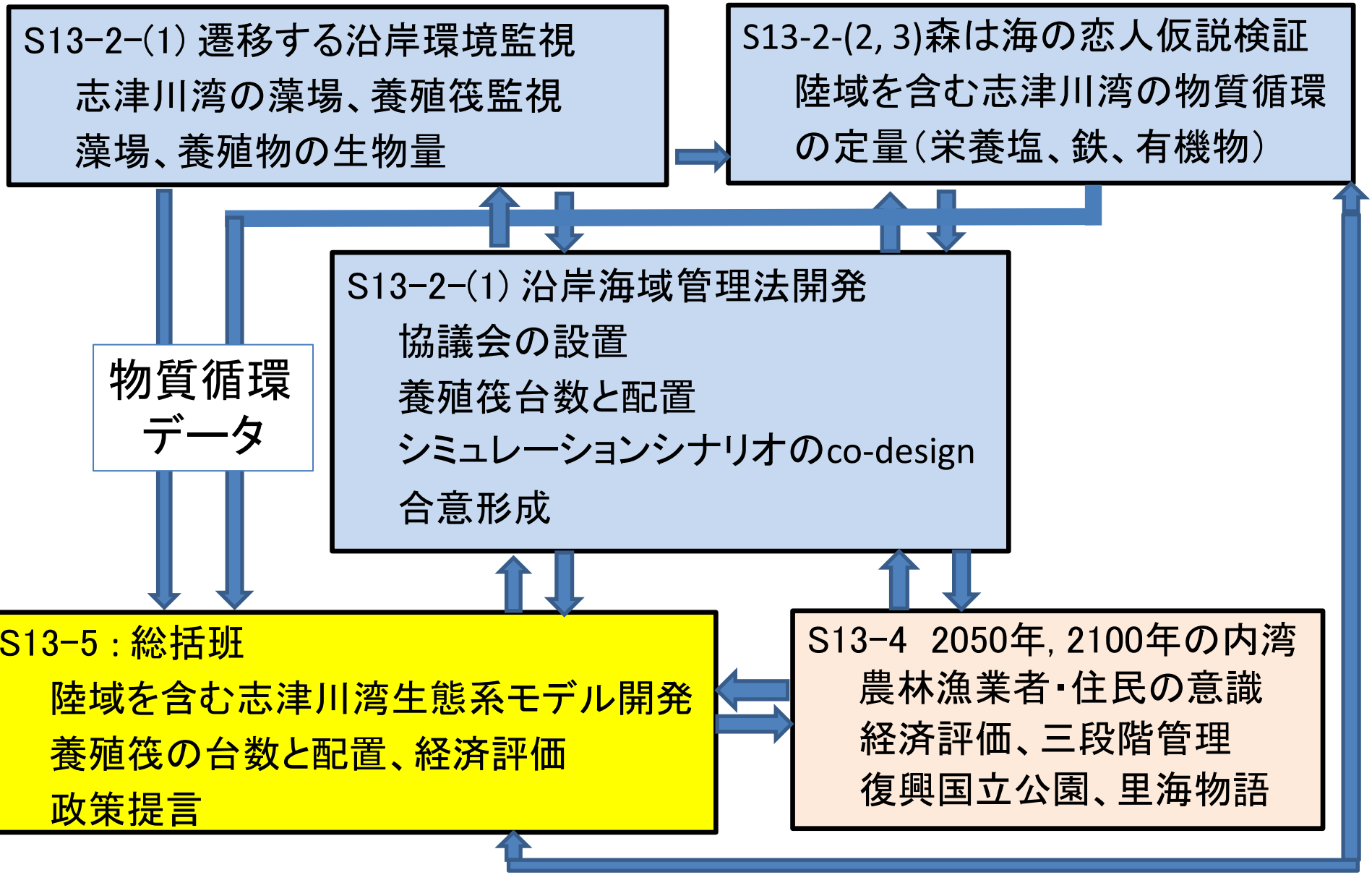
大津波の後、なぜ志津川湾を調べたのか?

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）

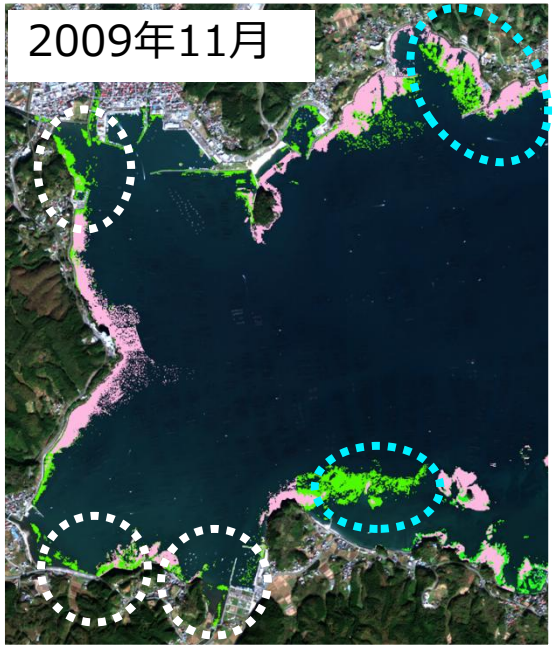
- 三陸の典型的なリアス式の湾
- 適度な大きさの湾
- 南三陸町内で閉じる集水域
- 自然と共生する町を目指す

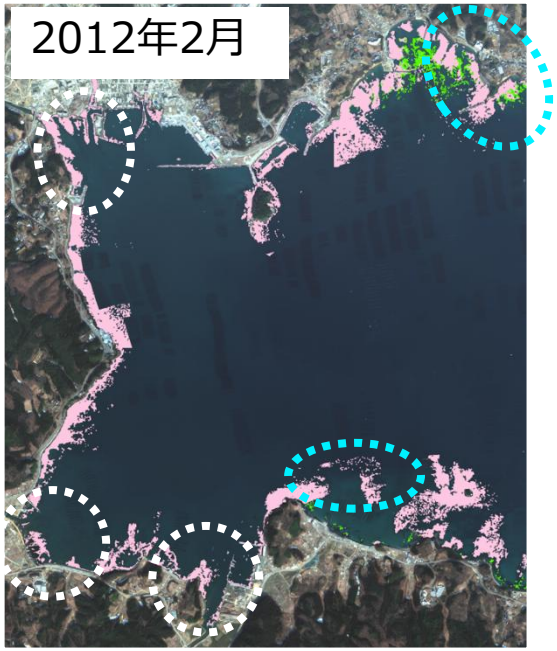


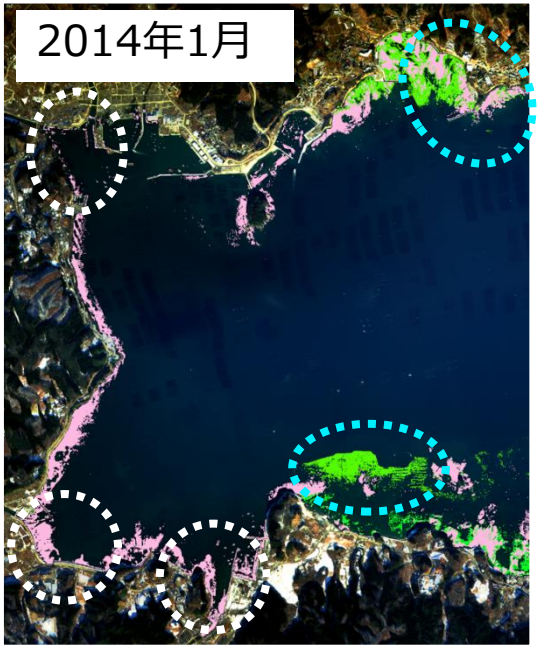
S13-2サブテーマ、S13-4、S13-5の関係



衛星画像解析による志津川湾藻場回復過程の監視





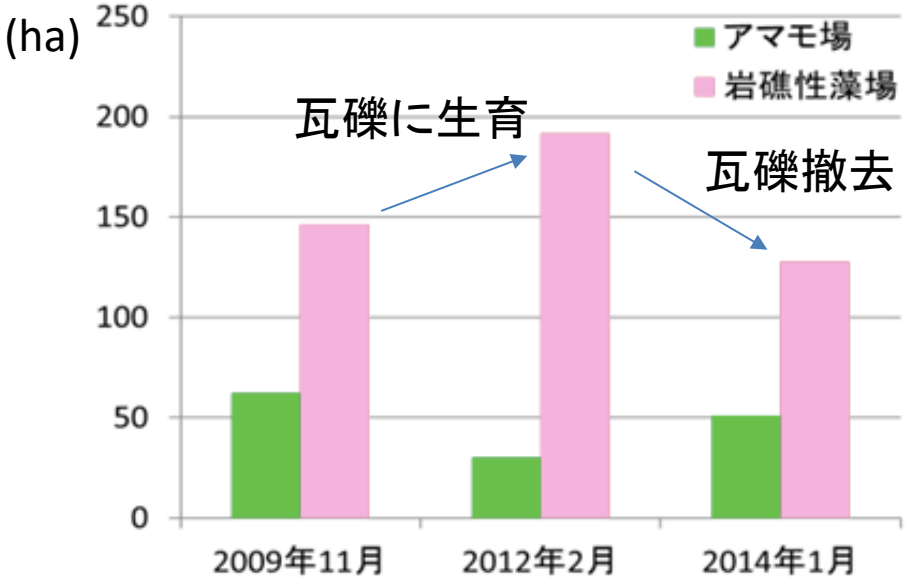


アマモ場

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

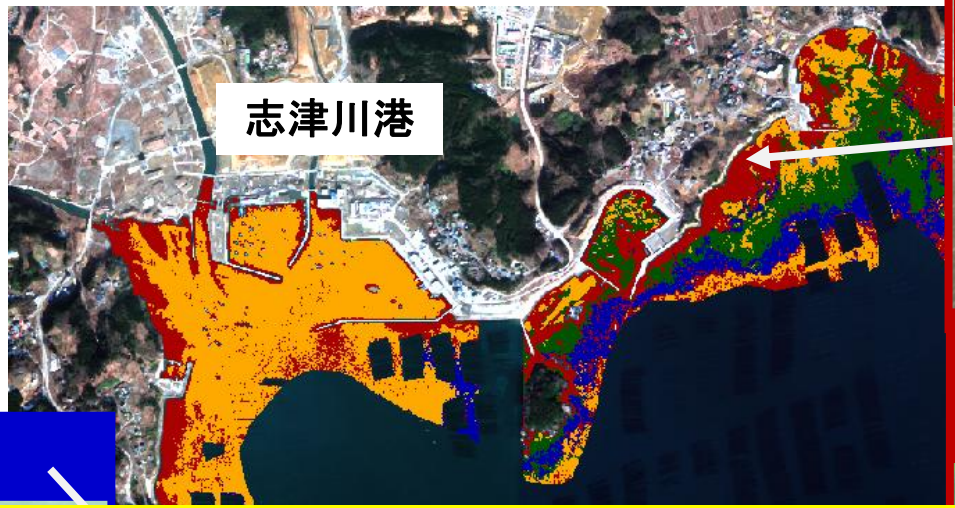
アマモ場が回復していない海域
（湾奥・河口域）



衛星画像解析による磯焼海域の可視化

S13-2-(1)

2014年から各所でウニによる磯焼けの発生



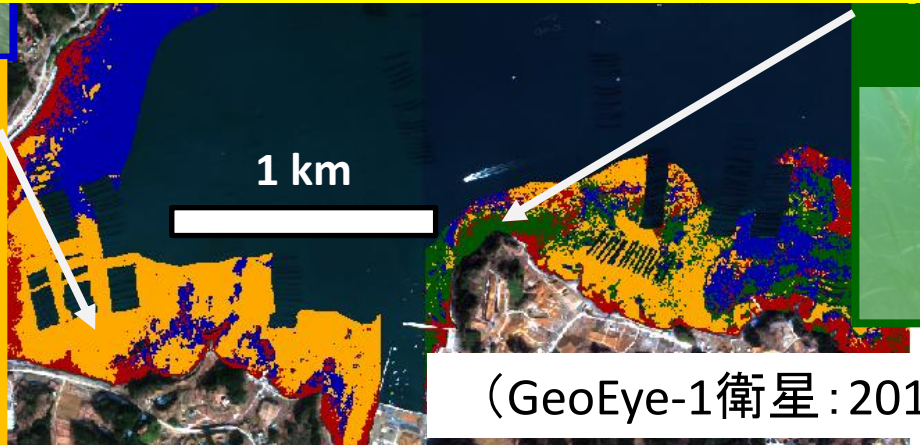
岩礁性藻場（ホンダワラ類）　・アカモク等

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

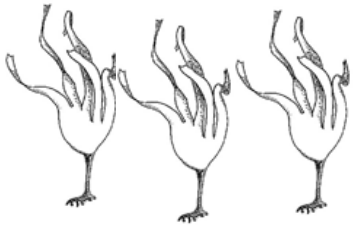
砂泥



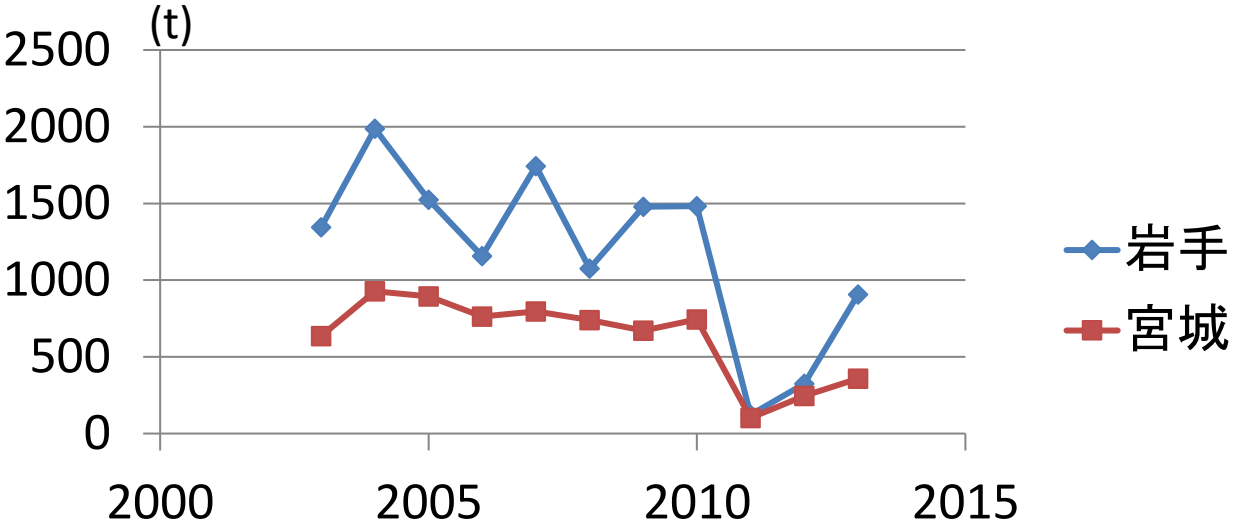
・アマモ
・タチアマモ

（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



捕食者としての人間活動
の停止による爆発的増加

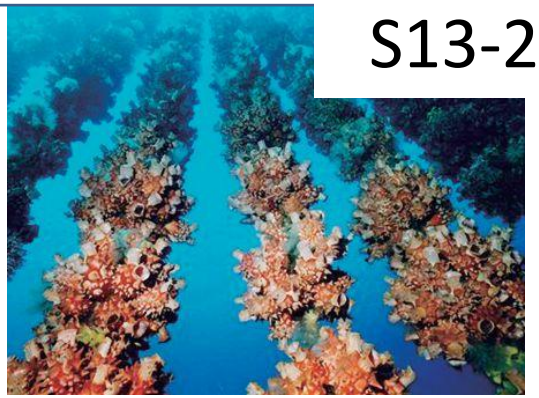


ウニ漁獲量　　農林水産統計

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

Trophic cascade　栄養カスケード　　2015年1月椿島西側

S13-2-(1)



主に延縄式による通年養殖　　カキ、ホヤ、ホタテ

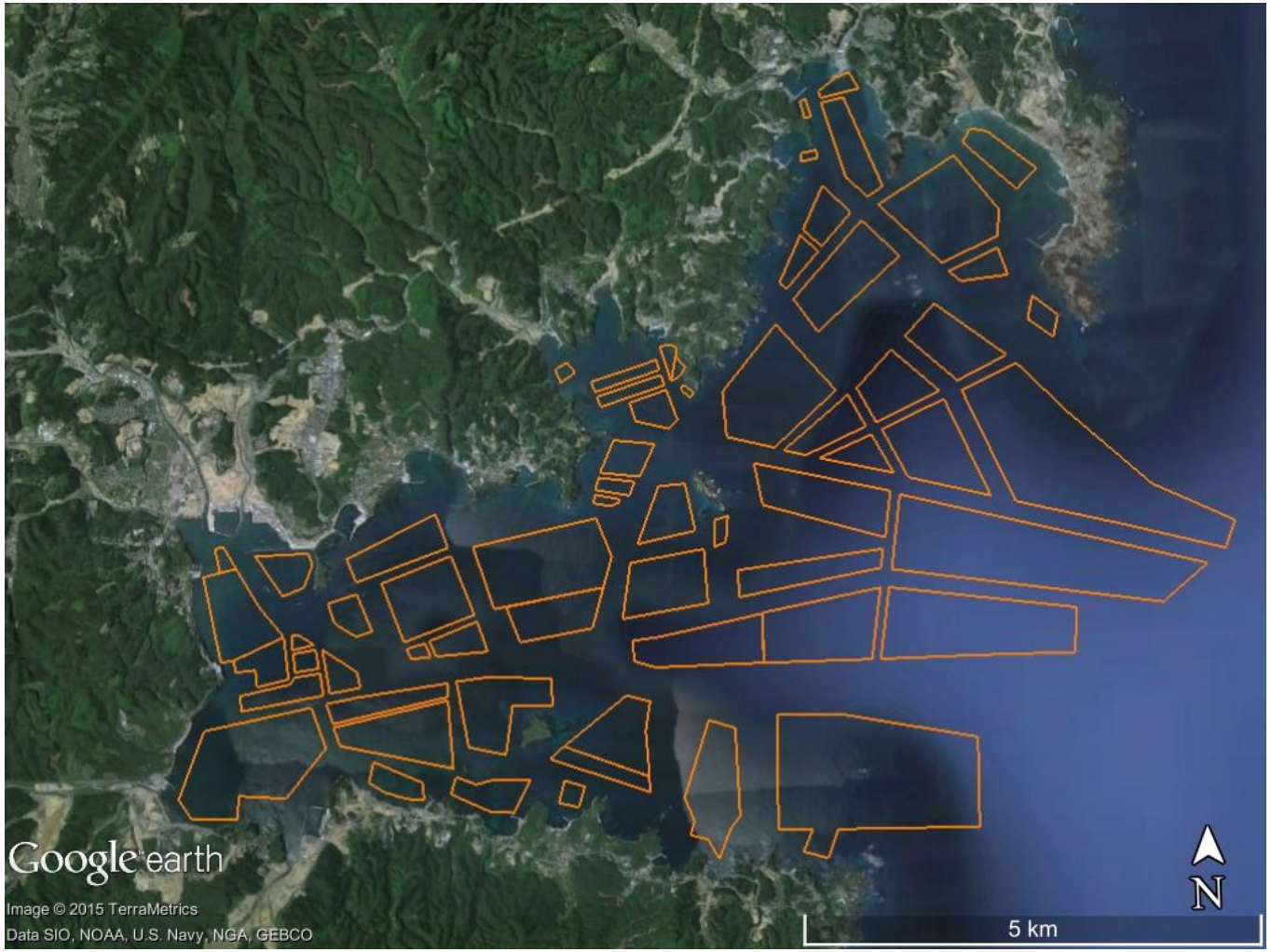
10月から4月まで延縄式ワカメ養殖

無給餌養殖

秋から夏まで八角形（1辺6.5 m）の生け簀でのギンザケ養殖

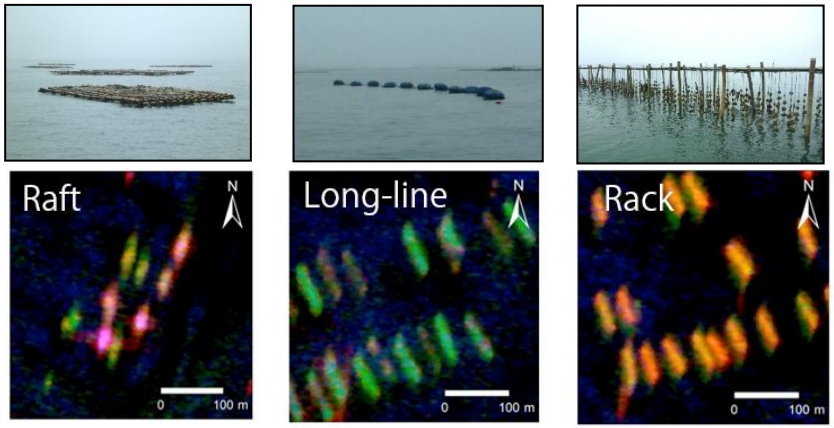
給餌養殖

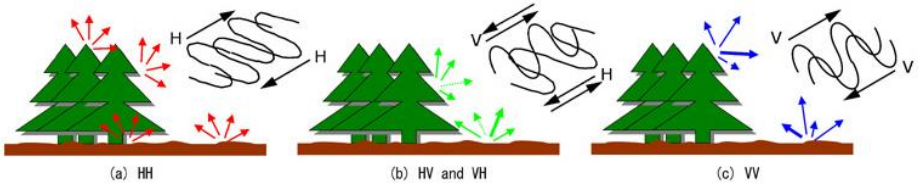
県知事は区画漁業権の免許を与え、各組合が管理
しかし、どこに筏が分布するかunknown



沿岸環境の監視手法開発
Pi-SAR L2による高空間分解能全偏波SARによる筏分類

S13-2-(1)

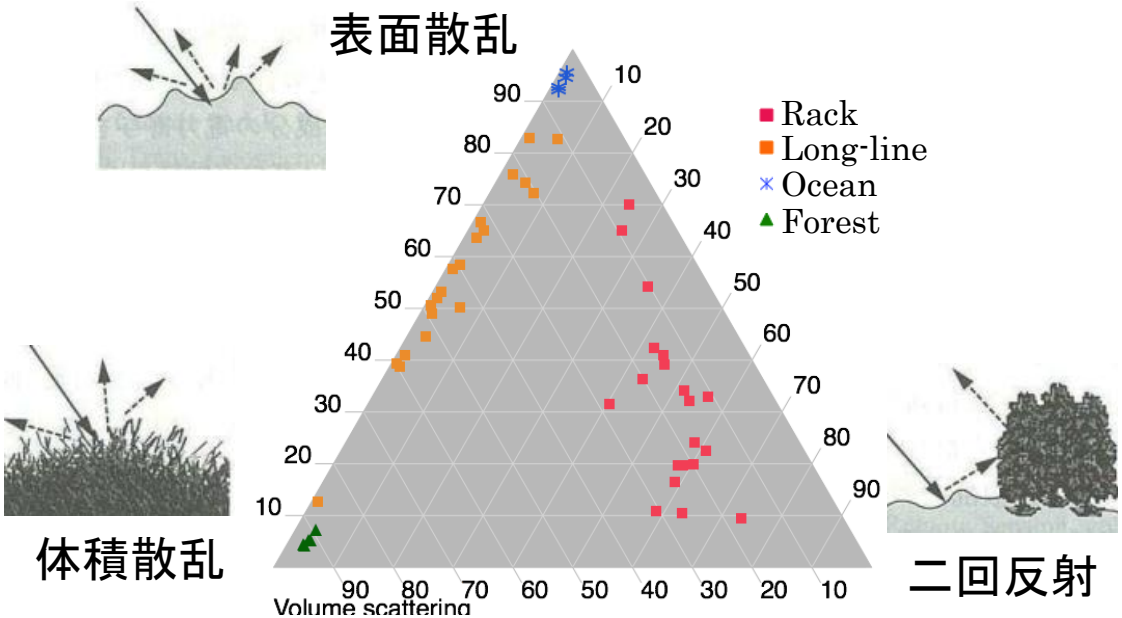


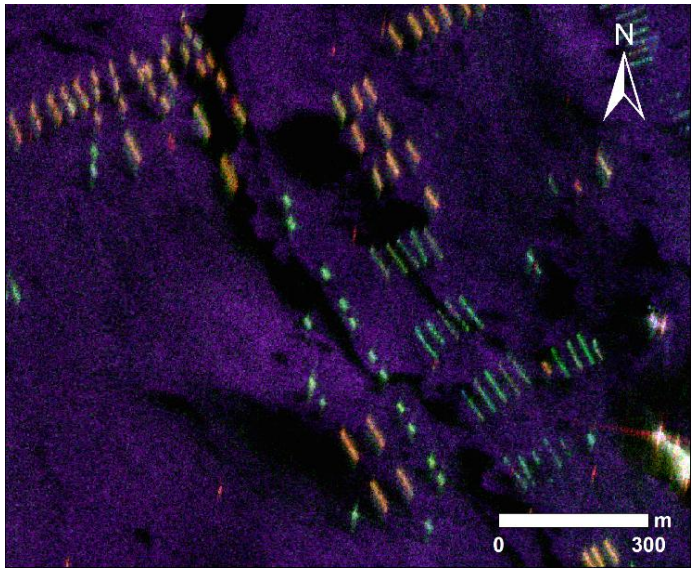


HH　　HV　VH　　VV

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

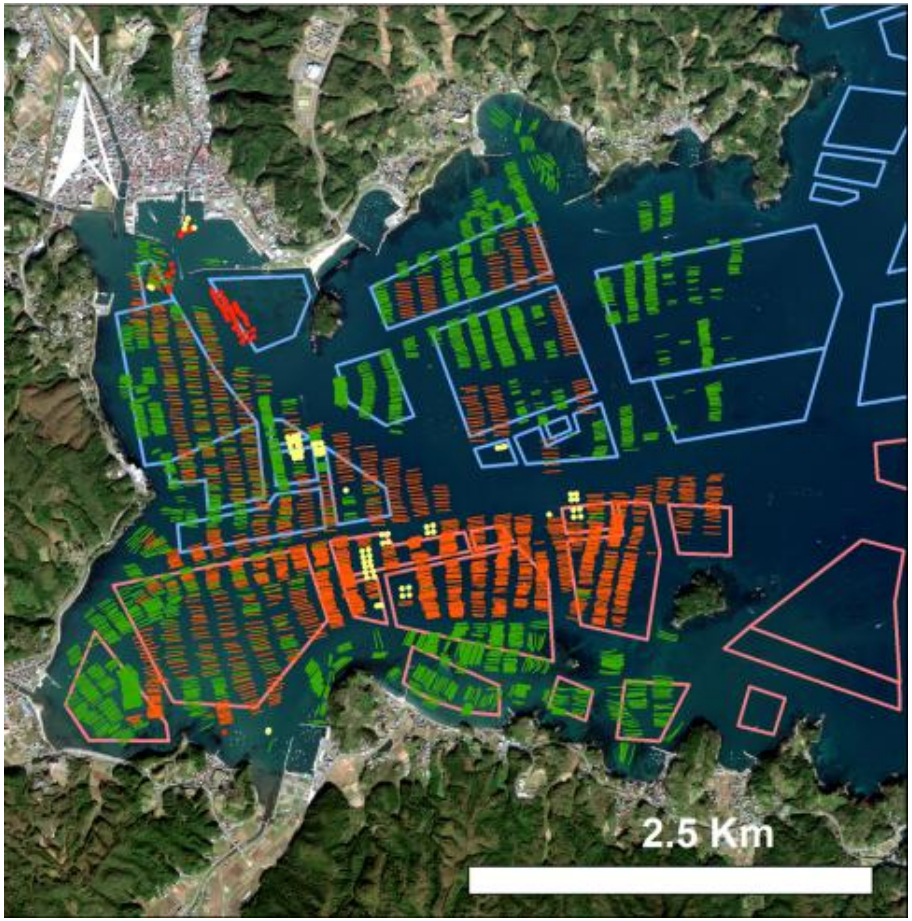




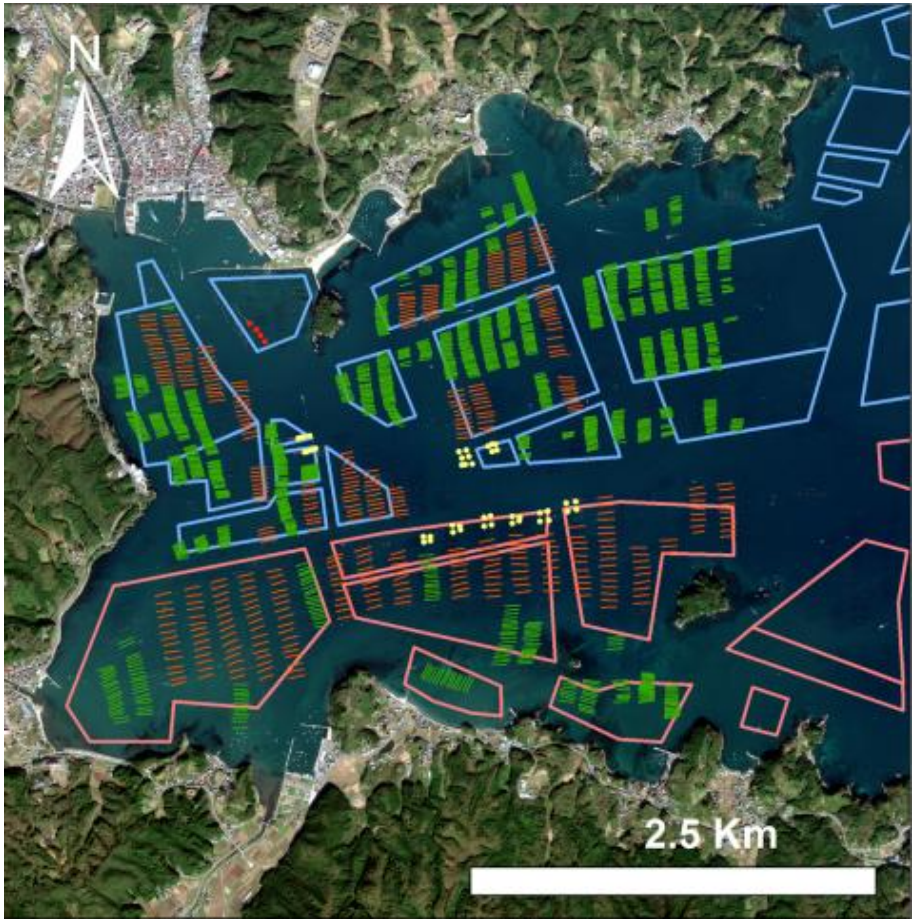
3成分散乱モデル分解（Freeman and Durden, 1998）

衛星画像パンシャープン解析による湾奥・湾央部養殖筏分布位置の特定

S13-2-(1)



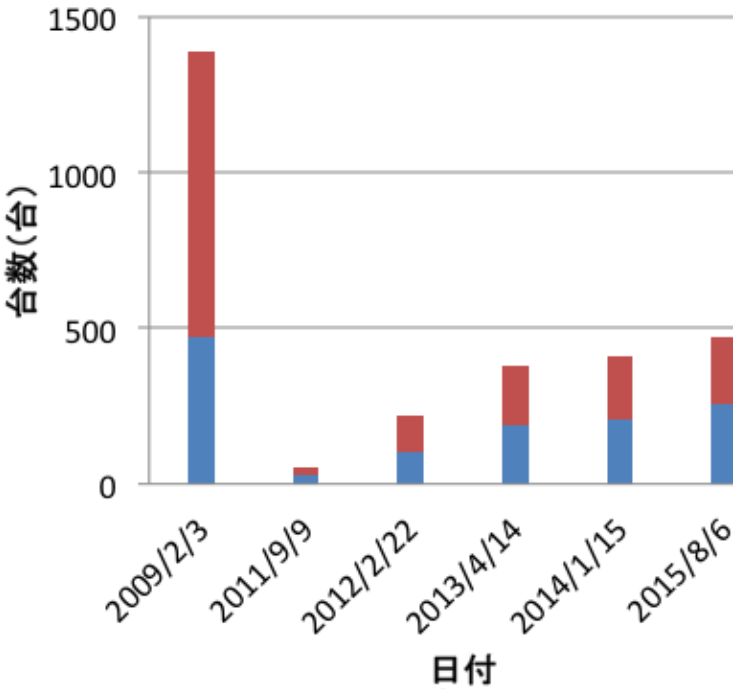
2009年2月3日



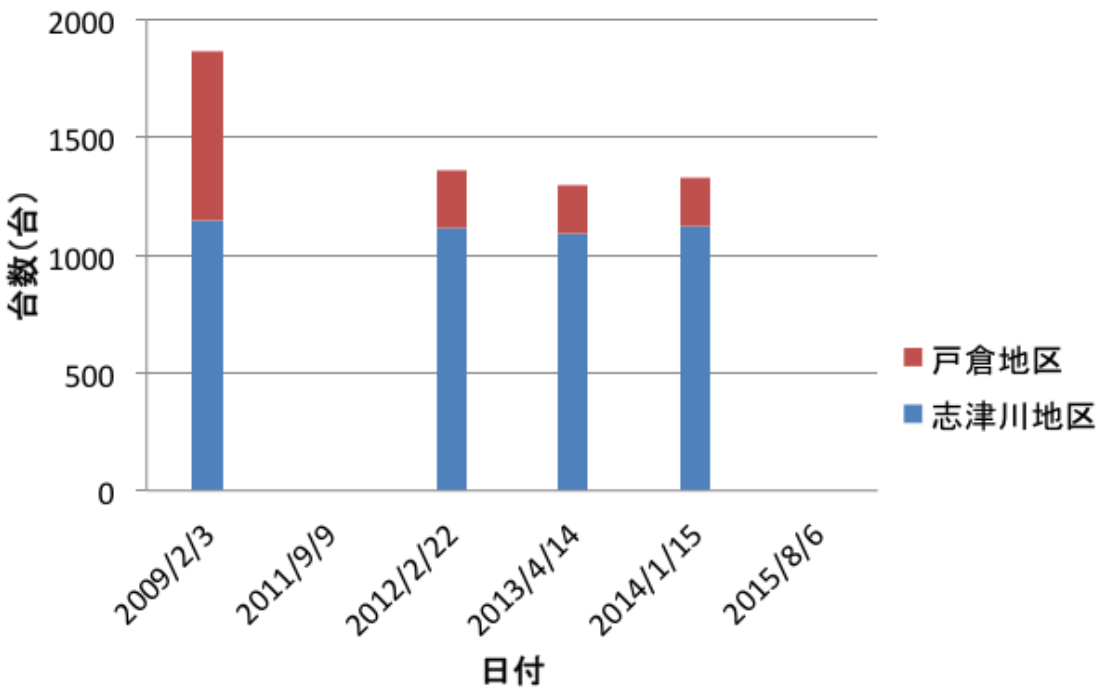
2014年1月15日

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



ワカメ養殖筏

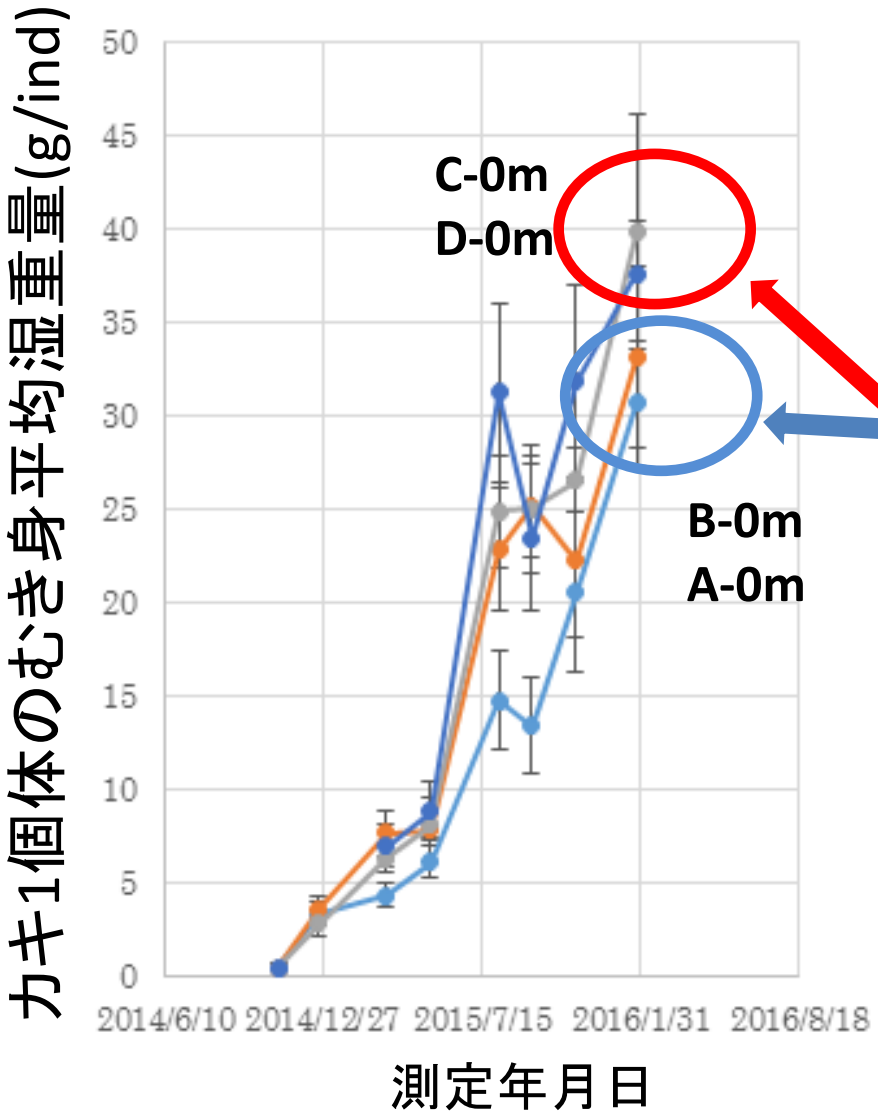
戸倉地区70%削減
志津川地区50%削減

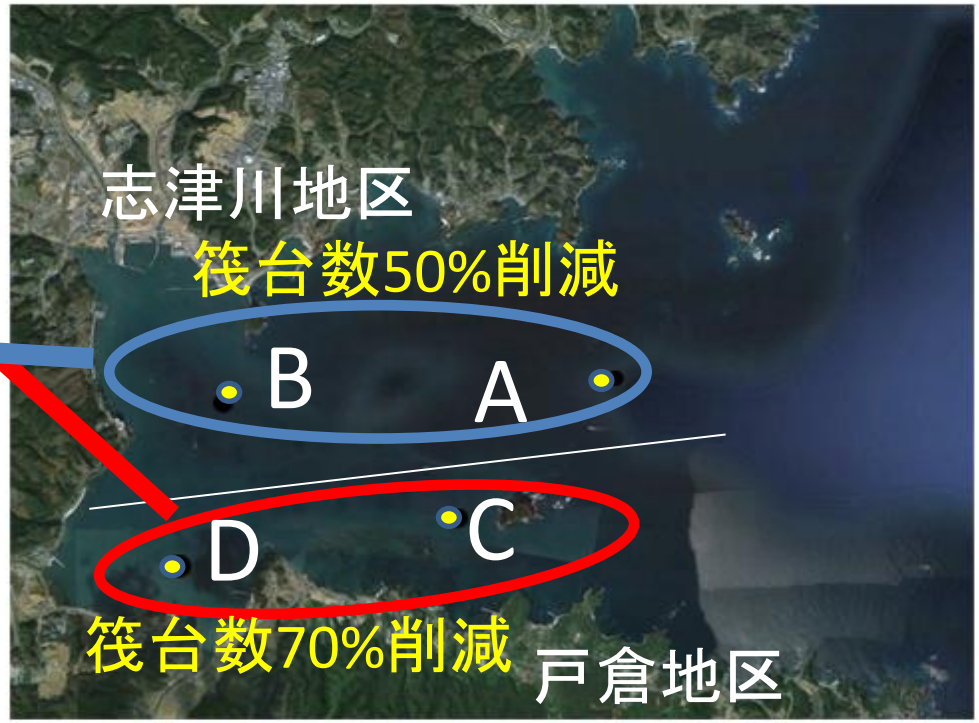
戸倉地区70%削減
志津川地区震災前と同じ

海洋環境(物質循環)への影響は？

カキ成長追跡

2014年11月から



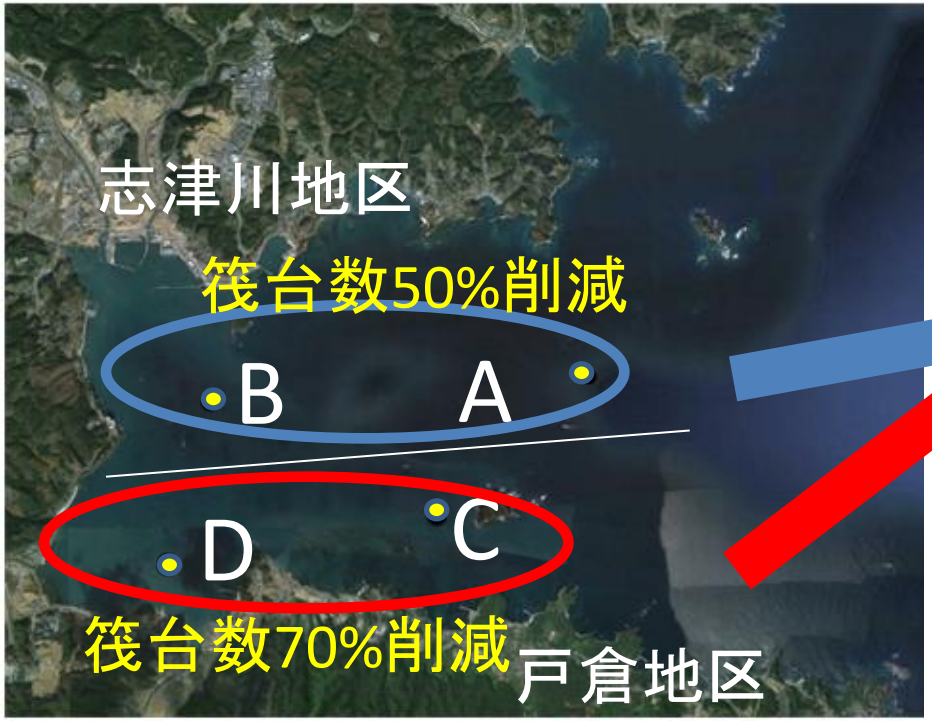


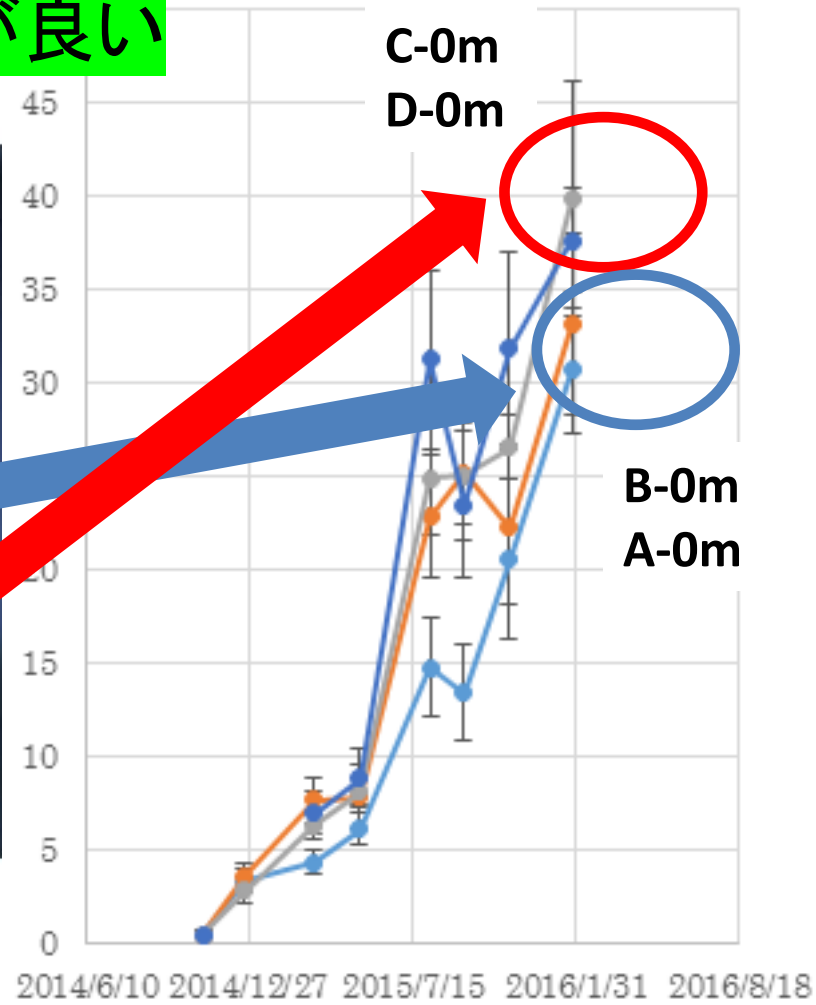
カキ成長追跡

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

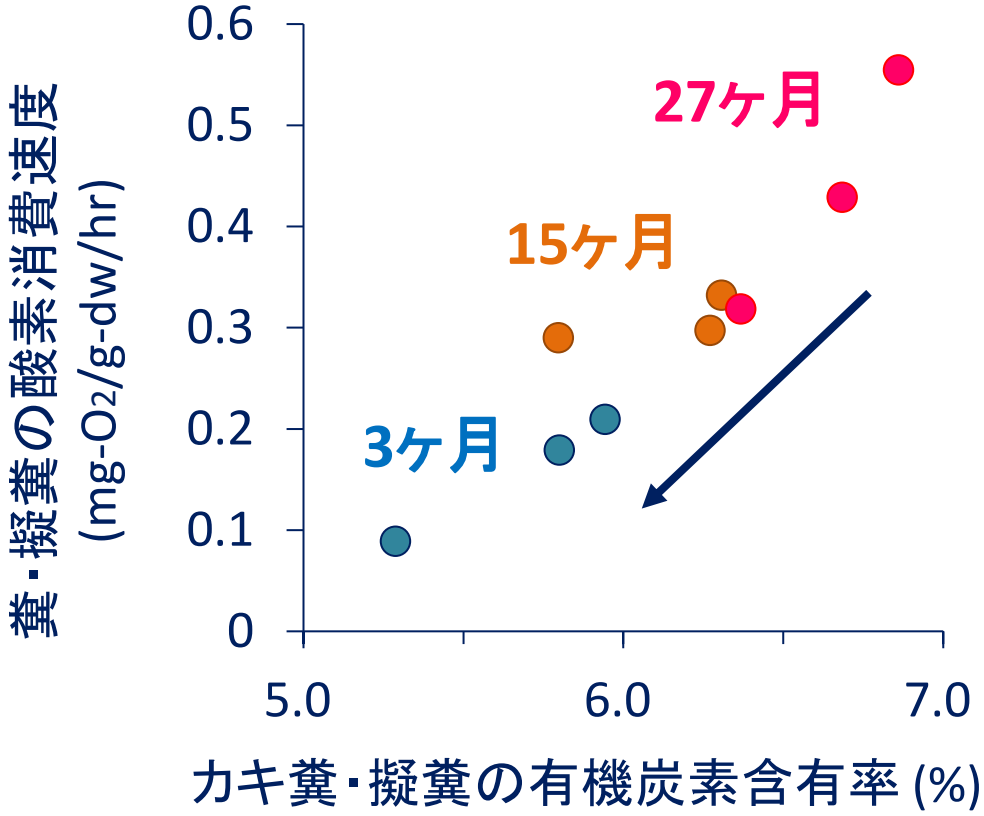




カキ1個体の平均湿重量(g/ind)

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）

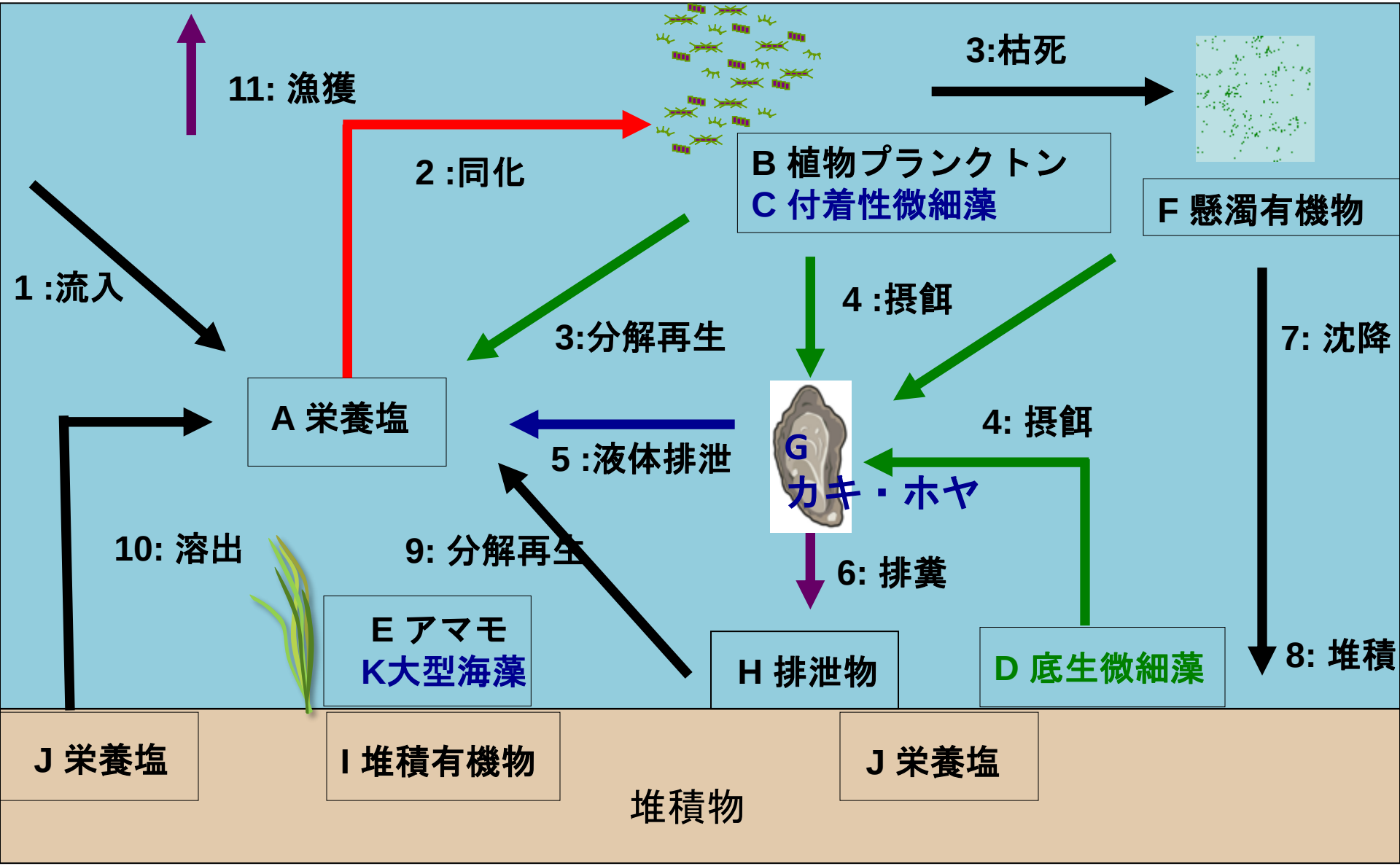
養殖筏密度減少により生産性向上と環境負荷の低減が実現

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

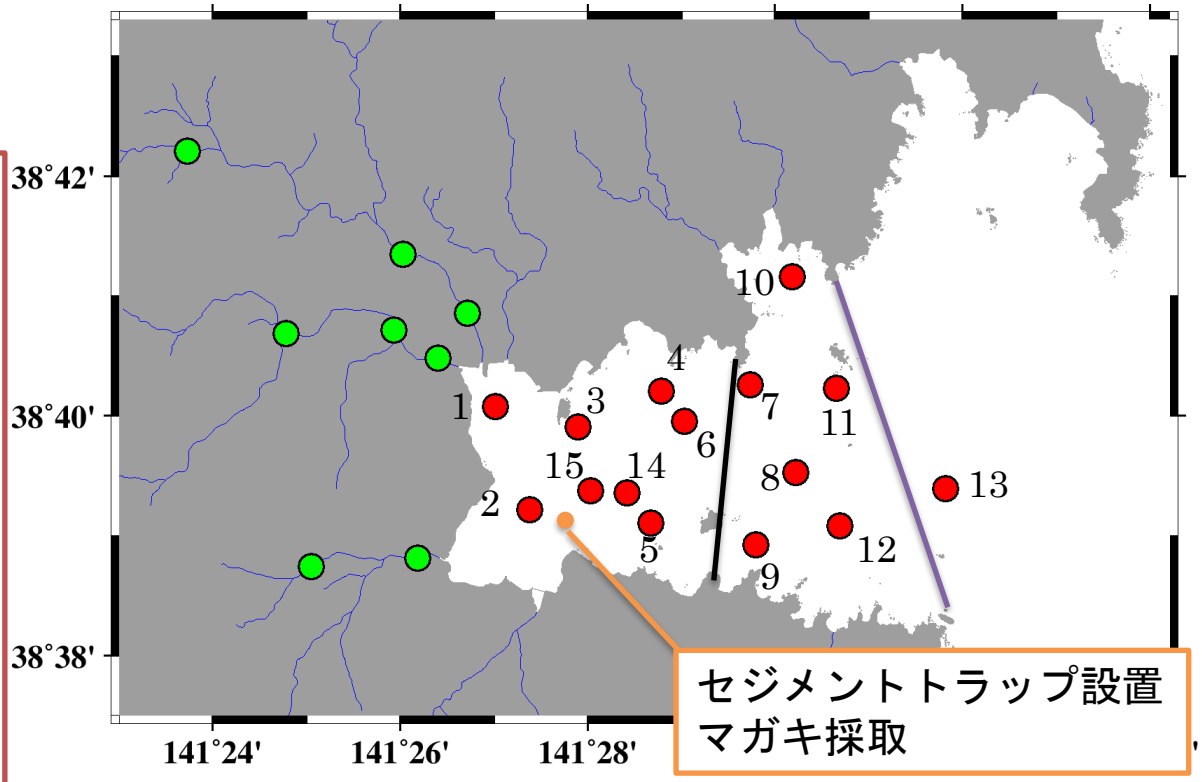
S13-2-(2)



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)

河川・湾内サンプリング・調査項目　S13-2-(2)

●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*・NH_4-N,NO_2+NO_3-N(DIN), PO_4-P(DIP)・CN

志津川湾奥部
13.8 km^2（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

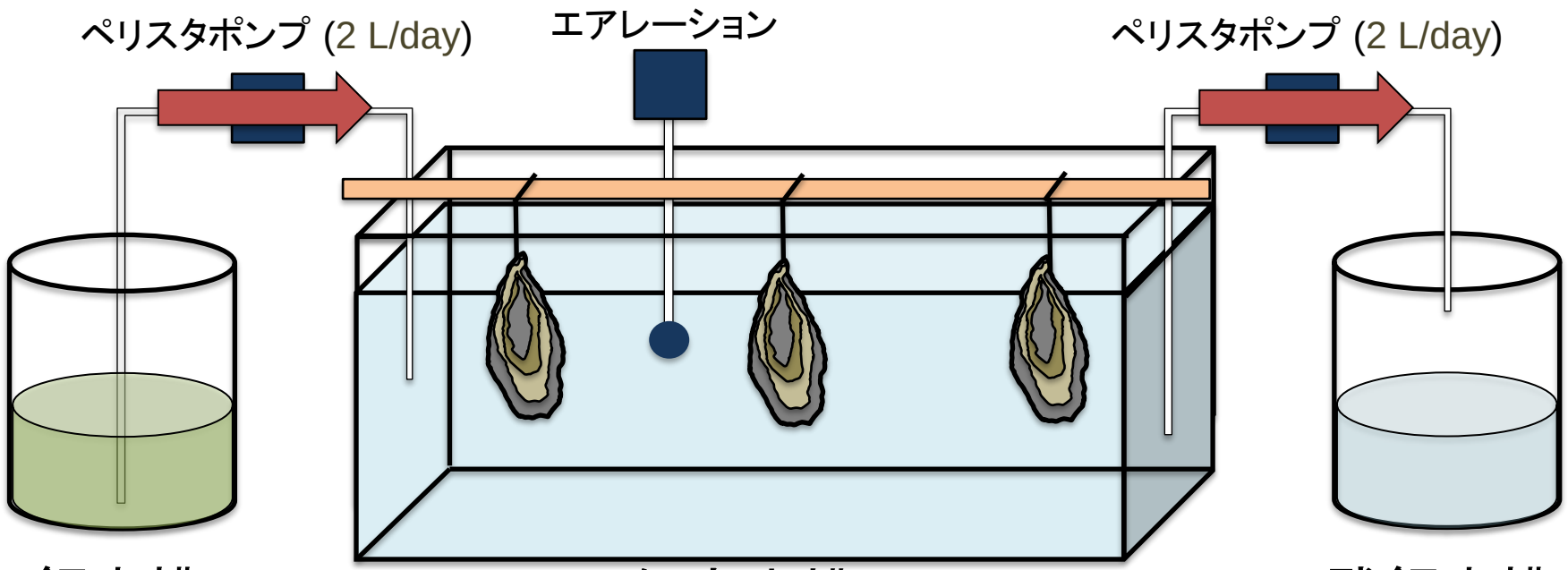
物質循環に及ぼすマガキ・ホヤの影響の推定実験

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)

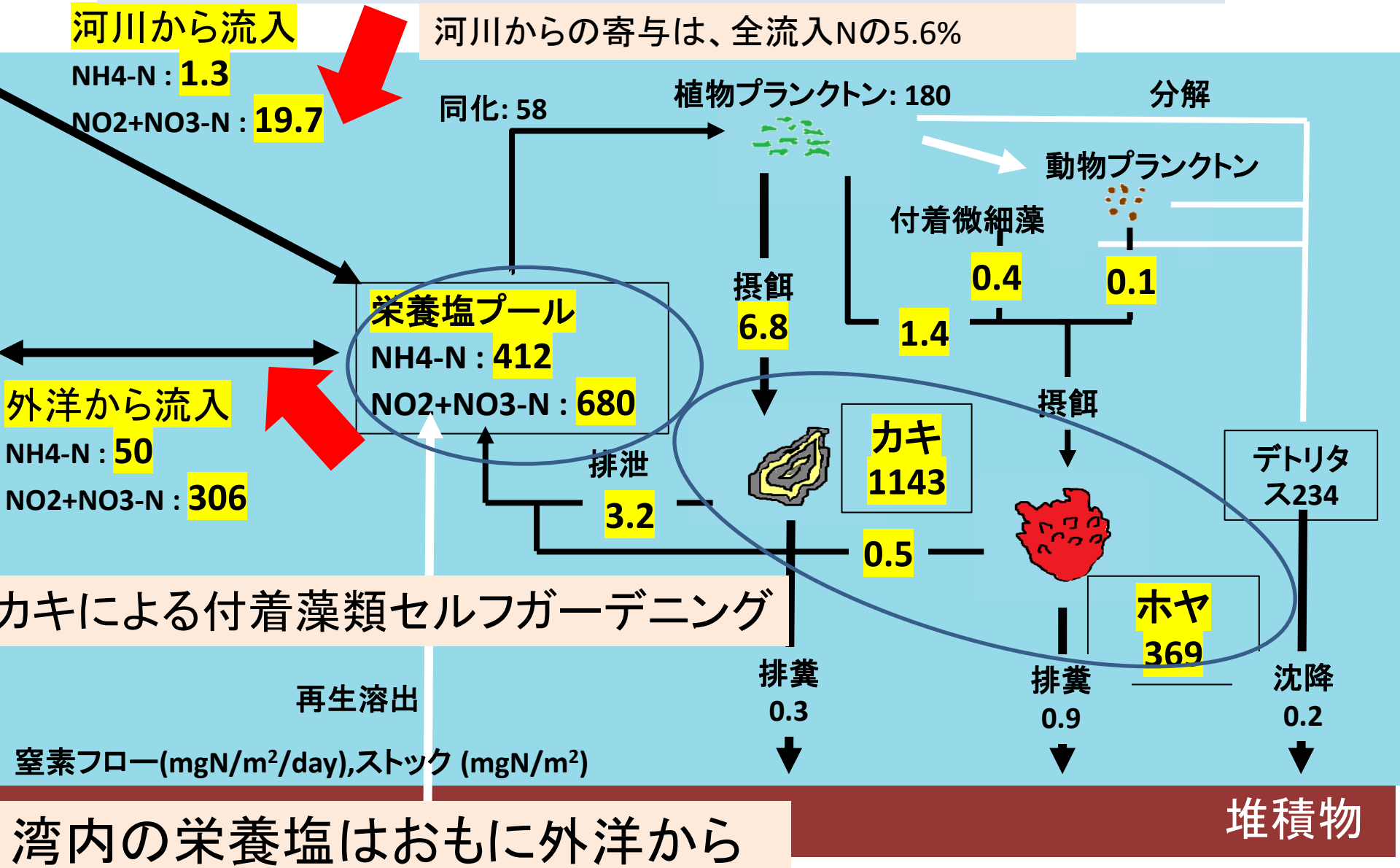


餌水槽
(Chl. *a* : 5.06 ± 0.69 μg/L)

飼育水槽 (20 L)

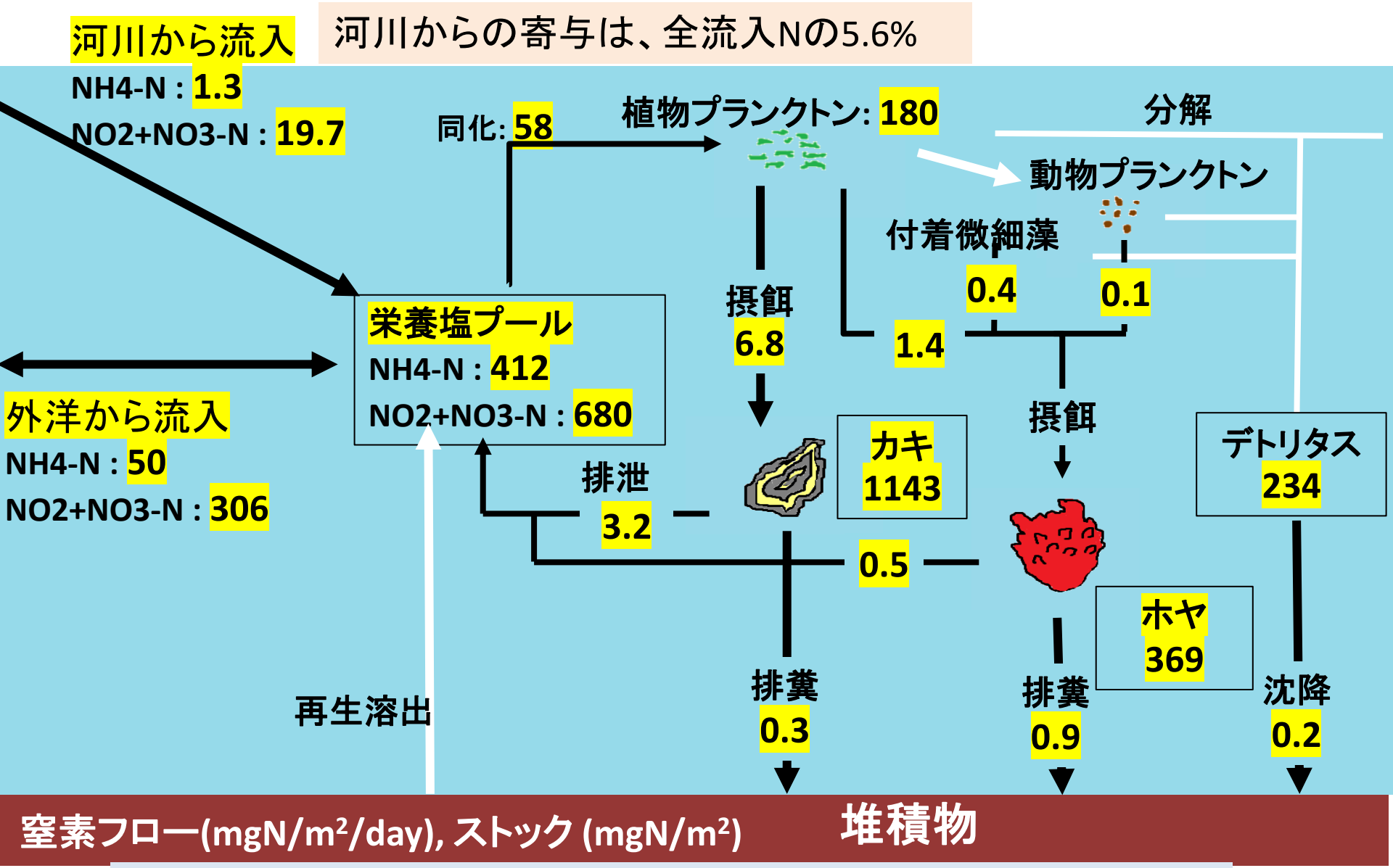
残餌水槽

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%



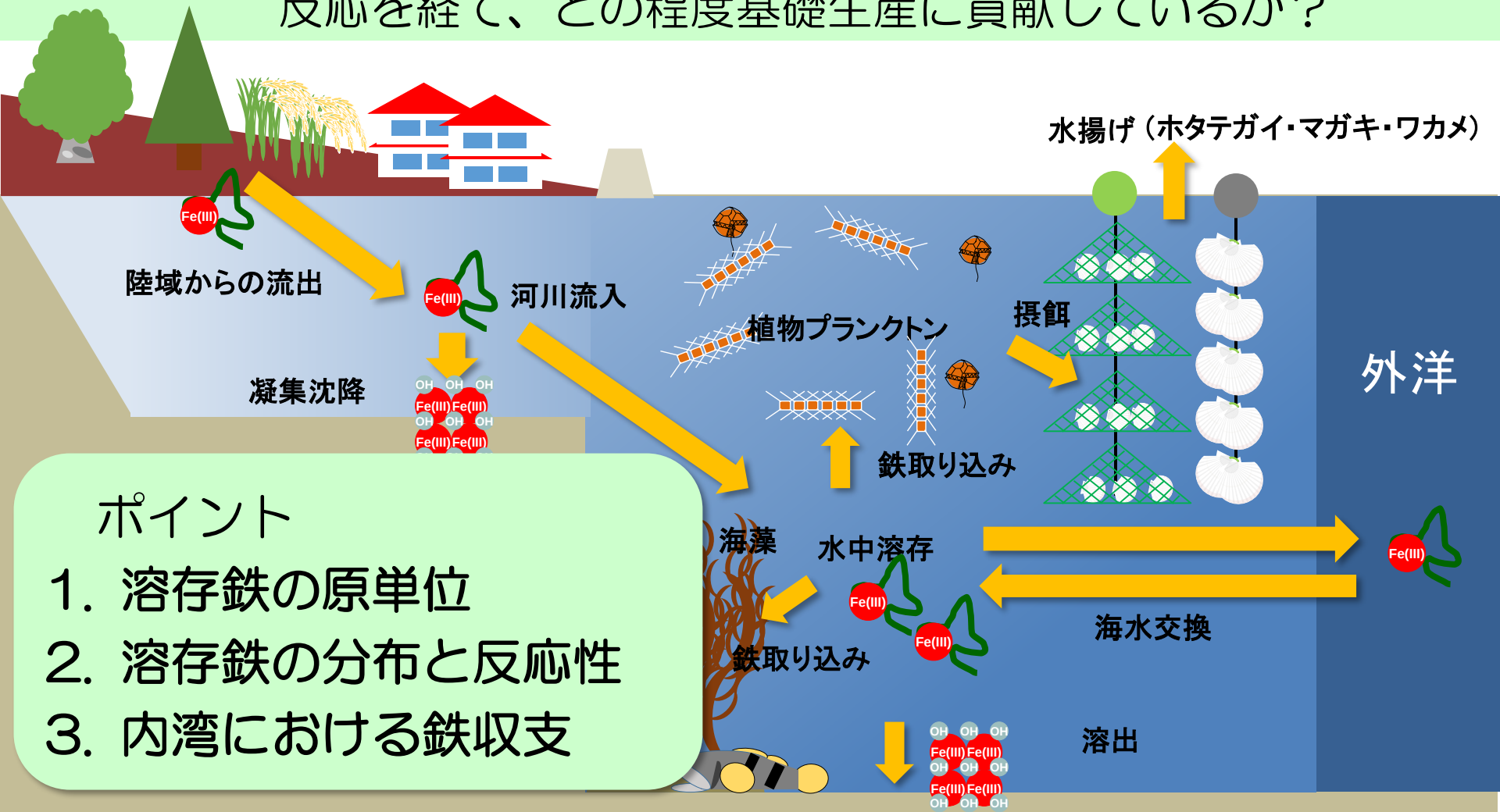
志津川湾奥部における年間平均窒素循環図

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？

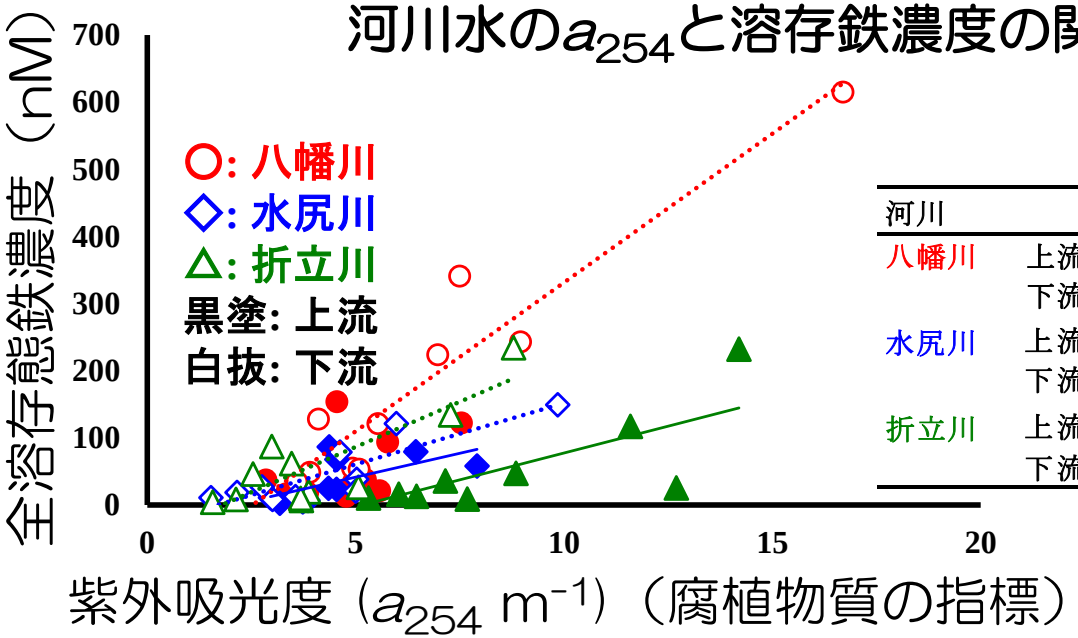


ポイント

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

河川水のa_{254}と溶存鉄濃度の関係（2014年7月～12月）



＜線形回帰式＞

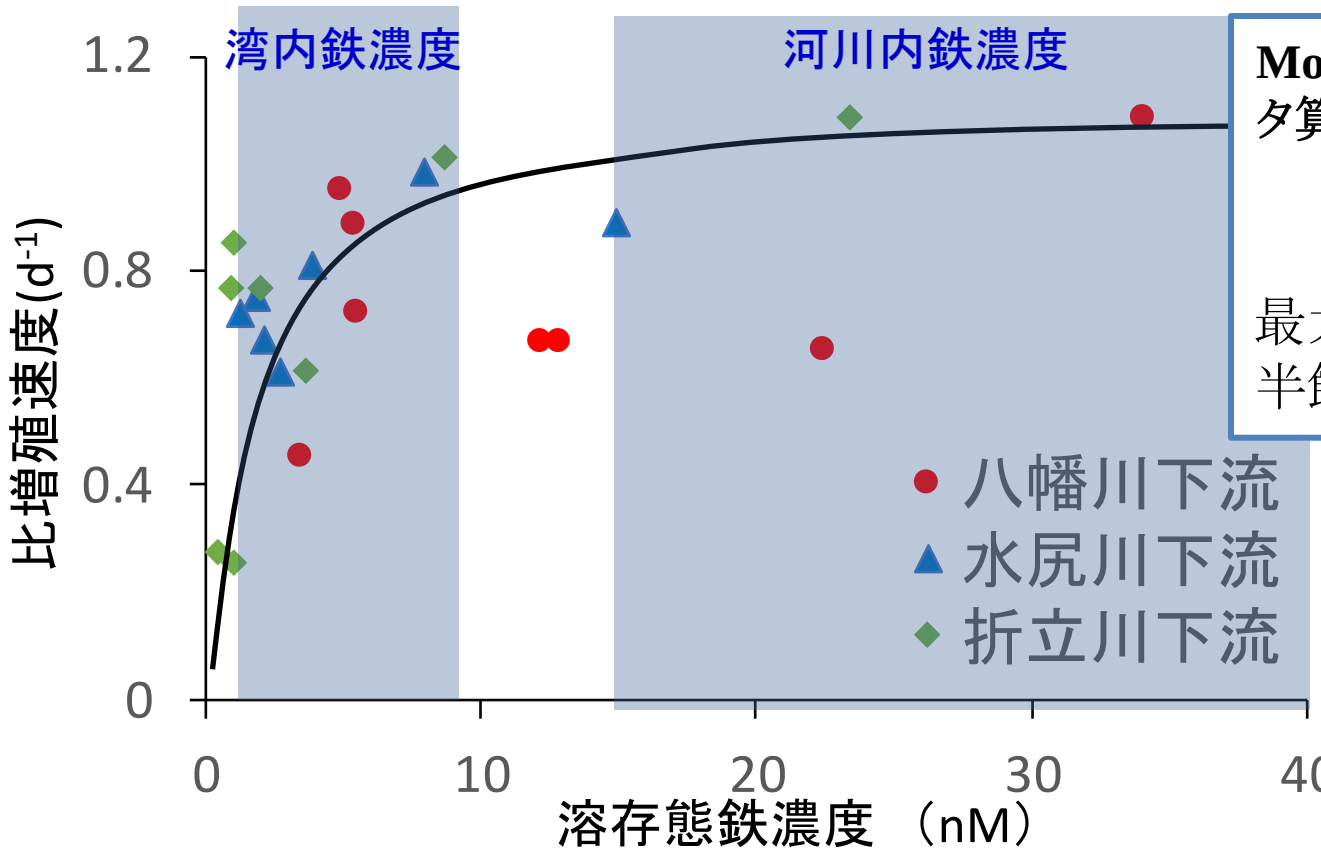
河川		*n*	傾き*	切片*	R_f^2	*r*
八幡川	上流	12	19.8 (9.7)	-43.4 (46.3)	0.225	0.068
	下流	10	44.3 (5.0)	-112 (38)	0.896	2.0.E-05
水尻川	上流	11	14.2 (5.6)	-29.8 (26.4)	0.352	0.032
	下流	10	18.3 (3.7)	-31.1 (18.1)	0.724	0.0011
折立川	上流	10	16.0 (4.8)	-82.7 (42.7)	0.534	0.0099
	下流	10	26.9 (5.9)	-48.4 (27.5)	0.689	0.0018

＊カッコ内は標準誤差。

- 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
  ⇒<u>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</u>
- 河川間で回帰直線の傾きに異なる傾向
  ⇒<u>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</u>

鉄濃度と珪藻*Chaetceros* sp.の増殖速度 河川水希釈実験

S13-2-(3)1

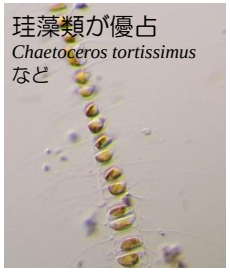


Monod式による増殖パラメータ算出

$$\mu = \frac{\mu_{max}[S]}{K_S + [S]}$$

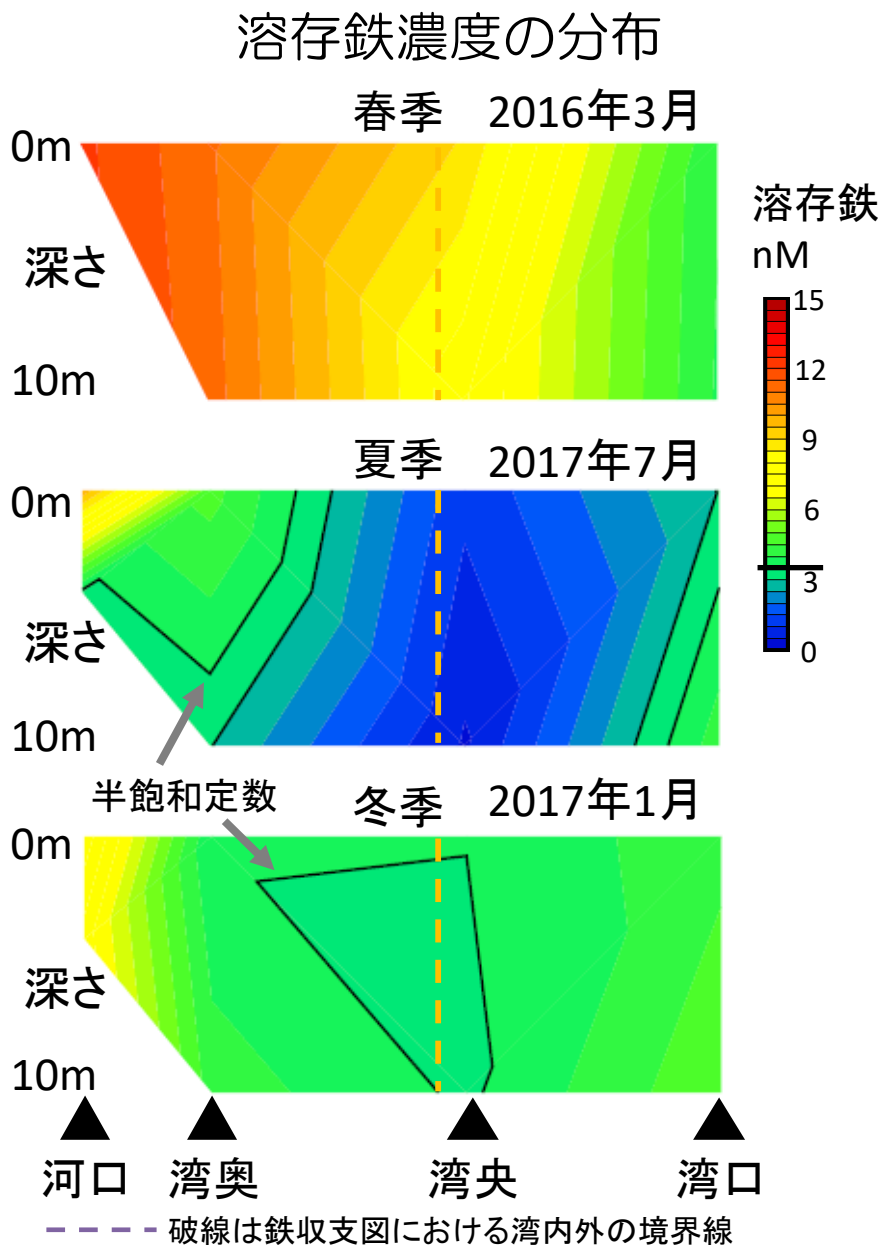
最大増殖速度：$\mu_{max} = 1.2\ d^{-1}$
半飽和定数：$Ks = 1.8\ (nM)$

※増殖試験は、各河川水、蒸留水、人工海塩で塩分30に調整



- 藻類増殖の半飽和定数（Ks）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。→<u>鉄による増殖制限の可能性</u>

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
河川：90±118 nM
湾内：6.7±4.1 nM
珪藻の半飽和定数：3.5 nM

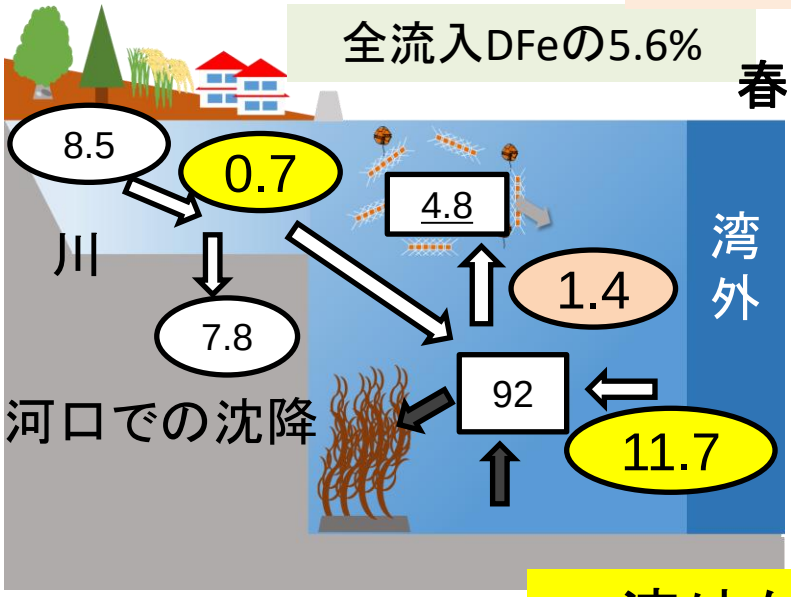
- 塩分と鉄濃度の間に負の相関
- 湾央で半飽和定数以下に（夏季、冬季）
- 冬季にA_{254}と鉄濃度に正の相関

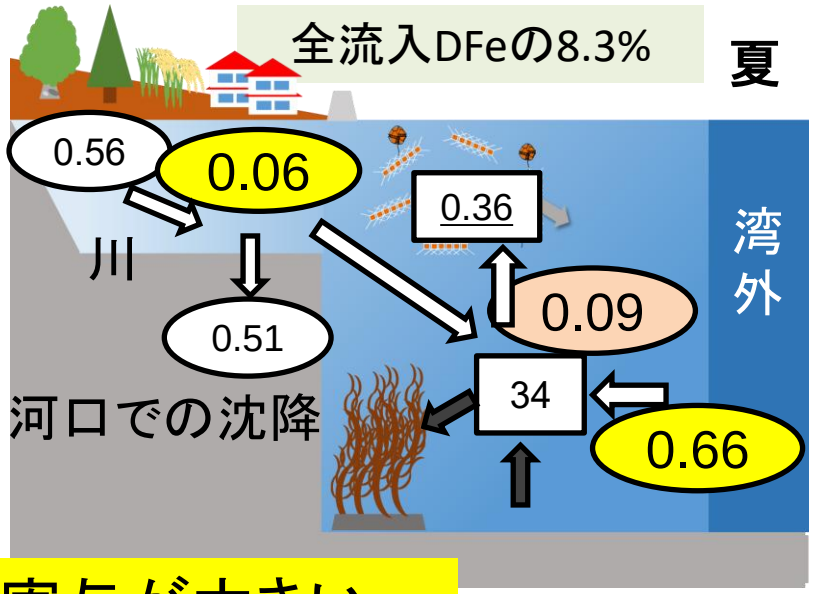
→ 陸域有機物の役割が季節的に変化

志津川湾における鉄の収支 (DFe flux in kg day^{-1})

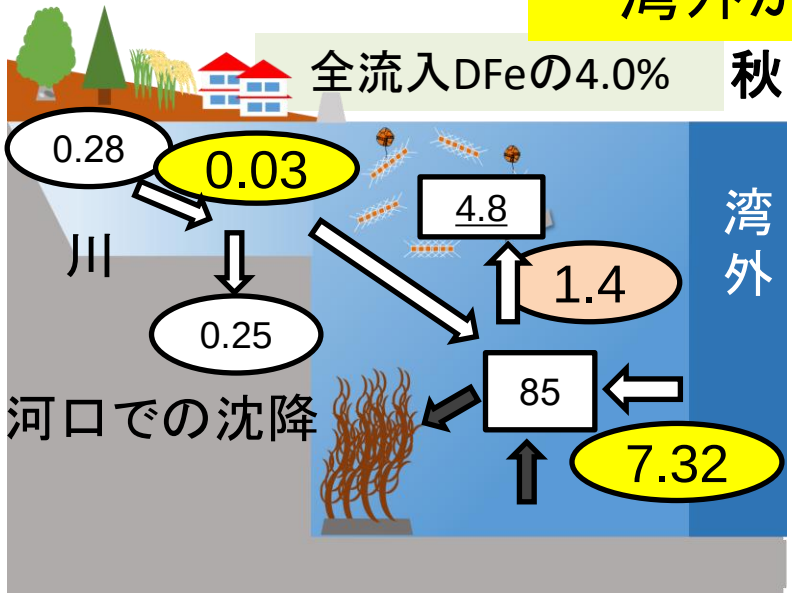
S13-2-(3)1

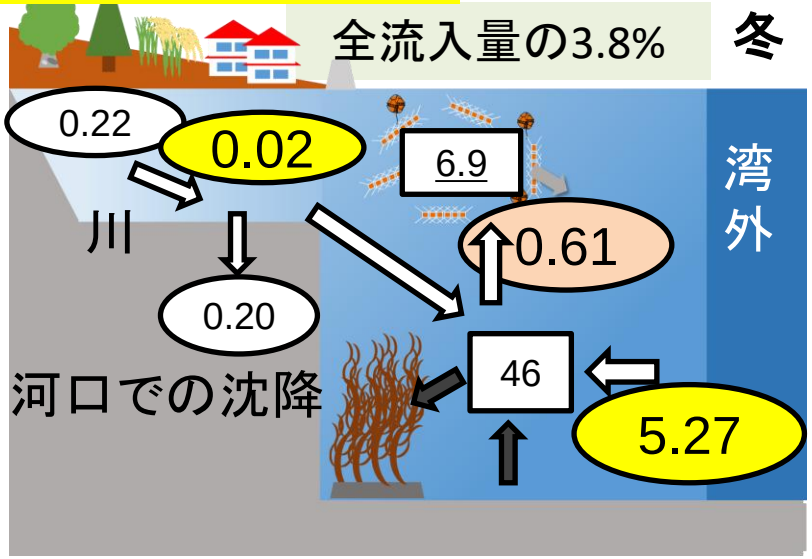
河川からの寄与は年平均5.4%





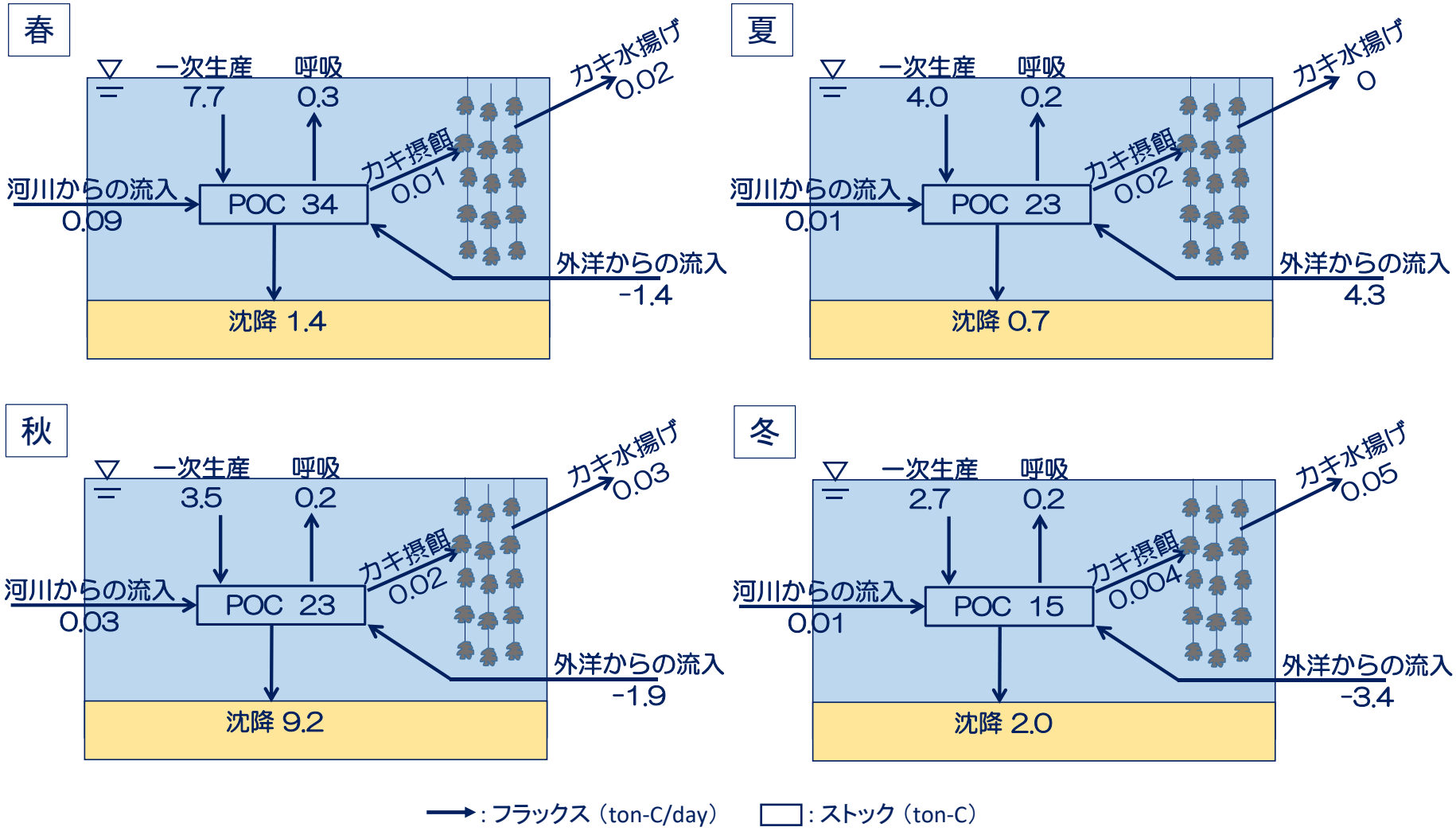
湾外からの寄与が大きい





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

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

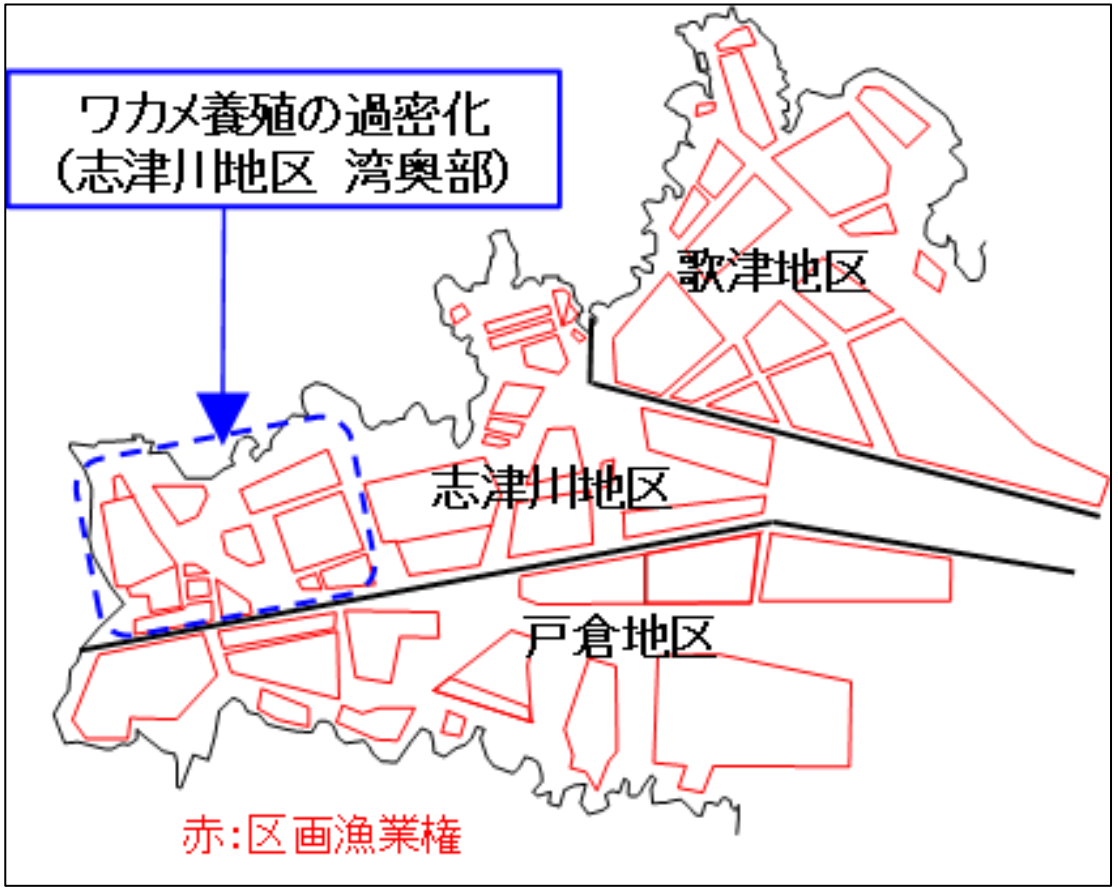
南三陸町役場会議室での、南三陸町、宮城県漁連志津川湾運営協議会、S13-2班メンバー、S13-5モデル班による議論

筏の台数や配置など地元が知りたいことをシミュレーションで探る

S13-2
S13-5

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



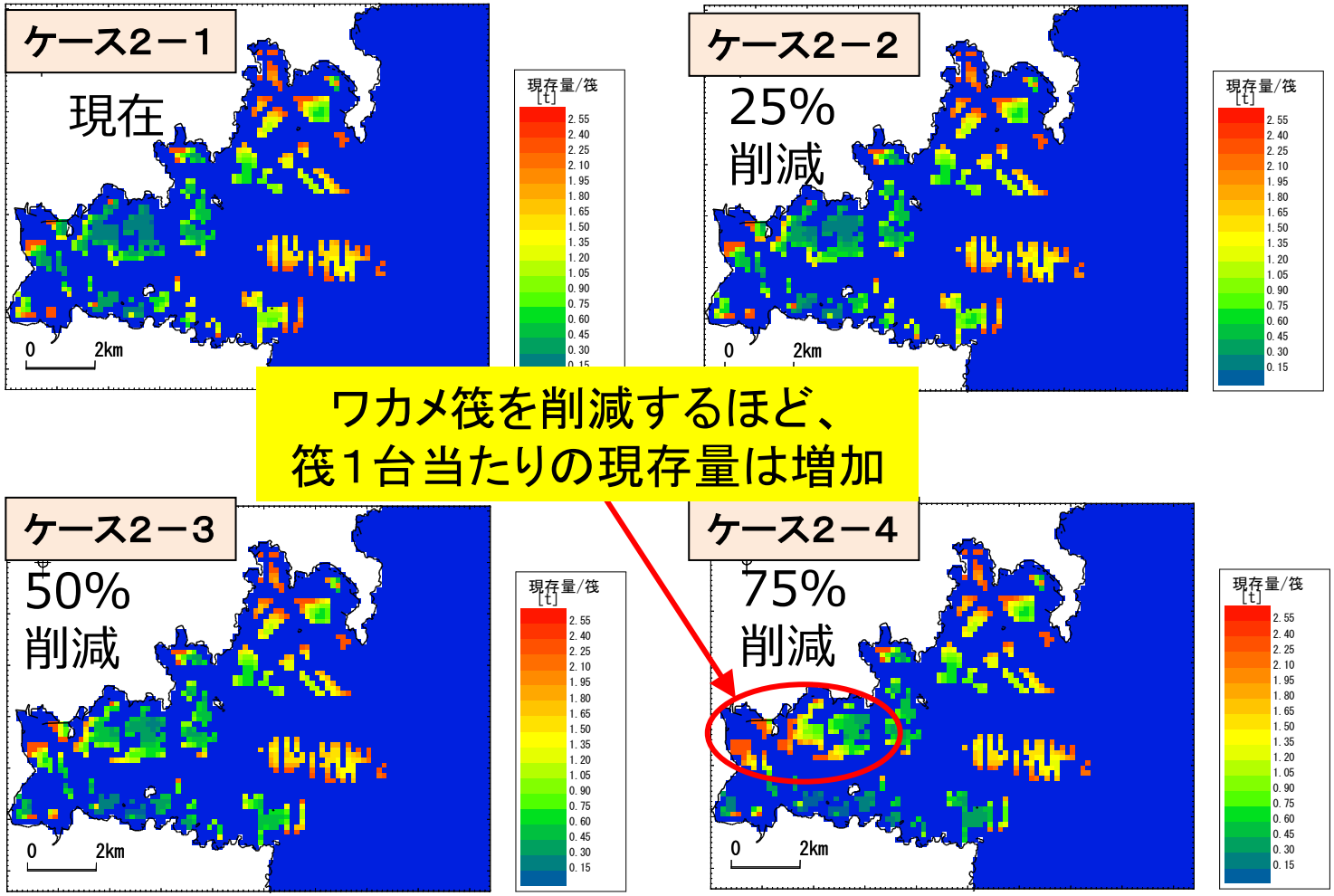
4つのシナリオ

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台当たりワカメ収穫量の変化予測

S13-2
S13-5

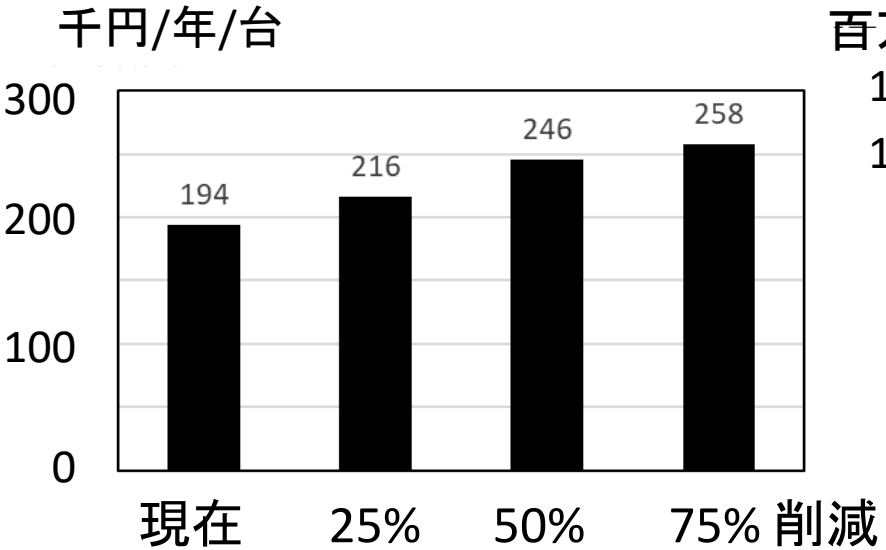
※３月末時点



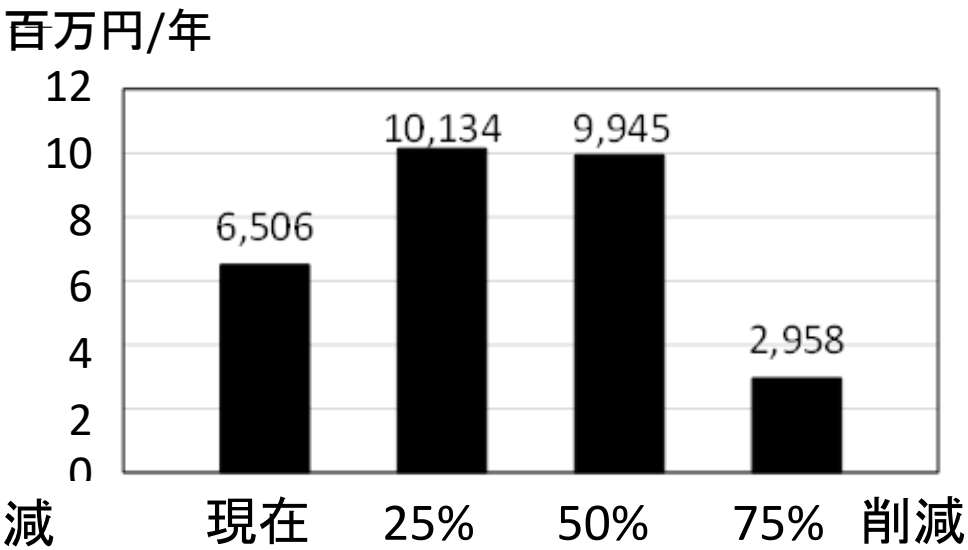
ワカメ筏を削減するほど、
筏1台当たりの現存量は増加

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

ASC認証に筏データ提供

S13-2

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

宮城県 南三陸町 MINAMISANRIKU TOWN

Language　組織から探す　サイトマップ　文字サイズ 小さく 大きく

サイト内検索

2016年3月30日

ホーム Home | 震災復興 Earthquake recovery | くらしの情報 Life information | 行政情報 Administrative | 事業者向け情報 Business users | イベント・観光 Event・Tourism

行政情報

- 南三陸の見どころ
- 町の税金
- 保険・年金
- 健康、医療
- 南三陸応援

現在位置 行政情報 > 産業 > 水産 > 町内産のカキがASC認証制度を取得

町内産のカキがASC認証制度を取得

平成28年3月30日に宮城県漁業協同組合志津川支所戸倉出張所が管轄するマガキ養殖が二枚貝養殖で国内初のASC認証を取得しました。

ASC認証は、国際機関であるASC（Aquaculture Stewardship Council：水産養殖管理協議会）により、自然や資源保護に配慮しつつ、安全で持続可能な養殖事業を営んでいることを認める国際認証制度です。

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に
藻場分布データ提供：藻場としては国内初

宮城県 南三陸町 MINAMISANRIKU TOWN

2018年10月18日

イトマップ　文字サイズ　小さく　大きく

索　サイト内検索

ホーム Home | 震災復興 Earthquake recovery | くらしの情報 Life information | 行政情報 Administrative | 事業者向け情報 Business users | イベント・観光 Event · Tourism | 防災 Disaster prevention

Ramsar
CONVENTION ON WETLANDS
(Ramsar, Iran, 1971)

現在位置 行政情報 > ラムサール条約 > ラムサール条約と南三陸の海

ラムサール条約湿地志津川湾

ラムサール条約湿地志津川湾

新着情報

平成30年10月18日に南三陸町志津川湾がラムサール条約湿地に登録されました。

ラムサール条約に志津川湾が登録されたことを記念して、平成31年２月９日～１１日の３日間、南三陸町でKODOMOラムサールを開催しました。

南三陸町と協働

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

FSC認証取得：2015年10月7日南三陸森林管理協議会

d.　森と海の国際認証

町内の森林、カキ養殖場の国際認証の取得を契機として、今後、森と海の両面から、南三陸ブランドを一層輝かせていきます。

■ＦＳＣ認証（平成 27 年 10 月取得）

南三陸町の町有林など約 1,300ha の森林がＦＳＣ認証を取得しました。（町、慶応義塾、地元林業家が南三陸森林管理協議会を設立）

ＦＳＣ認証：
NGO「森林管理協議会（Forest Stewardship Council）」（本部：ドイツ）が世界標準で良質と認める森林に与える国際認証

■ＡＳＣ認証（平成 28 年３月取得）

宮城県漁業協同組合志津川支所戸倉出張所のカキ養殖場がＡＳＣ認証を取得しました

ＡＳＣ認証：
NGO「水産養殖管理協議会（Aquaculture Stewardship Council）」（本部：オランダ）が環境に大きな負
配慮した活動を続ける養殖業に与える国際認証

https://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/index.cfm/6,7752,c,html/7752/20180824-145912.pdf#page=19.00

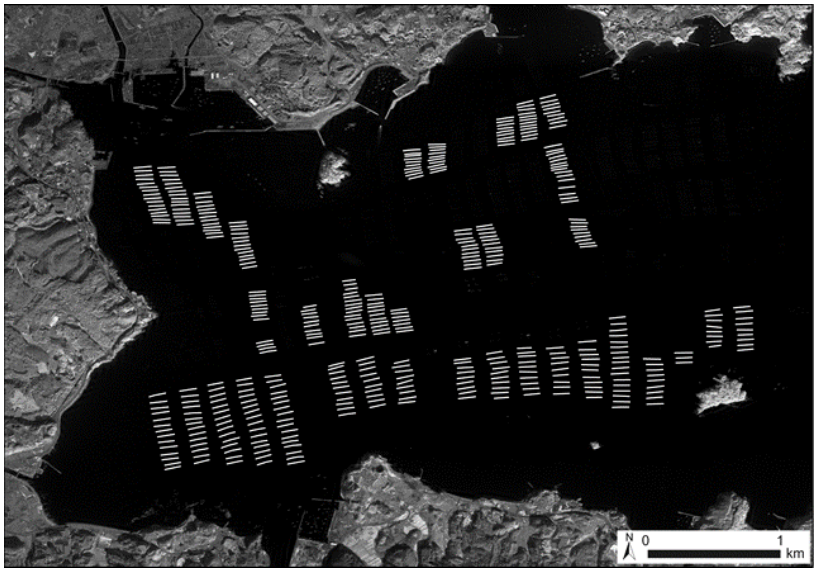
FSC 認証とは環境保全の点から見ても適切で、社会的な利益にかない、経済的にも継続可能な森林管理を理念とする認証（里山と一致）

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！
<u>適切な人手のかけ方</u>、里山、里海！

つながる
- FSC
- Ramsar
- ASC

Wise use



つなげよう、
支えよう
森里川海

S13-2

環境政策への貢献

- 沿岸環境監視：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への貢献。
- 栄養塩循環：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。
- 鉄：「森は海の恋人」の鉄仮説について定量的評価。
- 有機物：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」仮説に対する粒状有機物について定量的評価。
- 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）は、生物生産と生物多様性の維持に貢献。
- 協議会：科学的知見を共有し、海洋環境をともに考え、ともに活動する経験は環境行政に貢献。
- 山と海のエコラベルは健全な沿岸環境実現に貢献。

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