

課題番号:4-1907 体系的番号:JPMEERF20194007

重点課題:

主【重点課題⑫】生物多様性の保全とそれに資する科学的知見の充実にに向けた研究・技術開発

副【重点課題⑬】森・里・川・海のつながりの保全・再生と生態系サービスの持続的な利用に向けた研究・技術開発

行政要請研究テーマ(行政ニーズ):(4-1)サンゴ礁生態系への陸源負荷の複合的な影響メカニズムの解明及び包括的な対策手法の提案

研究課題名:高CO₂時代に対応したサンゴ礁保全に資するローカルな環境負荷の閾値設定に向けた技術開発と適応策の提案(研究実施期間:令和元年度~令和3年度)

研究代表者名 井口 亮(研究代表機関名:産業技術総合研究所)

サブテーマ1代表者:研究代表者と同じ

「遺伝子解析手法によるサンゴ石灰化応答マーカーの開発と適用」

サブテーマ2代表者:安元 純(琉球大学); 分担者:中村 崇・酒井一彦(琉球大学)

「島嶼特有の水循環と栄養塩負荷の実態把握とサンゴ礁生態系との関係解明」

サブテーマ3代表者:安元 剛(北里大学)

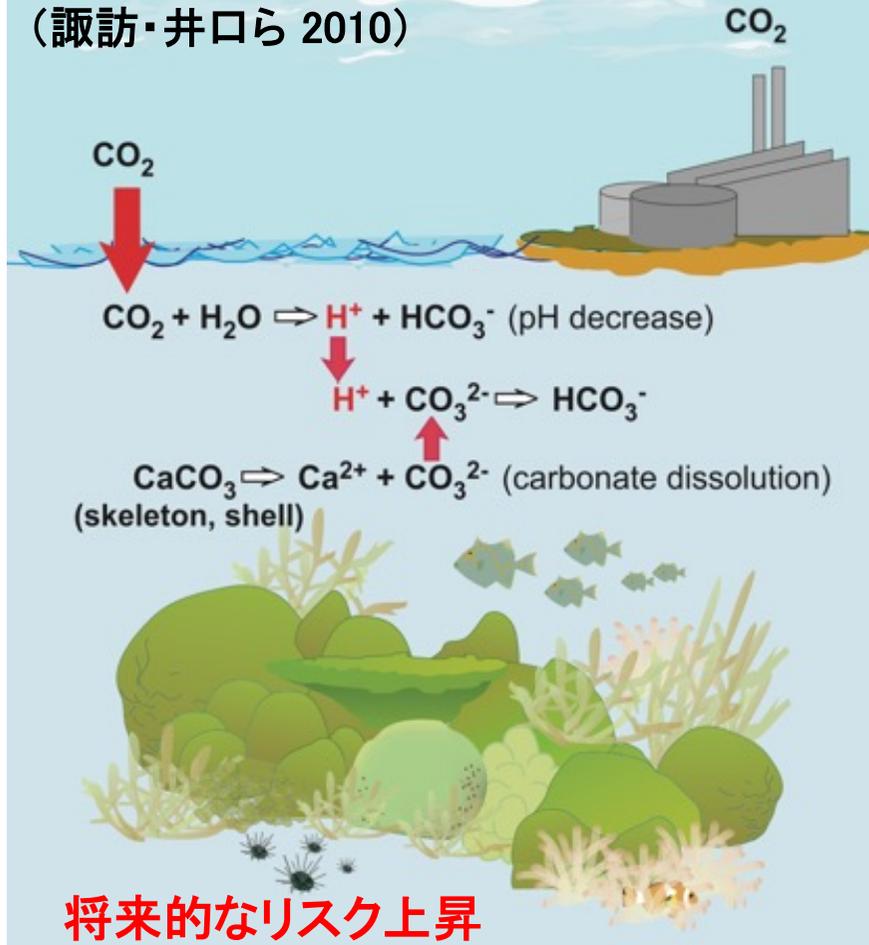
「蓄積型栄養塩の測定法の開発と複合ストレス実験によるサンゴ石灰化評価」

サブテーマ4代表者:熊谷直喜(国立環境研究所)

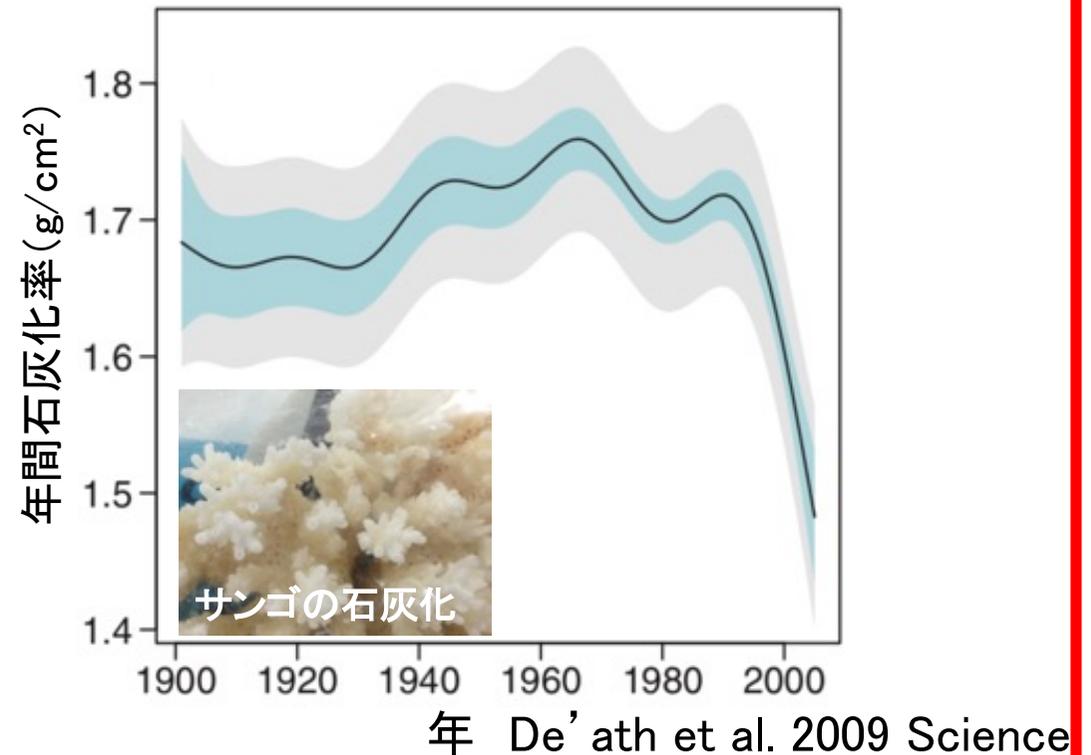
「統合的統計モデリングによる複合ストレス影響の解析・予測方法の開発と適用」

1. はじめに: 地球的規模・地域的規模の環境変化によるサンゴ礁生態系の衰退

人為的CO₂増加による海洋酸性化の顕在化
(諏訪・井口ら 2010)



2016年石西礁湖でのサンゴ白化現象 中村崇 2017
(JICA-JST SATREPS代表, 石西礁湖自然再生協議会委員)



グレートバリアリーフでのサンゴ石灰化の急激な低下

関連する環境研究総合推進費課題:

井口ら分担: RF-1009・4RF-1501

酒井ら分担: A-0804

今後のCO₂増加に伴いサンゴ減少は加速する?
地球的・地域的規模での複合ストレスによる影響?

陸域から沿岸域への栄養塩はどのように流出？

地下水・河川水と沿岸域のリンクの情報が欠如
窒素の動態は比較的よく調べられている
リンは低濃度で動態は不明な点が多い

サンゴ礁に対する過剰栄養塩の悪影響は？

藻類の繁茂→空間競争によるサンゴの減少
細菌の増殖→サンゴの病気
> 栄養塩はサンゴに間接的に影響



2. 研究開発目的:

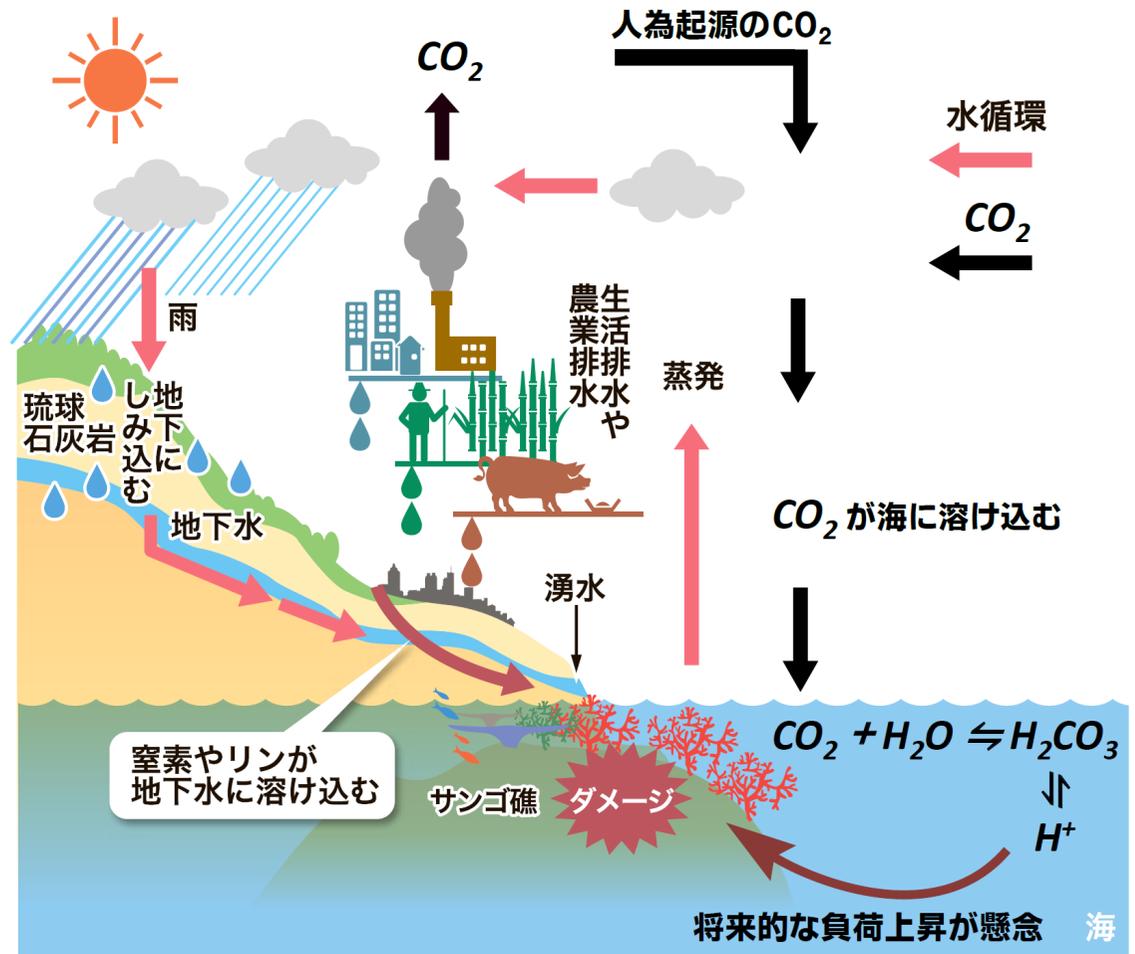
サンゴ礁生態系を劣化させるローカルな陸域負荷の実態を解明し、CO₂時代を想定した陸域負荷の閾値と適応策を提案

サブテーマ1: 遺伝子解析手法によるサンゴ石灰化応答マーカーの開発と適用(産総研 井口亮)

サブテーマ2: 島嶼特有の水循環と陸域負荷の実態把握とサンゴ礁生態系との関係解明(琉球大 安元純ら)

サブテーマ3: 蓄積型栄養塩の測定法の開発と複合ストレス実験によるサンゴ石灰化評価(北里大 安元剛)

サブテーマ4: 統合的統計モデリングによる複合ストレス影響の解析・予測方法の開発と適用(国環研 熊谷)



想定される
適応策

陸と海とを一体的に
捉えた統合的沿岸管理

想定される効果

- 健全な水循環の構築
- 農業・畜産業の発展
- サンゴ礁生態系の回復

3. 研究目標

サブテーマ1: 遺伝子解析手法によるサンゴ石灰化応答マーカーの開発と適用(産業技術総合研究所)

目標: サンゴ飼育実験で得られたサンプルを用いて網羅的遺伝子発現解析を実施し、環境応答のメカニズムの把握を進める。また、環境要因との相関分析を実施することで環境応答マーカーの絞り込みを進める。得られたマーカーを用いて詳細な遺伝子発現解析を実施し、環境負荷の影響が見られる閾値を把握する。また、飼育実験・野外サンプルの微生物類の遺伝子解析を進め、バクテリア負荷等の実態解明を進める。

サブテーマ2: 島嶼特有の水循環と陸域負荷の実態把握とサンゴ礁生態系との関係解明(琉球大学)

目標: 与論島・沖縄島・慶良間諸島・石西礁湖・多良間島等での海水・海底堆積物、陸域の地下水等の水循環特性及び栄養塩、特に、各種リン酸塩の動態解析を実施する。また、サンゴ礁池内外の海水・海底堆積物の栄養塩集積調査及びサンゴの被度及び藻類や微生物相の分布調査を実施する。加えて、サンゴ産卵期に採取した配偶子や成体サンゴを用いた複合ストレス実験を実施し、環境負荷の影響が見られる閾値を把握する。また、複合影響の1つの因子である底質微粒子による影響評価も進める。

サブテーマ3: 蓄積型栄養塩の測定法の開発と複合ストレス実験によるサンゴ石灰化評価(北里大学)

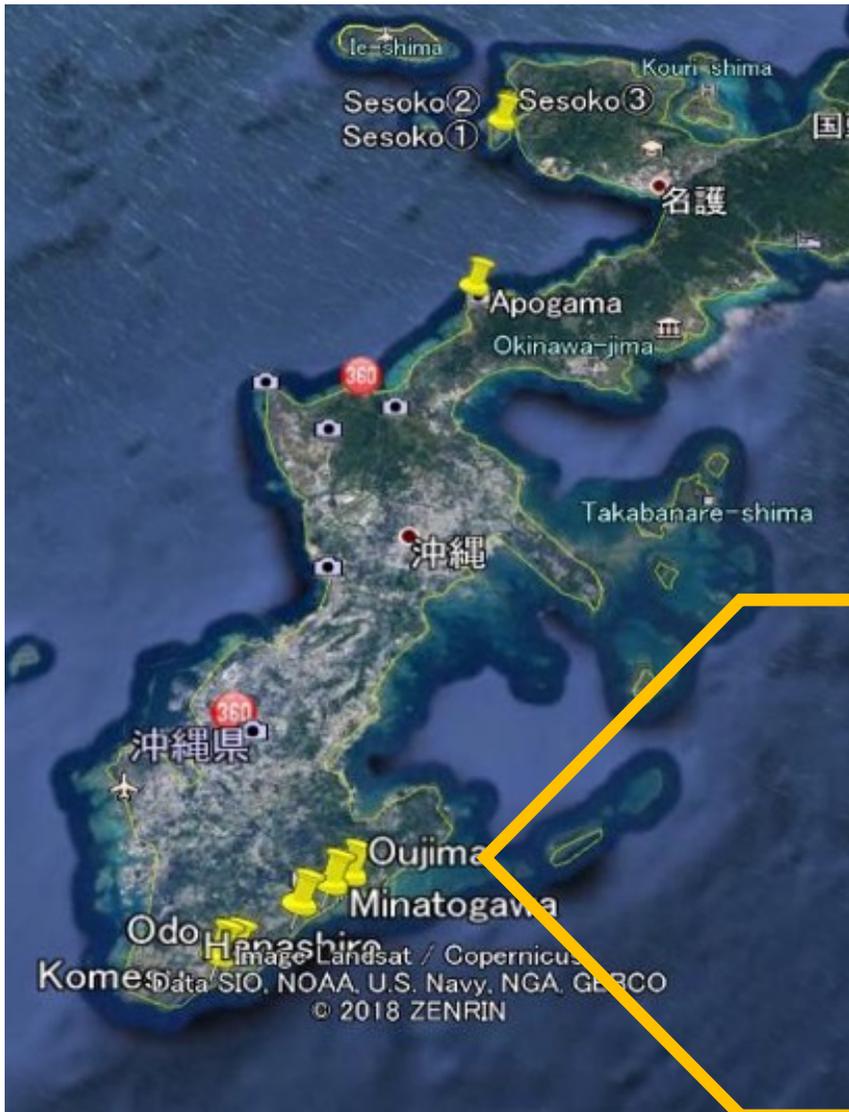
目標: 野外調査で得た各地点の底質サンプルを用いて蓄積型栄養塩測定法の開発を行う。そして野外調査で得た各地点のサンプルの蓄積型栄養塩測定を網羅的に行う。成体サンゴ及び稚ポリプの石灰化評価法を構築し、各種栄養塩の複合ストレス実験を実施し、石灰化影響を定量的に評価する方法を構築する。また、飼育実験サンプルの微生物類の遺伝子解析を進め、バクテリア負荷等の実態解明を進める。

サブテーマ4: 統合的統計モデリングによる複合ストレス影響の解析・予測方法の開発と適用(国立環境研究所)

目標: モデリングに必要な環境要因データ(特に栄養塩類・クロロフィル量)の収集・整理を進める。飼育実験で得られたサンゴ石灰化と環境要因のデータを解析してモデル式の構築を進める。環境要因については、海水温、炭酸カルシウム飽和度、クロロフィル量、地形等の陸域に関する特徴量等を説明変数として加え、各地域の環境要因の類似性・異質性評価につなげる。作成された統合モデルにより、複合ストレスによる石灰化能を琉球列島中心部について推定し、地図上に投影・可視化する。また、変数をIPCCシナリオに沿って変化させることで、今後の変化予測を行う。

次ページから、4. 研究開発内容と5-1. 成果の概要の紹介

沖縄島南部を中心とした蓄積型栄養塩調査

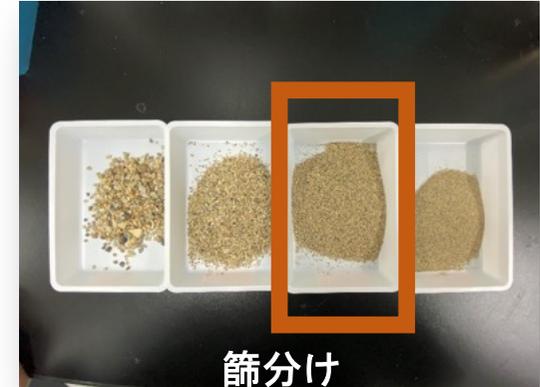


潜水等により底質サンプルを採取



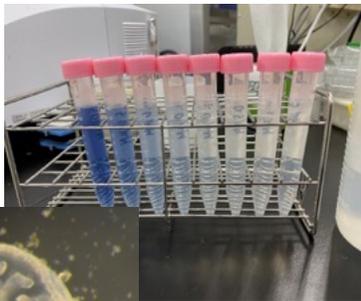
南部にて底質を採取した場所：
奥武島・港川・玻名城・大度・米須

底質共存下での稚サンゴの飼育実験



篩分け

飼育海水の PO_4 -P測定

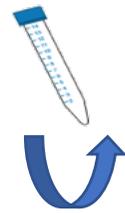


骨格形成観察

底質を70 °Cで乾燥

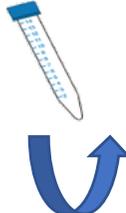
粒径 0.5~1 mmを使用

3日後



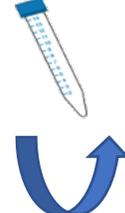
海水

6日後



海水

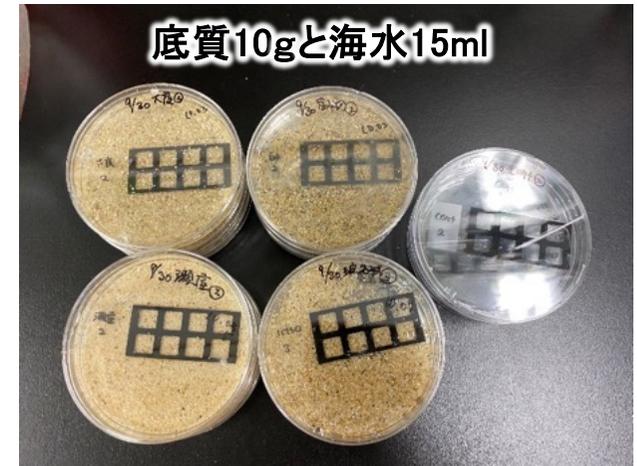
9日後



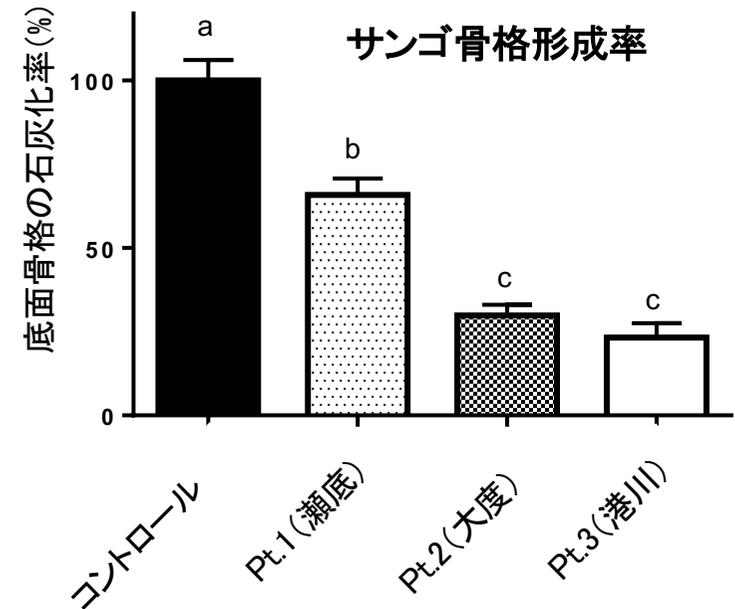
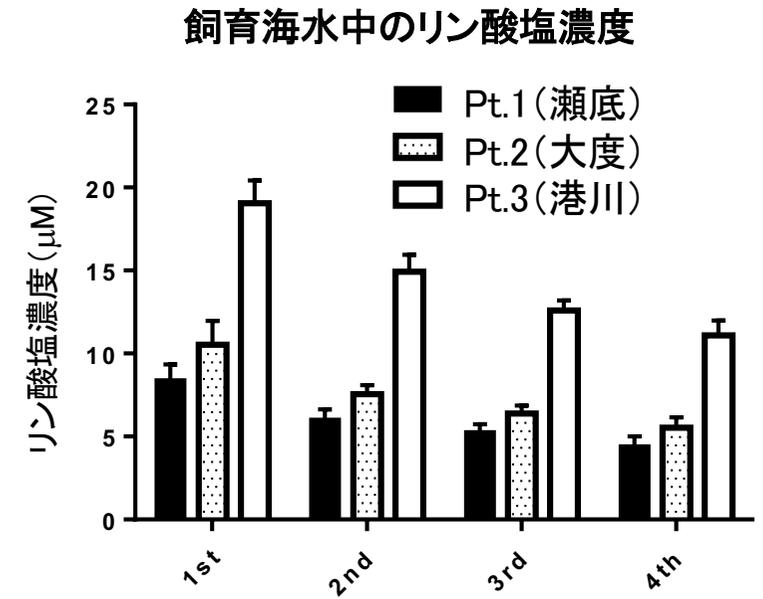
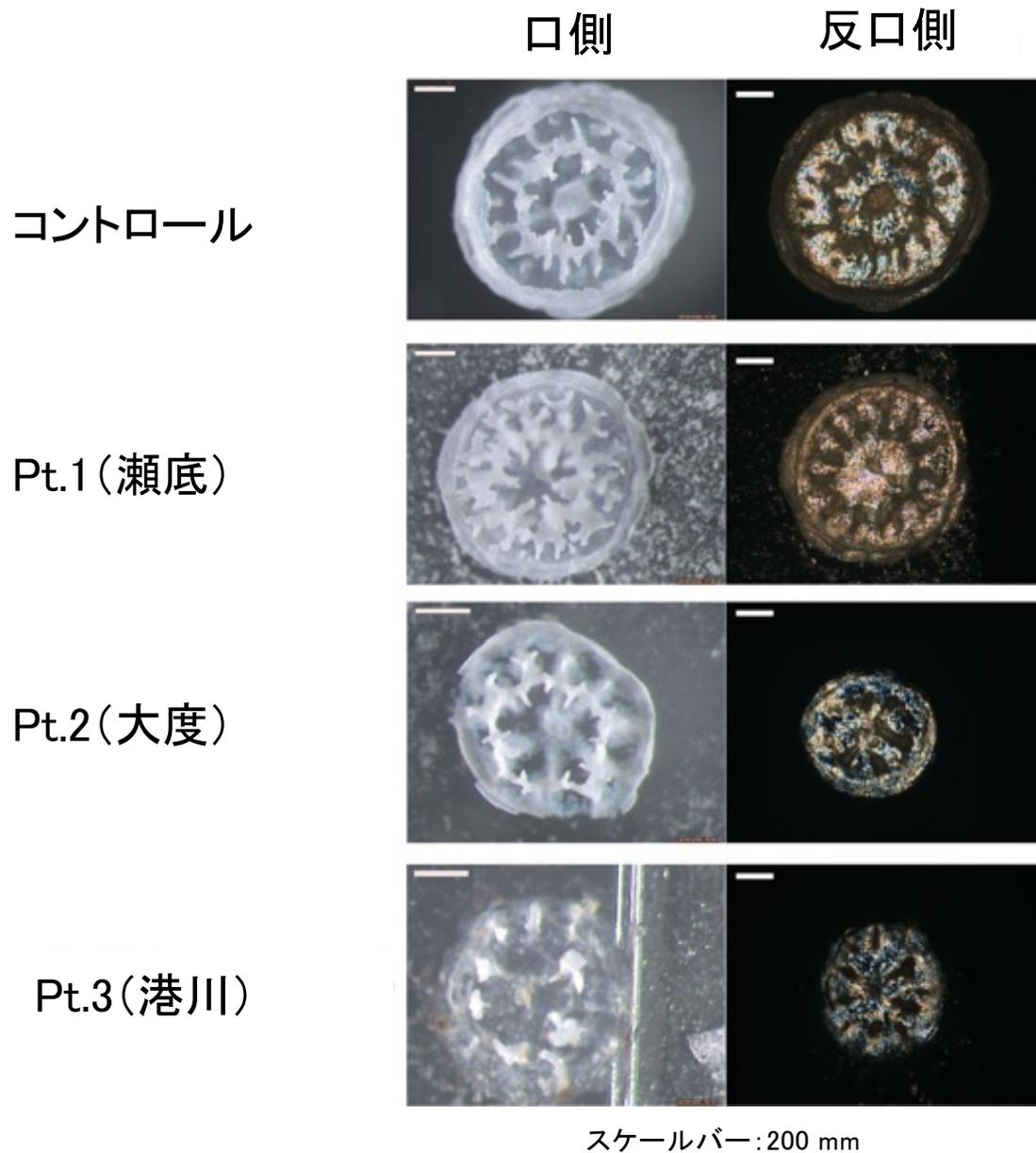
海水・底質

飼育

底質10gと海水15ml



各地の底質を用いた稚サンゴ-蓄積型栄養塩影響評価系の実施



▶各地域からの蓄積型栄養塩の稚サンゴへの影響が浮き彫りに (Iijima et al. 2021 RSOS)



発表・掲載日：2021/03/17

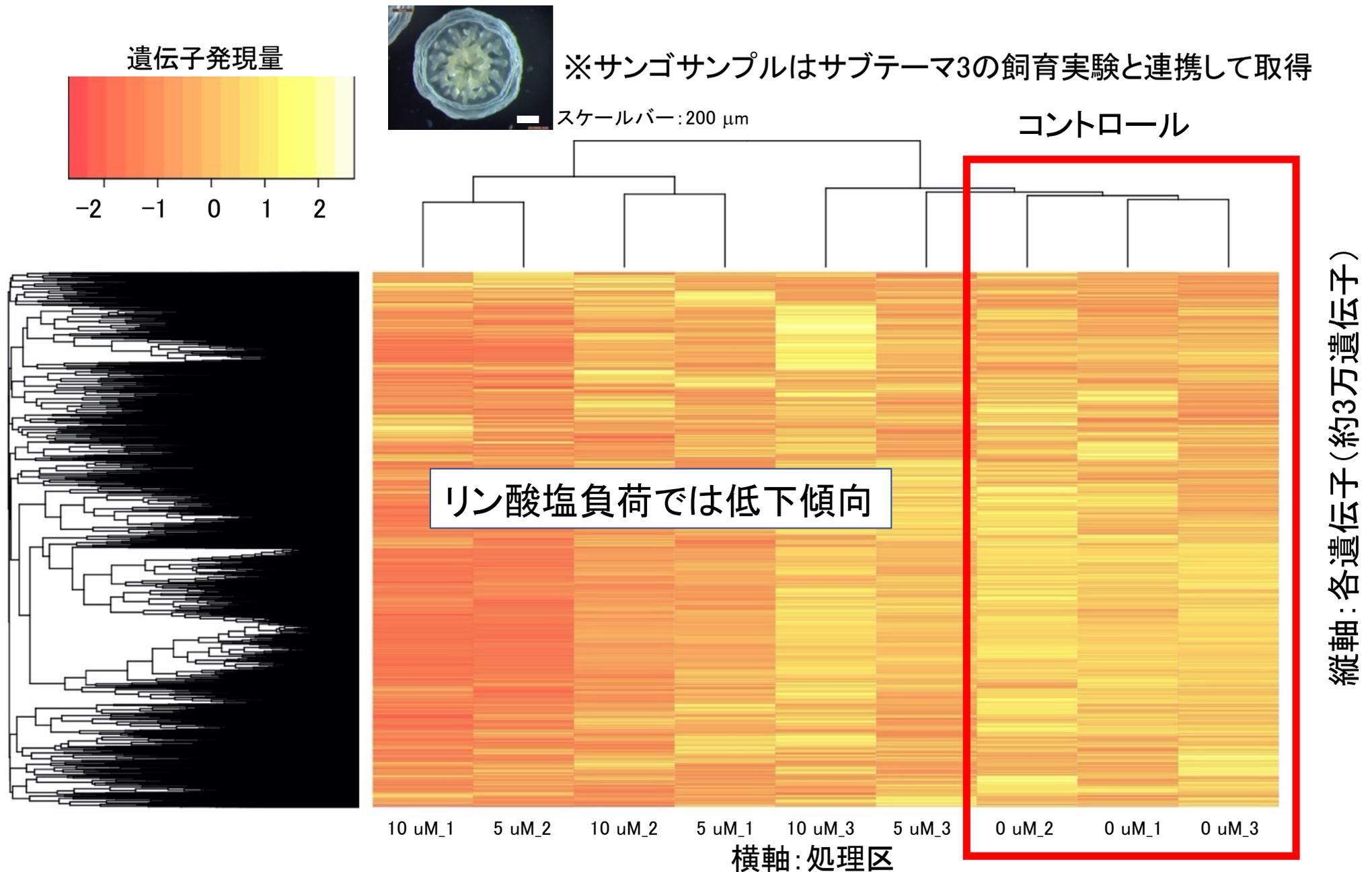
陸域からの過度のリン供給がサンゴの生育を妨げるメカニズムが明らかに

北里大学海洋生命科学部安元 剛講師、産業技術総合研究所地質情報研究部門飯島真理子産総研特別研究員、井口 亮主任研究員、琉球大学農学部安元 純助教、同理学部中村 崇准教授、同熱帯生物圏研究センター酒井一彦教授らの研究グループは、市街地や農地に近い海域で採取した石灰質の砂（※1）と共に稚サンゴ（※2）を飼育したところ、砂からリンが高い濃度で溶出し、稚サンゴが骨を作るのを妨げることを初めて明らかにしました。過度の栄養塩が海に流れ込むと、サンゴが減少することは知られていましたが、科学的なメカニズムはわかっておらず、本成果はサンゴ保全に役立つと期待されます。この成果は2021年3月17日に英国王立協会が刊行する“Royal Society Open Science”に掲載されます。



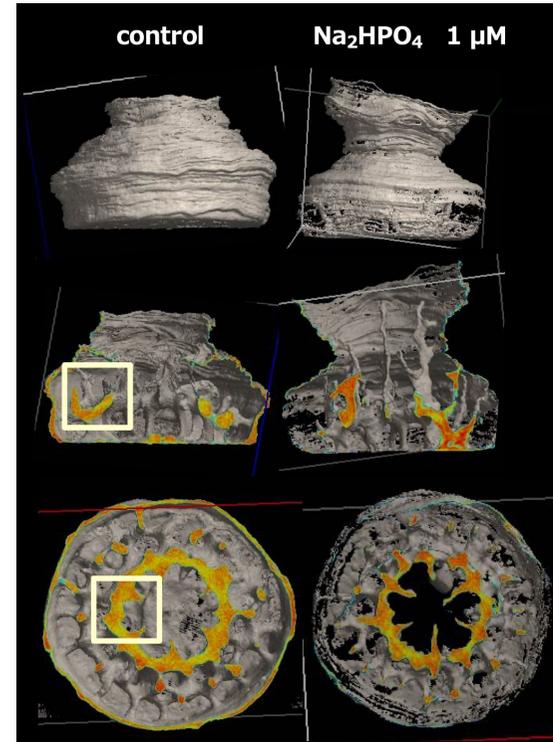
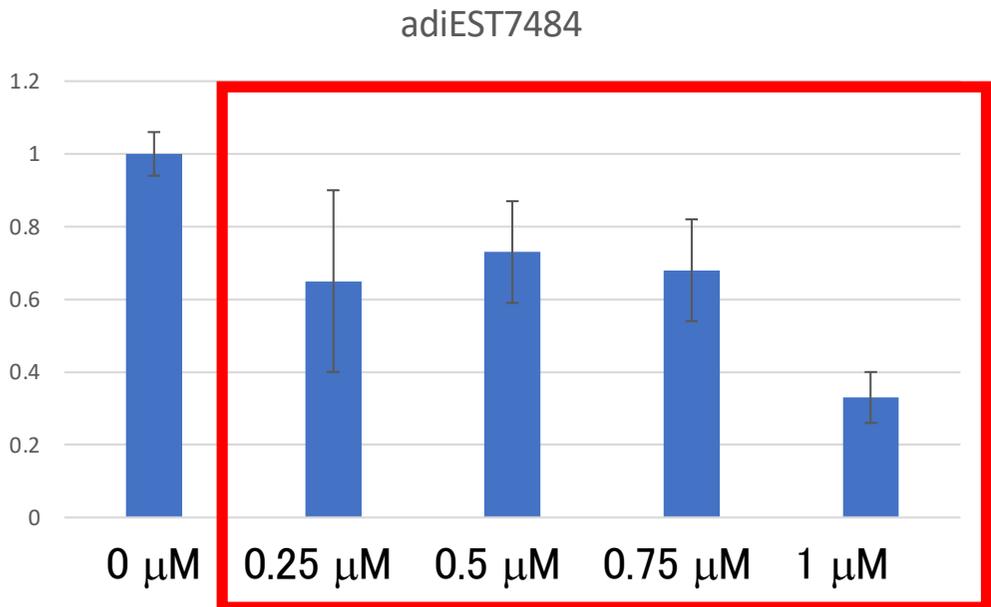
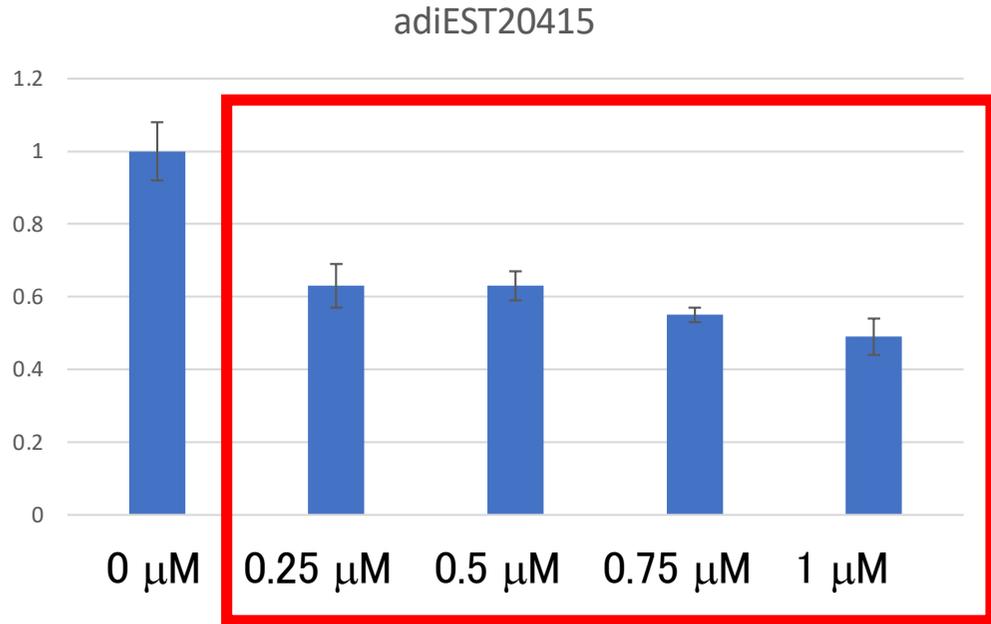
▶石西礁湖自然再生協議会・沖縄県環境科学センター・沖縄県衛生環境研究所でも蓄積型栄養塩評価を取り入れることを検討

リン酸塩負荷を与えた稚サンゴの網羅的遺伝子発現パターン



＞石灰化関連遺伝子を含め多くの遺伝子でリン酸塩負荷で低下傾向に

リン酸塩負荷ストレスを検出する遺伝子マーカーの開発と適用



X線 μ CTでの骨格観察

リアルタイムPCRで骨格形態評価では把握しきれなかった低濃度でのリン酸塩の影響検出に成功

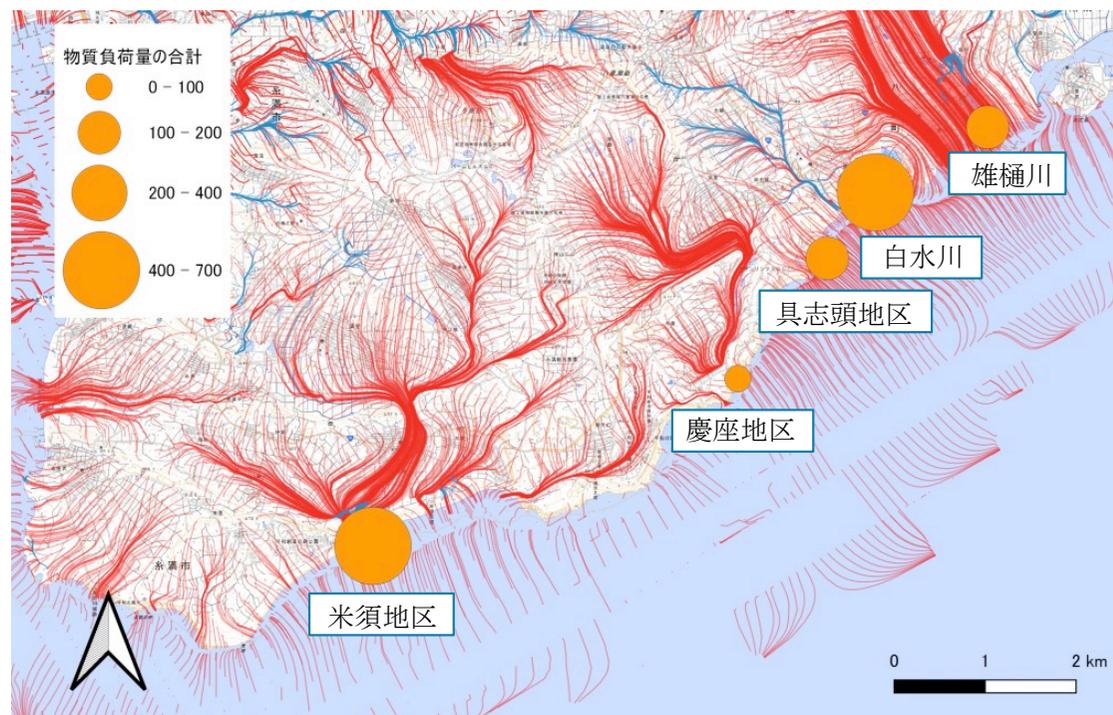
リン酸塩と $p\text{CO}_2$ の複合ストレス実験では相加的に減少している石灰化関連遺伝子も検出

水文学的手法で明らかになった沖縄島南部の特徴

物質負荷量の推定結果

	SS (t/year)	T-N (t/year)	T-P (t/year)
米須地区	407.2	121.8	4.75
慶座地区	9.8	14.4	0.03
具志頭地区	37.2	109.6	0.40
白水川	313.5	134.8	8.57
雄樋川	104.7	73.6	1.72

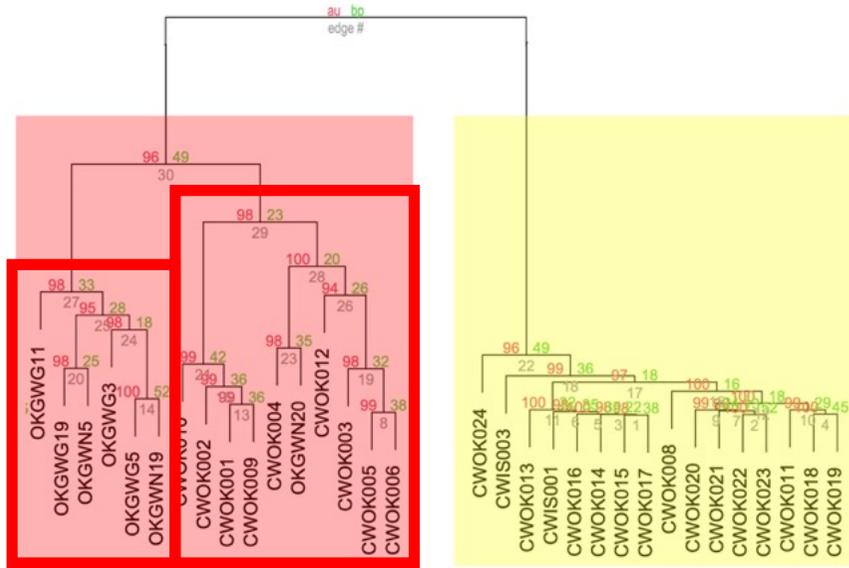
↑ 地下水 (3地区), 河川水の負荷量



↑ SS, T-N, T-Pを合計した負荷量分布図

➤ 沖縄島南部沿岸域への流出パターンと物質負荷量の詳細が明らかに

マイクロバイオーム(微生物叢)解析による沖縄島南部沿岸域の細菌群集構造

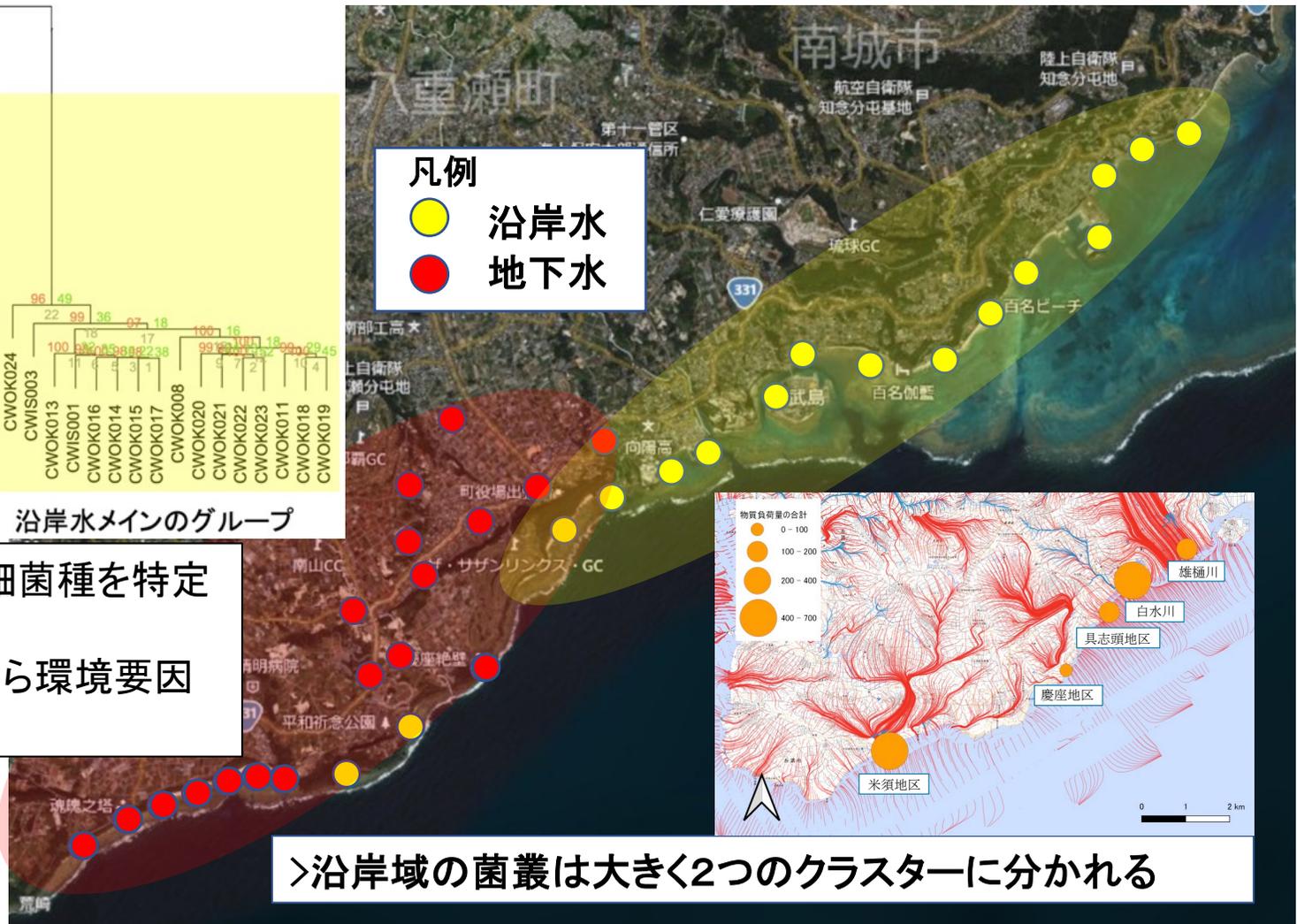


地下水メインのグループ

沿岸水メインのグループ

- ・環境要因と相関した細菌種を特定できる
- ・マイクロバイオームから環境要因を推定できる

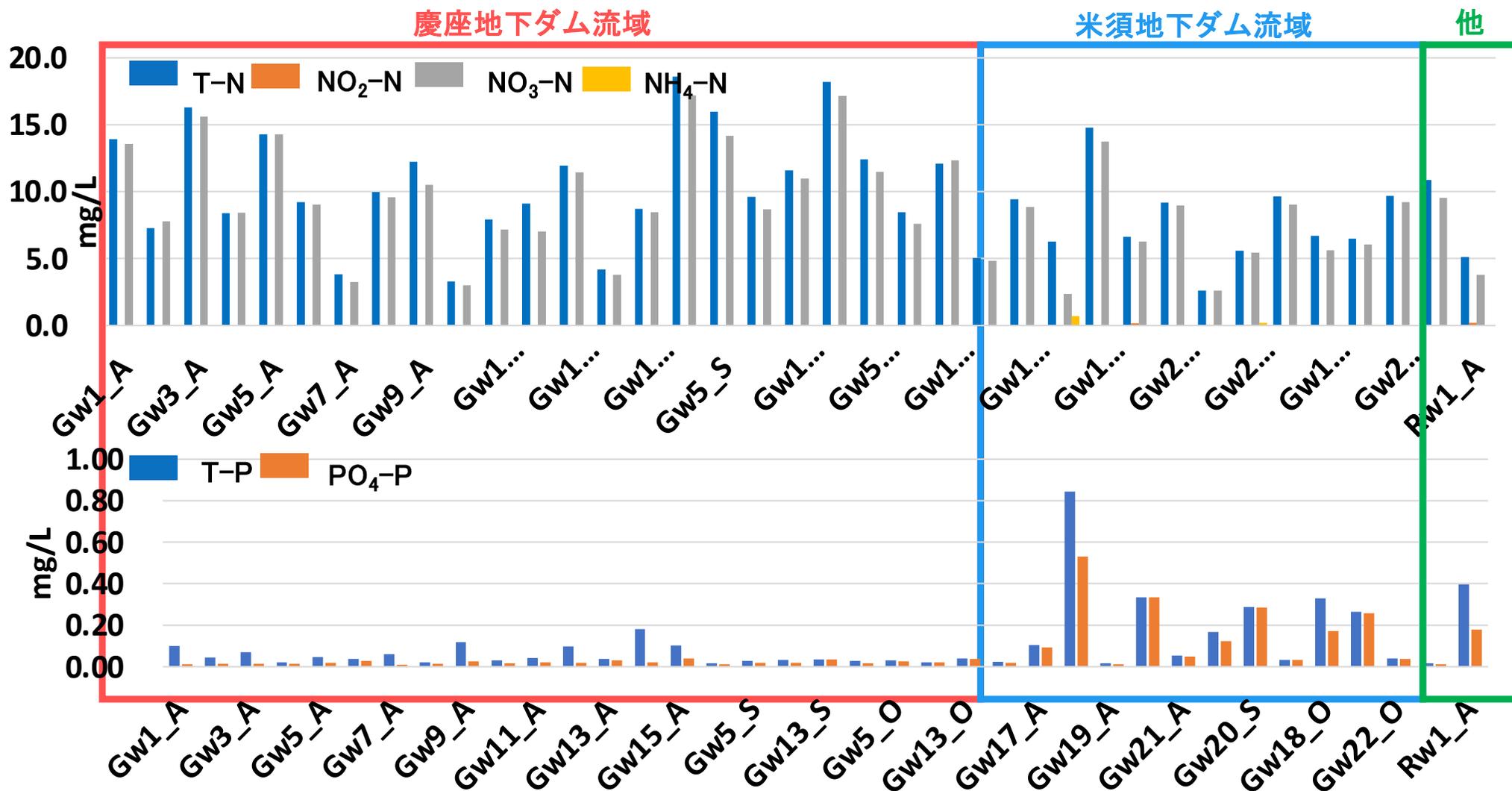
凡例
 ● 沿岸水
 ● 地下水



>沿岸域の菌叢は大きく2つのクラスターに分かれる

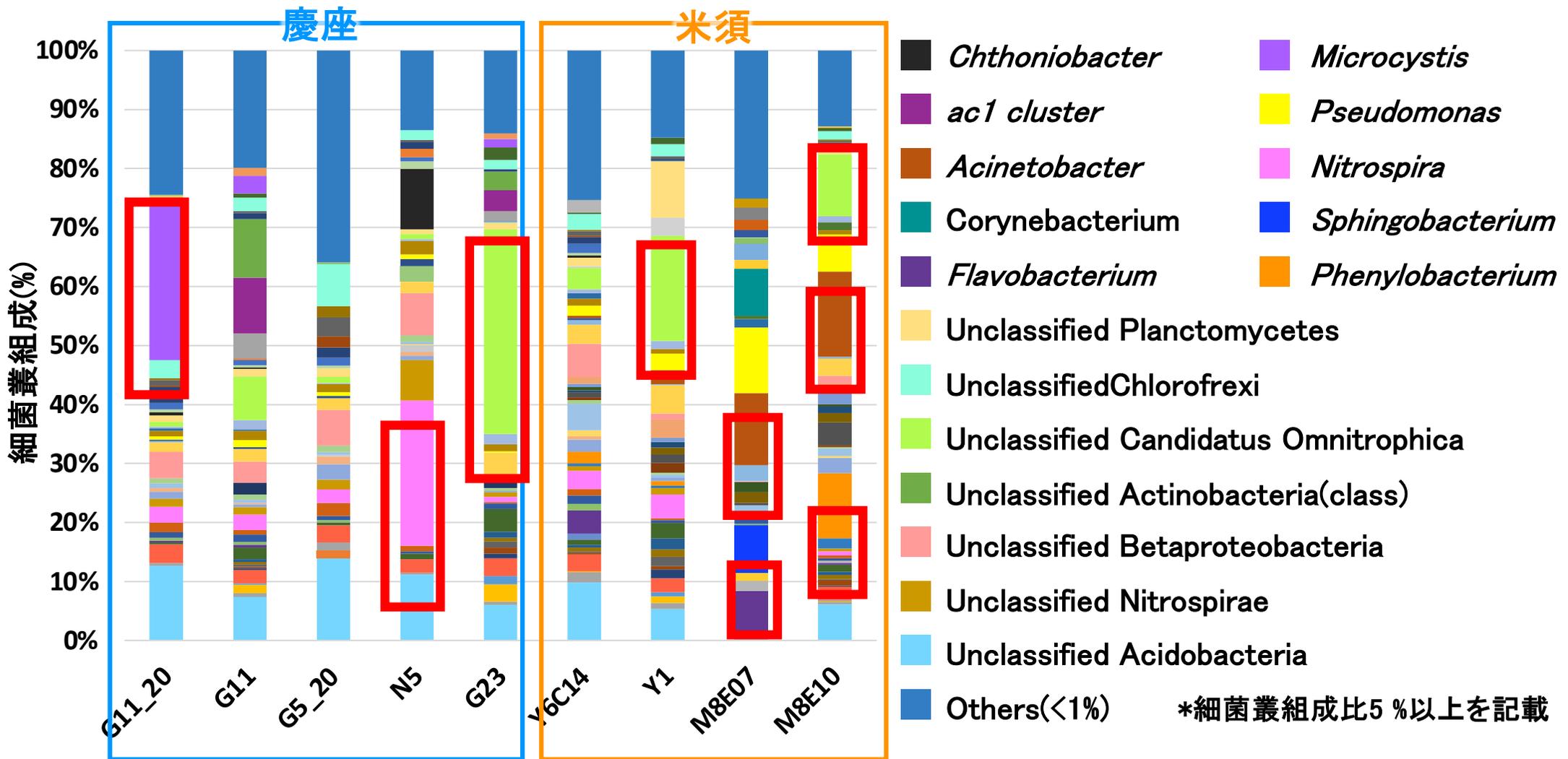
>地下水の細菌叢が沿岸域の細菌叢にも影響しうる可能性

沖縄島南部地下水の栄養塩の状況



＞地下ダム流域間でリン酸塩が顕著に異なる傾向

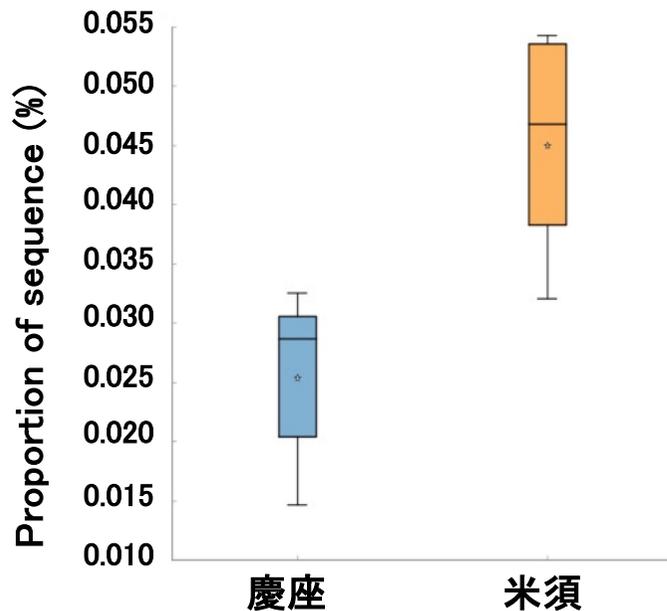
地下水サンプルにおける属レベルの細菌叢組成



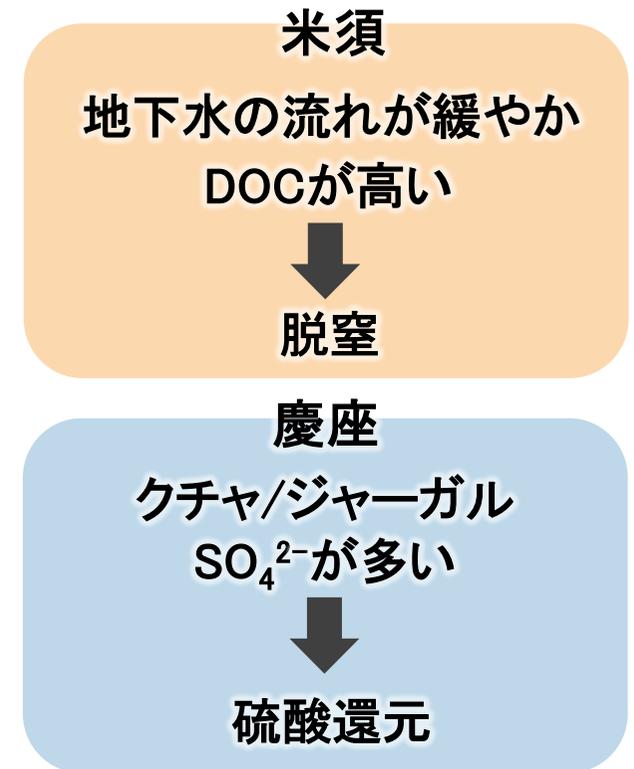
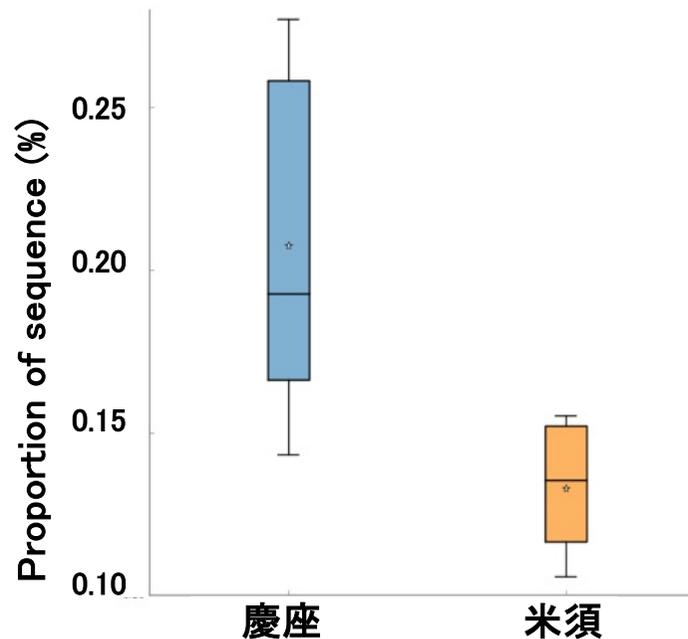
＞地下ダム流域間で細菌叢が顕著に異なる傾向

地下水サンプルにおける機能遺伝子組成

【A:窒素代謝 nar I・nar V】



【A:硫黄代謝 CysNC】



A:K00374 nitrate reductase gamma subunit [EC:1.7.99.4] nar I・nar V 慶座<米須

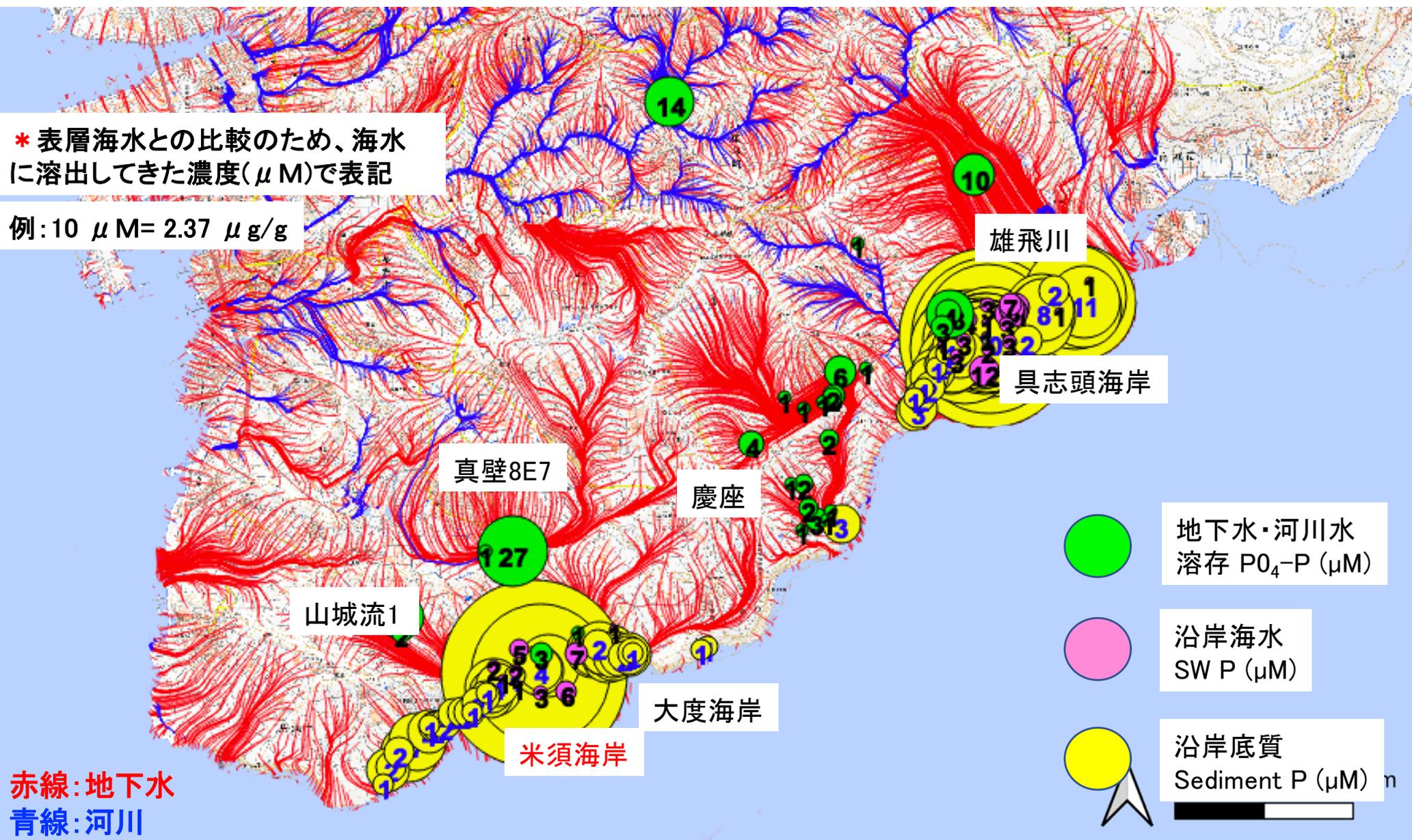
B:K00955 bifunctional enzyme CysN/CysC [EC:2.7.7.4 2.7.1.25] CysNC 慶座>米須

>地下ダム流域間で機能遺伝子組成が顕著に異なる傾向

沖縄県南部地域の蓄積型栄養塩

* 表層海水との比較のため、海水に溶出してきた濃度(μM)で表記

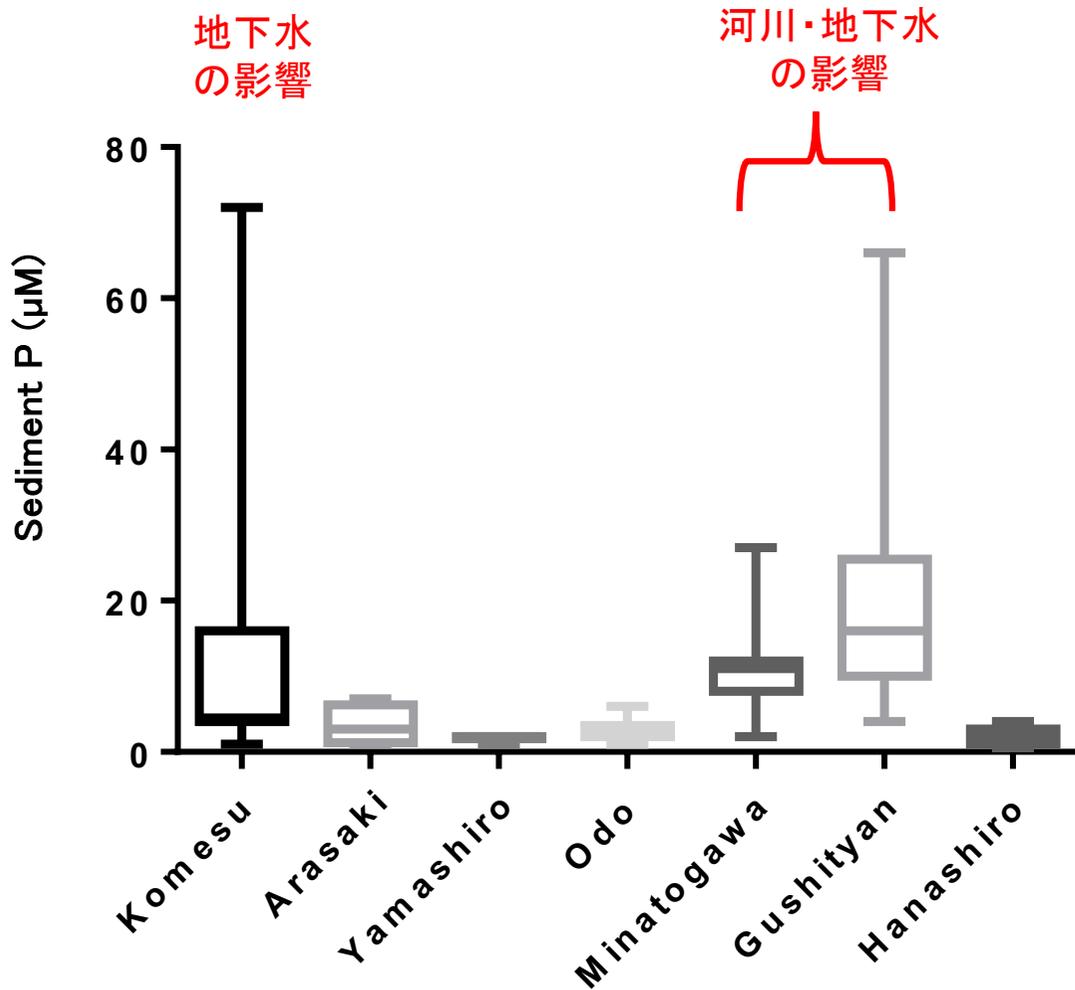
例: $10 \mu\text{M} = 2.37 \mu\text{g/g}$



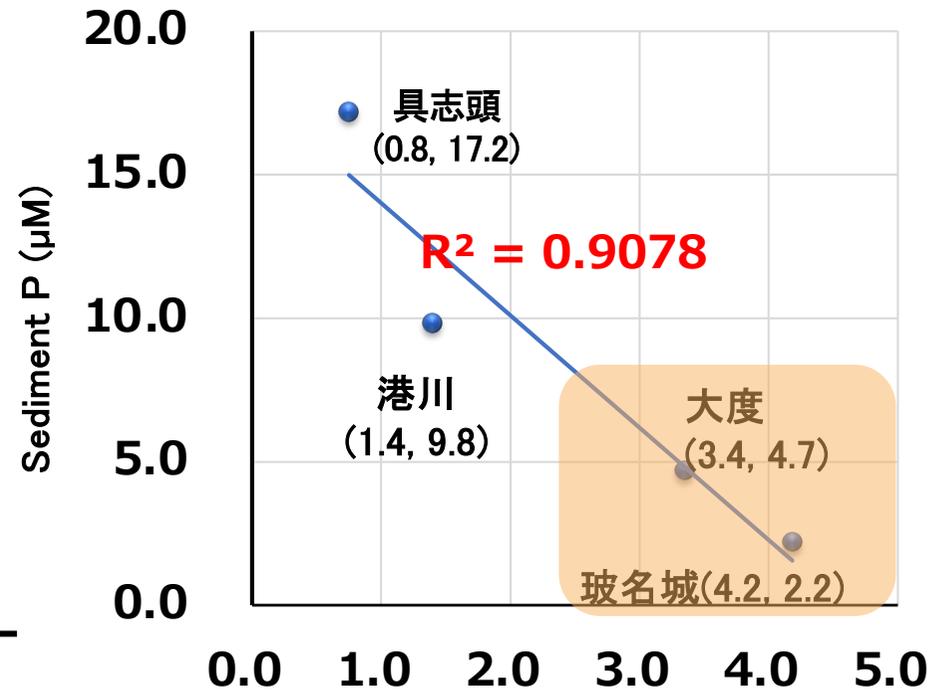
赤線: 地下水
青線: 河川

＞地下ダム流域間のリン酸塩の違いが沿岸の蓄積型リンにも影響

蓄積型栄養塩の地域間比較と稚サンゴの加入量との相関



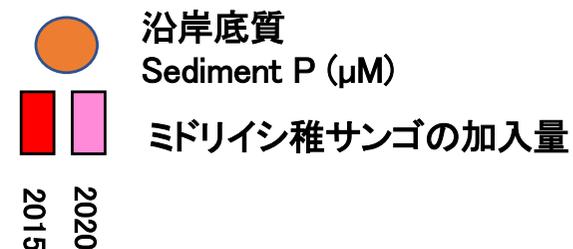
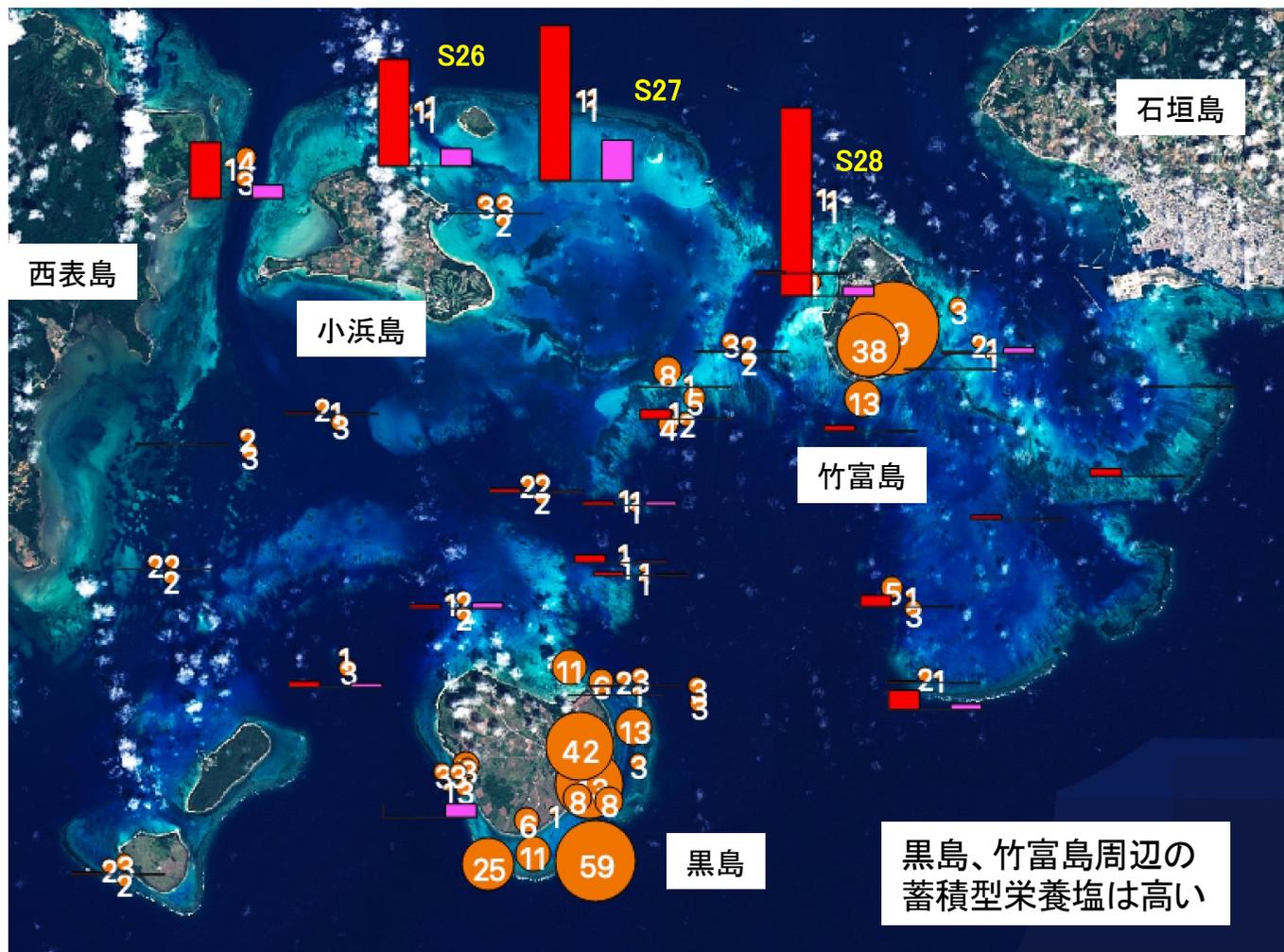
稚サンゴの加入量と蓄積型Pの相関



* Total Recruits (稚サンゴの加入)
 キクメイシ、ハマサンゴ、コモンサンゴ

蓄積型リンはサンゴ加入にも負の影響を及ぼす可能性

石西礁湖の蓄積型栄養塩と稚サンゴの加入量



ミドリイシ稚サンゴの加入量が多い
北側のS26, S27, S28



沿岸底質
Sediment P (μM)は1程度

沿岸底質
Sediment P (μM)は3以上

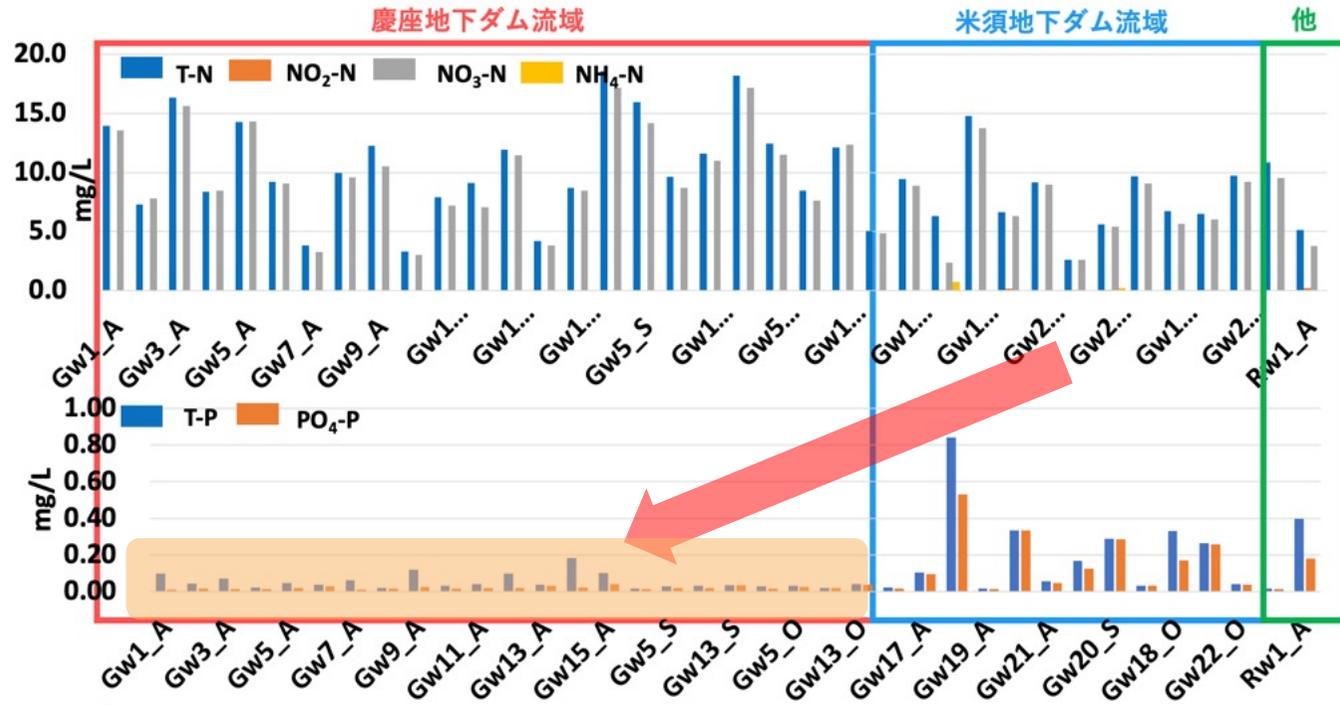


ミドリイシ稚サンゴの
加入量極端に低下

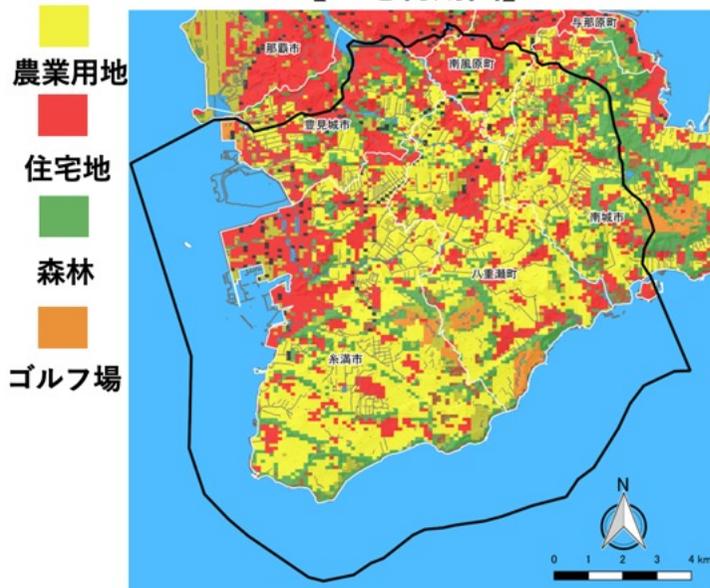
> 閾値: 沿岸底質 Sediment P (μM) 望ましくは1程度、少なくとも3以下

※環境省・石西礁湖自然再生事業の調査項目に組み込まれて予算編成にも反映された

沿岸域の蓄積型栄養塩抑制のための対策



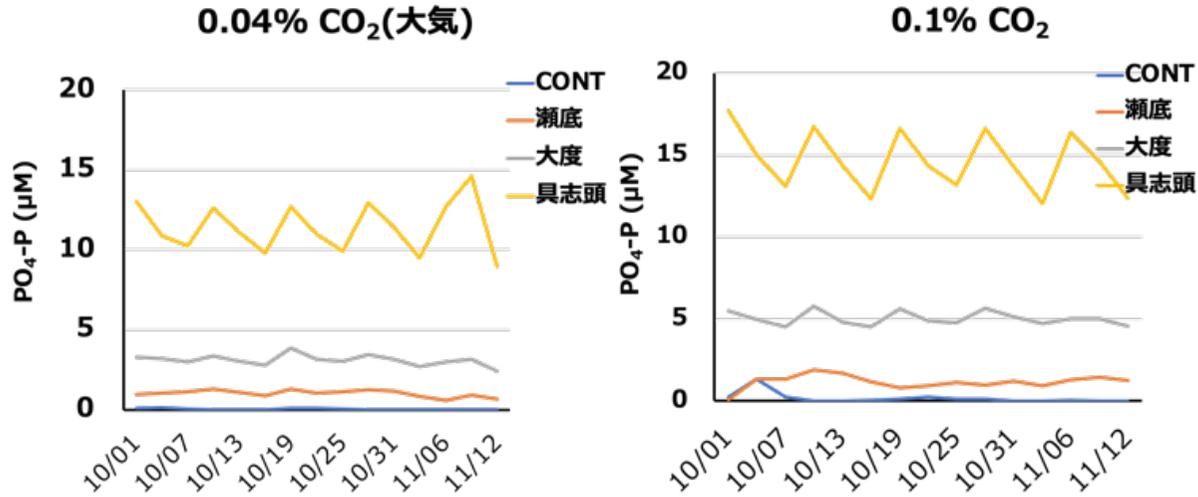
【土地利用図】



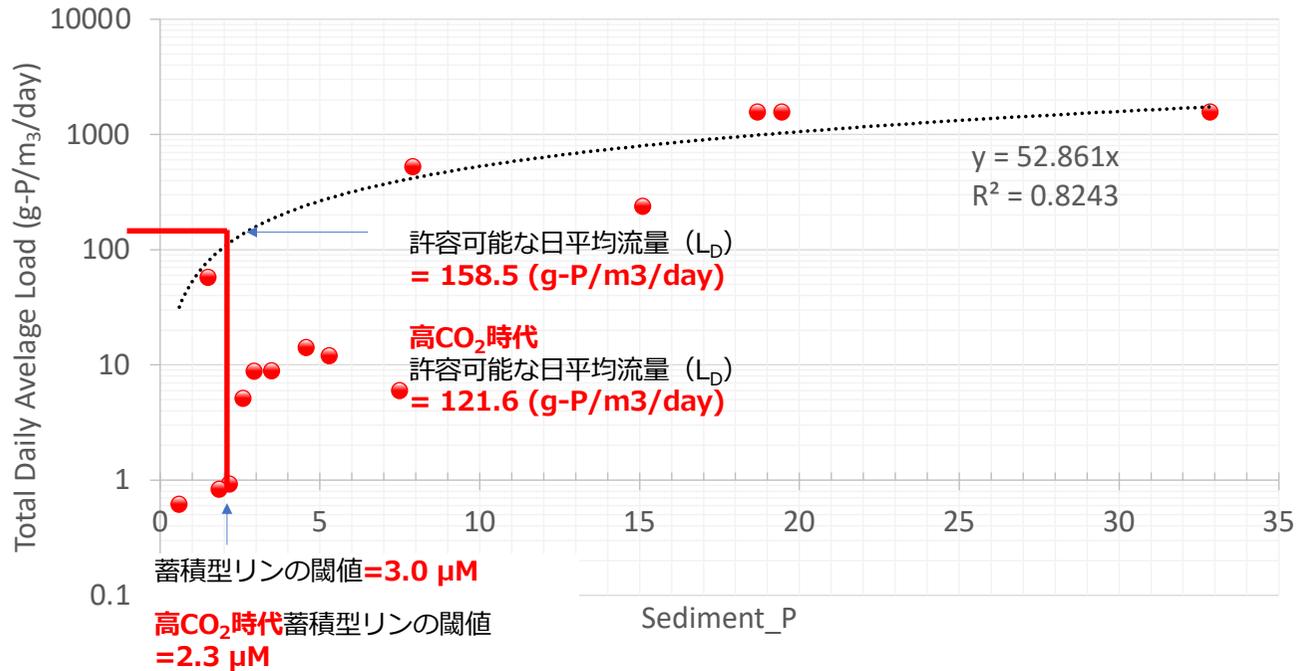
地下水のリンを下げしていく必要性

農業用地におけるリン負荷対策の
必要性

高CO₂時代を想定した蓄積型リンの挙動

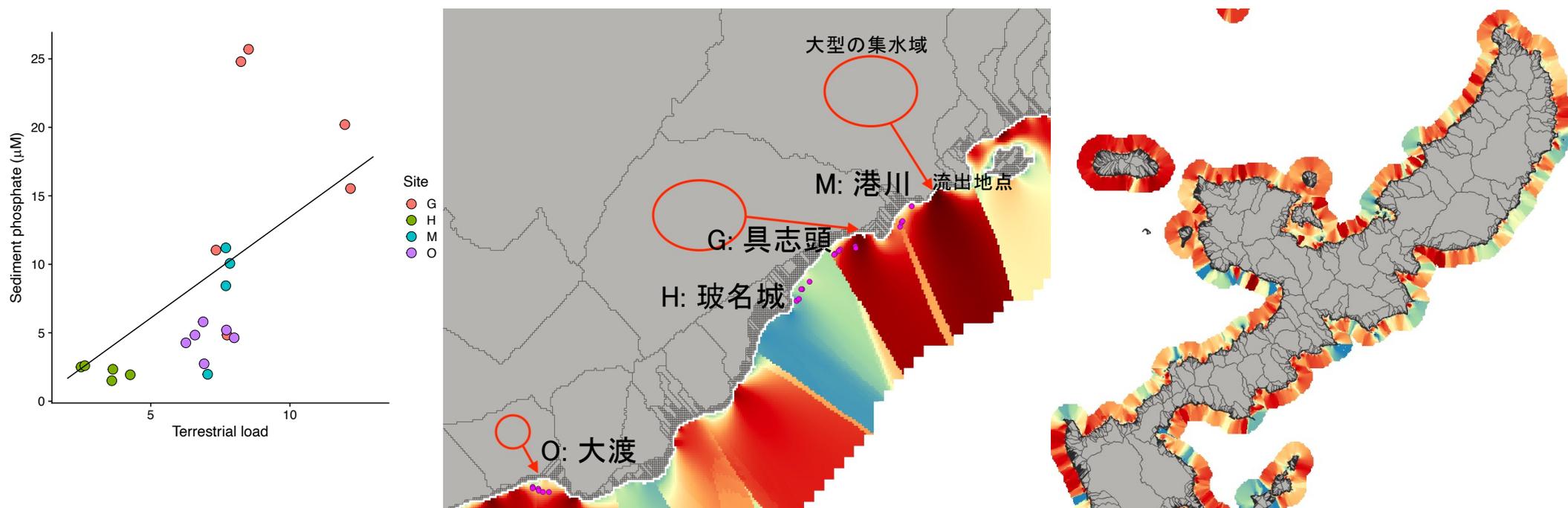


飼育海水のリン濃度は平均1.3倍に



>将来の高CO₂を想定した蓄積型リンの影響も考慮していく必要性

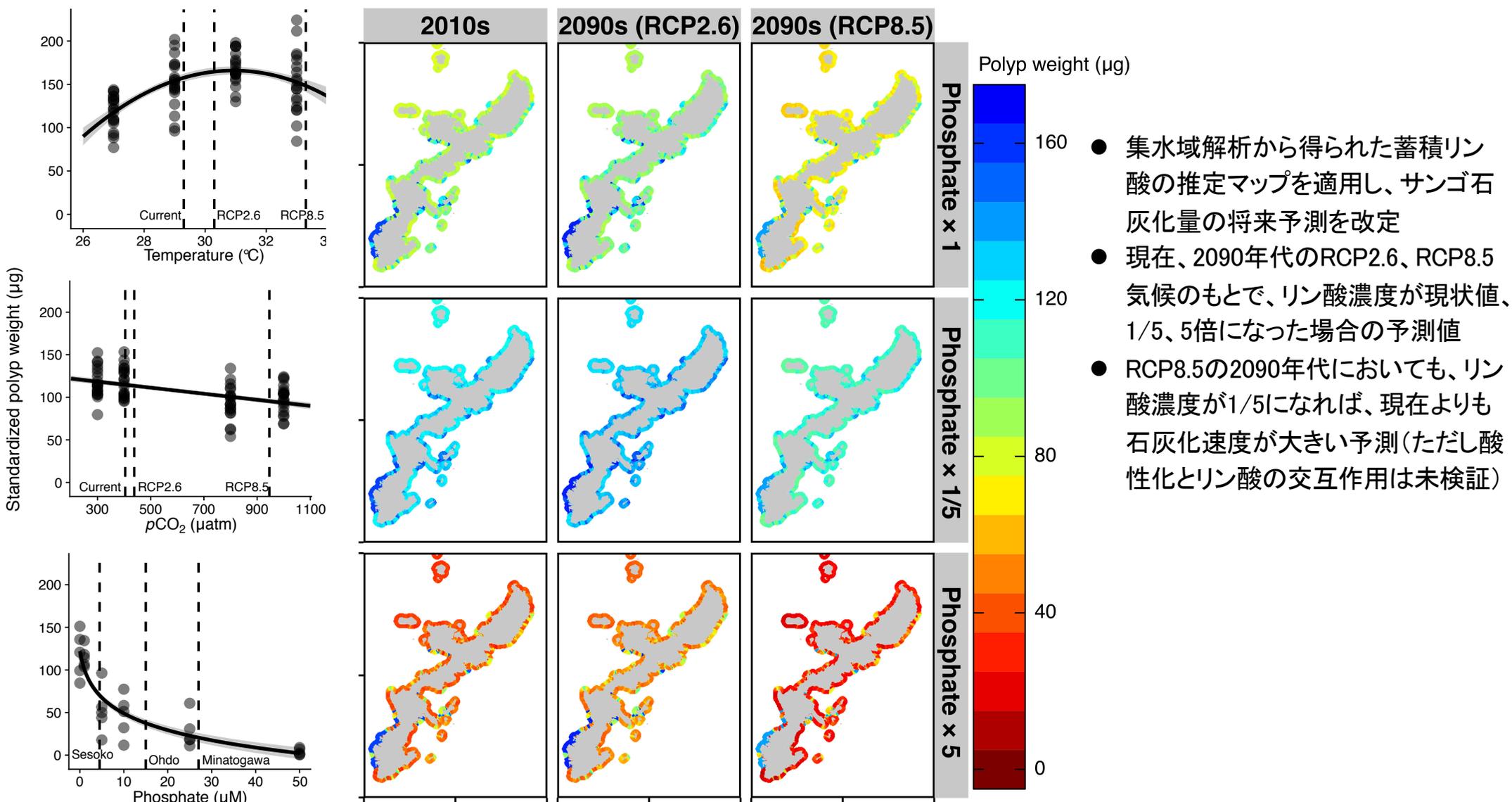
GIS解析で得られた集水域内の農地面積と蓄積リン酸データのモデル式の構築と広域適用



- ・日本域表面流向マップ(J-FlwDir: Japan Flow Direction)を用いた集水域作成、標高差から河川流路を再現したため小河川も網羅できた
- ・沖縄県土地利用図における農業用地+自然植生/100の合計の対数値(農地が自然植生の100倍負荷源と仮定)
- ・回帰分析: 野外調査データの蓄積リン酸 ~ 集水域内陸域負荷 ($R^2 = 0.452$)
- ・回帰式を用いて広域の蓄積リン酸推定値を得た
- ・沖縄本島エリアについて整備終了(南西諸島全域へも拡張が可能)
- ・沖縄本島沿岸の多くの地点でリン酸目標値 $3\mu\text{M}$ を超える推定

>土地利用から沿岸の陸域負荷を推定するGISモデルを開発

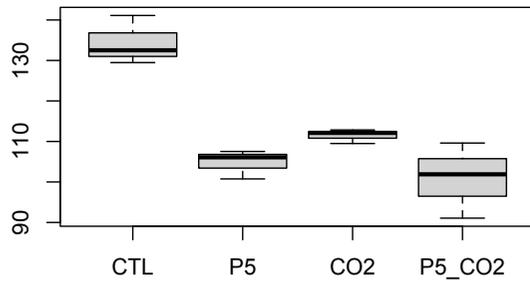
飼育実験で得られたサンゴ石灰化と環境要因のモデル式の構築と広域適用



＞各地域の将来の高CO₂を想定したサンゴ石灰化ポテンシャルの可視化に成功

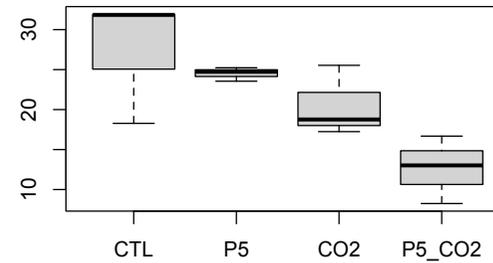
複合ストレス影響を受けやすい石灰化関連遺伝子の発現量と環境要因のモデル式の構築と広域適用

adi_EST_assem_14006

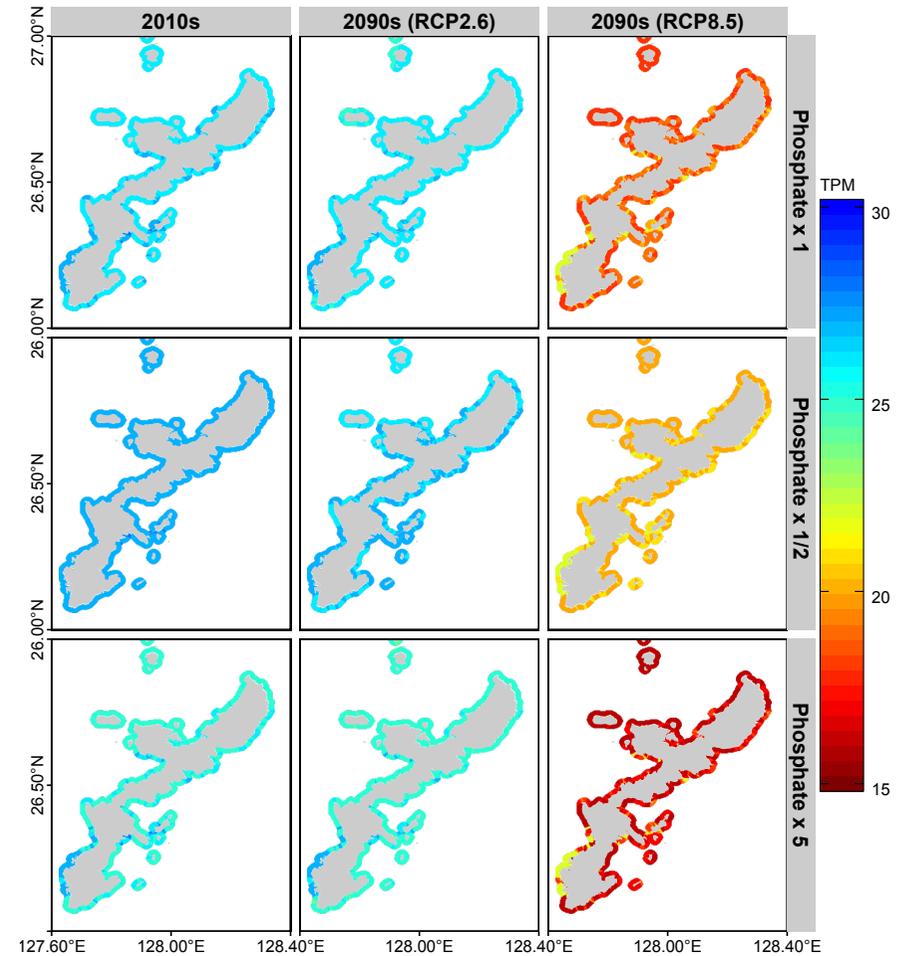
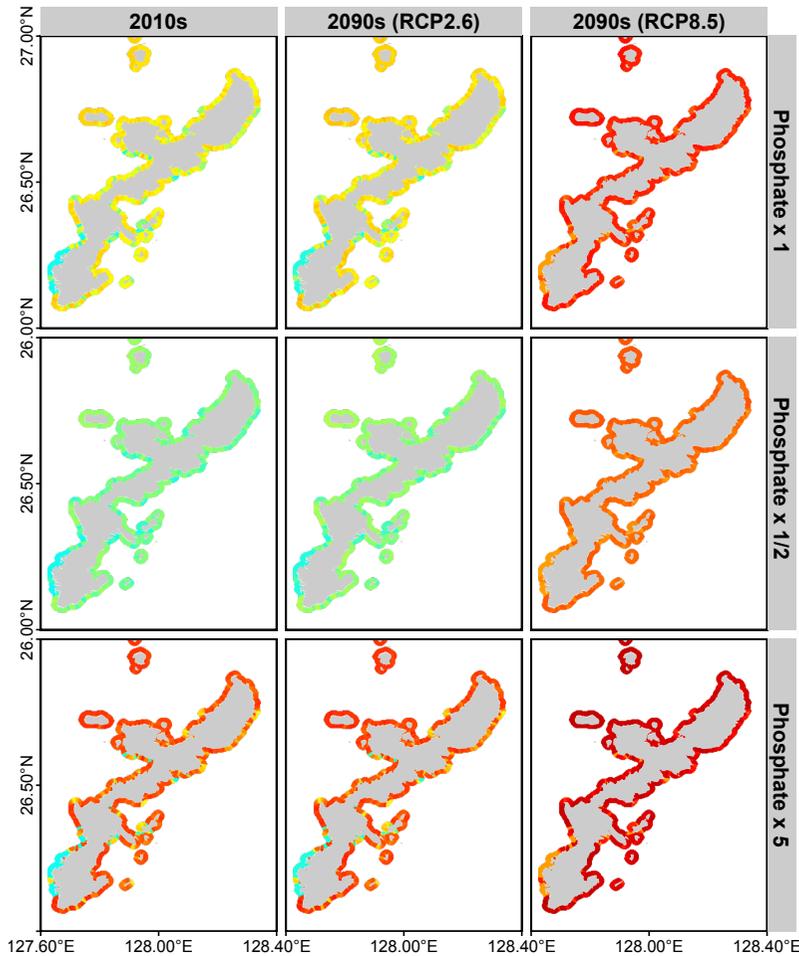


サンゴ骨格の
有機基質
Galaxin遺伝子

adi_EST_assem_14016

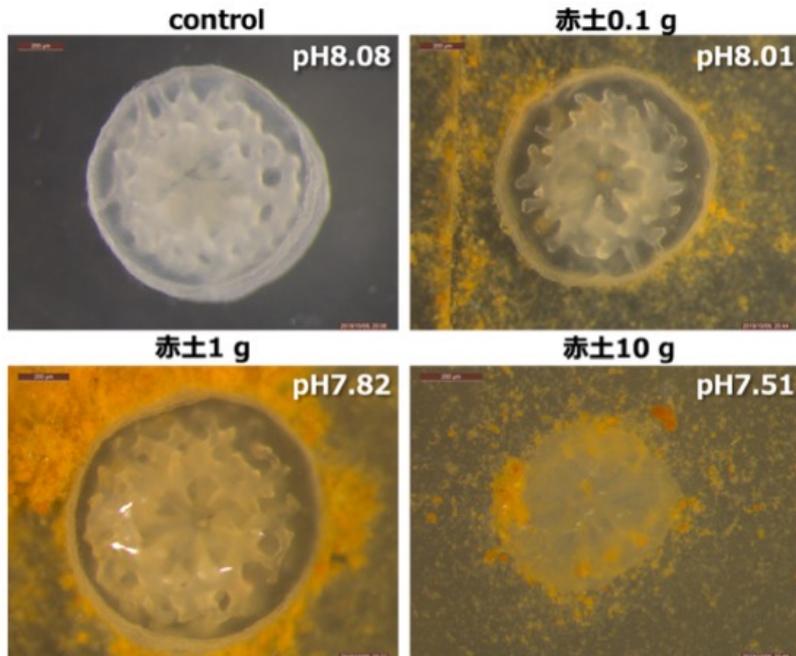
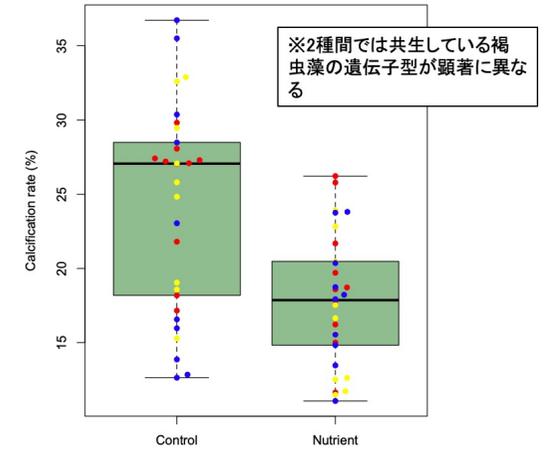
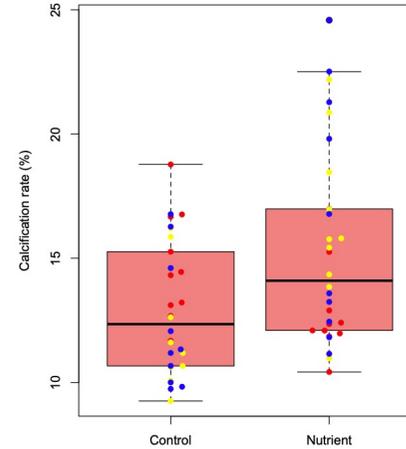
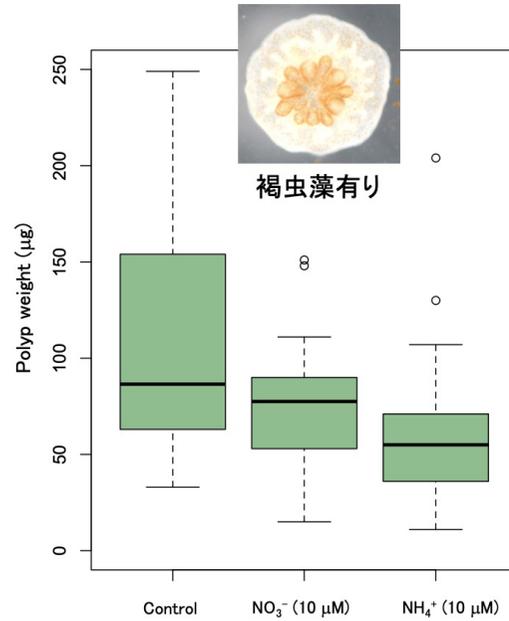
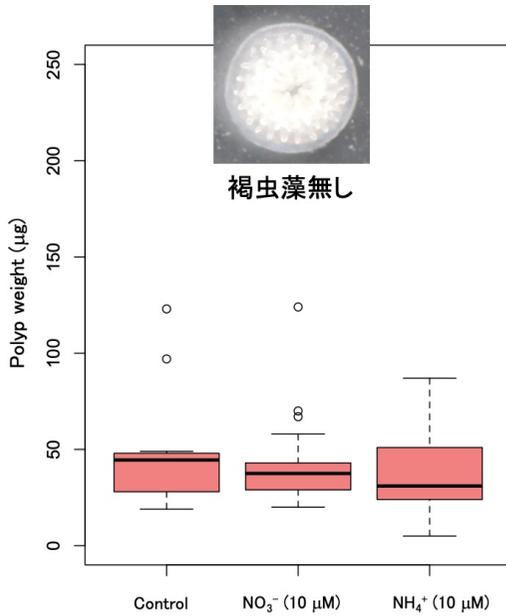


サンゴ骨格の
有機基質MAM
遺伝子



＞各地域の将来の高CO₂を想定したサンゴ石灰化ポテンシャルの可視化に遺伝子発現レベルでも成功

窒素負荷・懸濁物負荷がサンゴ石灰化に及ぼす影響



＞稚サンゴでは褐虫藻共生状態では窒素負荷で成長の低下が観察された

＞成体サンゴでは栄養塩に対する石灰化応答に種間変異が観察された

※栄養塩負荷とpCO₂・高温複合ストレス実験でも同様の傾向

＞赤土への暴露でも稚サンゴの石灰化の低下が観察された

＞Cuへの暴露でも稚サンゴの生残率の低下が観察された

＞陸域負荷はサンゴ石灰化に直接影響を及ぼす

5-2. 環境政策等への貢献：サンゴ礁生態系保全・回復に向けての提案

1: 沿岸域の蓄積型栄養塩(リン)

全体的に蓄積型栄養塩は少なくとも3 uM以下まで抑えるのが望ましいが、リンは負荷量としてサンゴ石灰化に影響すること、遺伝子解析でもリンは低濃度で影響が生じうるので、できる限り低く抑えることが望ましい。

2: サンゴ礁の陸源負荷対策のための栄養塩負荷量閾値設定

沖縄島南部をモデルにすると、沿岸のサンゴの生育を保証する日平均流入負荷量は158.5 g-P/m³/dayと推定。高CO₂時代における許容可能な日平均流入負荷量(LD)は121.6 g-P/m³/dayと推定された。

3: 今後のCO₂上昇による影響

CO₂上昇に伴い海水中の蓄積型リンの溶出が上昇するので、将来的にはより閾値を厳しく判断していく必要性。

4: サンゴ石灰化に対する栄養塩負荷ハザードマップの提案

今後のCO₂上昇も踏まえて陸域負荷が生じやすい場所でのリン酸塩の低減を考慮した陸域利用の必要性。

本課題におけるアウトカム(2019年度-2021年度まで)

- 1) 環境省・石西礁湖自然再生事業の調査項目に蓄積型栄養塩評価が組み込まれた。
- 2) 本課題参画者4名(安元純・中村・安元剛・熊谷)が石西礁湖自然再生協議会・第8期委員に選定され、サンゴ礁の栄養塩・群集解析に関する助言を行った。
- 3) サブ2代表者の安元純が八重瀬町地下水審議会の学識者委員に選定され、栄養塩・水循環の助言を行った。
- 4) サブ2分担者の酒井が、沖縄県が行っており、県庁環境保護課が毎回参加している「沖縄県サンゴ礁保全再生地域モデル事業調査研究等推進会議」の議長を務め、本課題で得られた成果の共有を行った。
- 5) サブ1・2代表の井口と安元剛が、日本サンゴ礁学会保全委員会から、サンゴ礁域の栄養塩に関するガイドライン作成への協力依頼を受け、関連情報の提供を行った。
- 6) 蓄積型リン評価に関しては、沖縄県環境科学センター・沖縄県衛生環境研究所からも手法に関する問い合わせがあり、沖縄県内での本研究の成果の社会実装が進んでいる。

6. 研究成果の発表状況:本課題におけるアウトプット(2019年度-2021年度まで)

<査読付き論文(受理済)>

- 1) Manullang C, Herwindra I, Iguchi A, Miyagi A, Tanaka Y, Nojiri Y, Sakai K. Responses of branching reef corals *Acropora digitifera* and *Montipora digitata* to elevated temperature and pCO₂. PeerJ 8:e10562. 2020. aa
- 2) 齋藤光代, 安元 純, 杉山 歩, 地下水と生態系;これまでの研究動向と今後の展開.地下水学会誌 (Journal of Groundwater Hydrology) 62:525-545.2020.
- 3) Iijima M, Yasumoto J, Iguchi A, Koiso K, Ushigome S, Nakajima N, Kunieda Y, Nakamura T, Sakai K, Yasumoto-Hirose M, Mori-Yasumoto K, Mizusawa N, Amano H, Suzuki A, Jimbo M, Watabe S, Yasumoto K. Phosphates bound to calcareous sediments hamper skeletal development of juvenile coral. Royal Society Open Science 8:201214. 2021.
- 4) Iijima M, Yasumoto J, Mori-Yasumoto K, Yasumoto-Hirose M, Iguchi A, Suzuki A, Mizusawa N, Jimbo M, Watabe S, Yasumoto K. Visualisation of phosphate in subcalicoblastic extracellular calcifying medium and on a skeleton of coral by using a novel probe, fluorescein-4-isothiocyanate-labelled alendronic acid. Marine Biotechnology in press.

<準備中の論文>

- 1) Iijima et al. Verification of the phosphate loading as the inhibition factor on the skeletal formation in coral.
- 2) Iguchi et al. Whole transcriptome analysis of coral polyps reveals complex responses to ocean acidification and phosphate loading.
- 3) Yasumoto et al. Estimation of the terrestrial phosphate loading by integrated hydrological modelling for evaluation of phosphorus accumulated in calcareous sediments.
- 4) Nakamura et al. Variations in coral reef assemblages across a latitudinal gradient on Ryukyu Archipelago, Japan.
- 5) Kumagai et al. Future projection and adaptation strategy for coral growth under climate change and coastal development.

>査読付学術誌に4本論文が掲載(5本原稿準備中)。プレスリリースを1件実施。42件の学会発表を実施。

本課題におけるアウトリーチ(2019年度-2021年現在まで)

- 1) 井口亮(産業技術総合研究所)・郁文館高校PBLツアー(屋久島・口永良部島)事前学習講師。高校生21名、引率教員2名、合計23名を対象に環境科学の講義と実習。2019年4月20日。郁文館高校。
- 2) 井口亮(産業技術総合研究所)・横浜市立横浜サイエンスフロンティア高校宮古島研修事前学習講師。高校生10名、中学生10名、引率教員2名、合計22名を対象に環境科学の講義と実習。2019年8月28日。横浜市立横浜サイエンスフロンティア高校。
- 3) 中村崇(琉球大学)・静岡県立椋原高校研修講師。高校生15名、引率教員2名、合計17名を対象に環境科学の講義。2019年8月28日。琉球大学西原キャンパス。
- 4) 安元純(琉球大学)他。八重瀬湧き水クラブ9月会講師。「海辺の生き物観察会@破名城ビーチ、八重瀬町」。主催:地域資源保全の会、水の環プロジェクト、環境研究総合推進費課題4-1907。地元小学生と保護者、20名程度を対象に環境科学の実習。2019年9月29日。沖縄県八重瀬町。
- 5) 安元純(琉球大学)他。サイエンスアゴラ2019講師。ESD(持続可能な開発のための教育)教材とプログラムの開発「ナゼ?ホント?多良間は科学の宝島!」。小中学生と保護者、20名程度を対象に環境科学の実習。2019年11月17日。テレコムセンタービル。
- 6) 安元剛(北里大学)・第311回京都大学生態研セミナー(一般公開)。2019年11月15日。京大 大学生態学研究センター。
- 7) 井口亮(産業技術総合研究所)・2019年度「特別講演会」及び「向陽SSH生徒研究発表会」講師。高校生・教職員500名程度を対象に環境科学の講演。2020年1月28日。沖縄県立向陽高校。
- 8) 中村崇(琉球大学)・第26回石西礁湖自然再生協議会での講演。石西礁湖でのミドリイシ属における大規模白化の影響について。主催:環境省・地元行政機関・観光業・漁業者・高校生など、9個人、16団体・法人(26名)、12行政(17名)の委員37機関、一般傍聴者含め計52名。2020年2月16日。石垣市商工会館。
- 9) 井口亮(産業技術総合研究所)・沖縄県立八重山高等学校・高校生向け環境研究特別授業・演習講師。高校生・教職員90名程度を対象に環境科学の講義と実習。2020年3月17日(火)-18日(水)。沖縄県立八重山高等学校。
- 10) 安元純(琉球大学)・八重瀬町水資源調査講師。主催:JST SOLVE for SDGsプロジェクト。地元高校教員3名を対象に環境科学の実習。2020年8月19日-23日。沖縄県八重瀬町。
- 11) 井口亮(産業技術総合研究所)。「地球規模・地域規模の環境変化から読み解く海洋生物に迫る危機」。2020年1年理数科SSH特別授業(環境科学)講師。高校生・教職員76名を対象に環境科学の講演。2020年12月8日。沖縄県立向陽高校。
- 12) 安元剛(北里大学)。「リン酸負荷と蓄積型栄養塩がサンゴ骨格形成に及ぼす影響」。令和3年度石西礁湖自然再生協議会 学術調査部第2回作業チーム基調講演。環境省職員・研究者ら15名を対象に講演。2021年6月7日。オンライン。
- 13) 安元純(琉球大学)。「サンゴ礁島嶼における統合的水資源/沿岸管理の在り方」。令和3年度石西礁湖自然再生協議会 学術調査部第2回作業チーム基調講演。環境省職員・研究者ら15名を対象に講演。2021年6月7日。オンライン。
- 14) 井口亮(産業技術総合研究所)。「海洋生物に迫る危機を地球規模・地域規模の環境変化から読み解けるか」。2021年1年理数科SSH特別授業(環境科学)講師。高校生・教職員85名を対象に環境科学の講演。2022年1月18日。オンライン。
- 15) 安元剛(北里大学)。「(1)蓄積型栄養塩の分布状況 令和3年9月調査における分析結果と考察」。令和3年度石西礁湖自然再生協議会 学術調査部第3回作業チーム。環境省職員・研究者ら15名を対象に講演。2021年6月7日。オンライン。
- 16) 安元純(琉球大学)。「(2)陸域の影響調査について 水文モデルの作成方針」。令和3年度石西礁湖自然再生協議会 学術調査部第3回作業チーム。環境省職員・研究者ら15名を対象に講演。2021年6月7日。オンライン。
- 17) 安元純(琉球大学)。「(3)地下水調査について 地下水の観測計画案」。令和3年度石西礁湖自然再生協議会 学術調査部第3回作業チーム。環境省職員・研究者ら15名を対象に講演。2021年6月7日。オンライン。

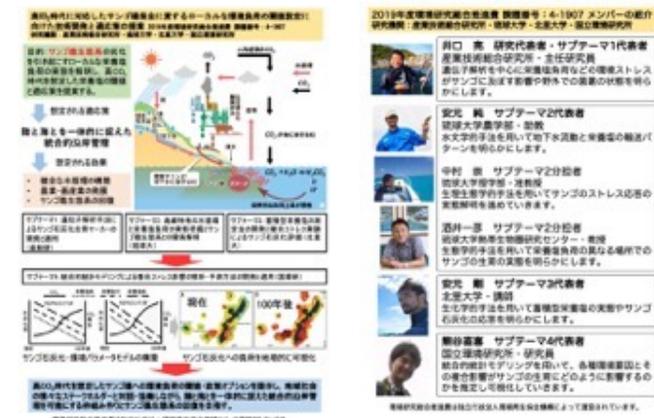
※専用ウェブサイトで情報発信: <https://sites.google.com/site/iguchilabo/project-4-1907>



サイエンスアゴラでのイベント



八重瀬町・向陽高校生への研究指導



プロジェクト宣伝用のチラシ