

テーマ案：オーシャンデジタルツイン

Takashi NAKAMURA/中村 隆志 (D.Sc.)
東京科学大学
環境・社会理工学院 融合理工学系

オーシャンデジタルツイン

概要

- 現場観測/ドローン/ROV/リモートセンシング等を融合した海洋の物理・化学・生物環境のモニタリング技術の開発
- リアルタイムモニタリングと海洋生態系モデルの同化による、コンピュータ上に生態系も含めた対象海域とそっくりな双子（デジタルツイン）の構築
- VRを利用した海の中に見える化技術の開発
- 実際の自然環境では出来ないような実験（開発や沿岸域の改変、陸域からの栄養塩負荷の増減、養殖密度の変更など）を、コンピュータ上で実施する数値実験プラットフォームの構築

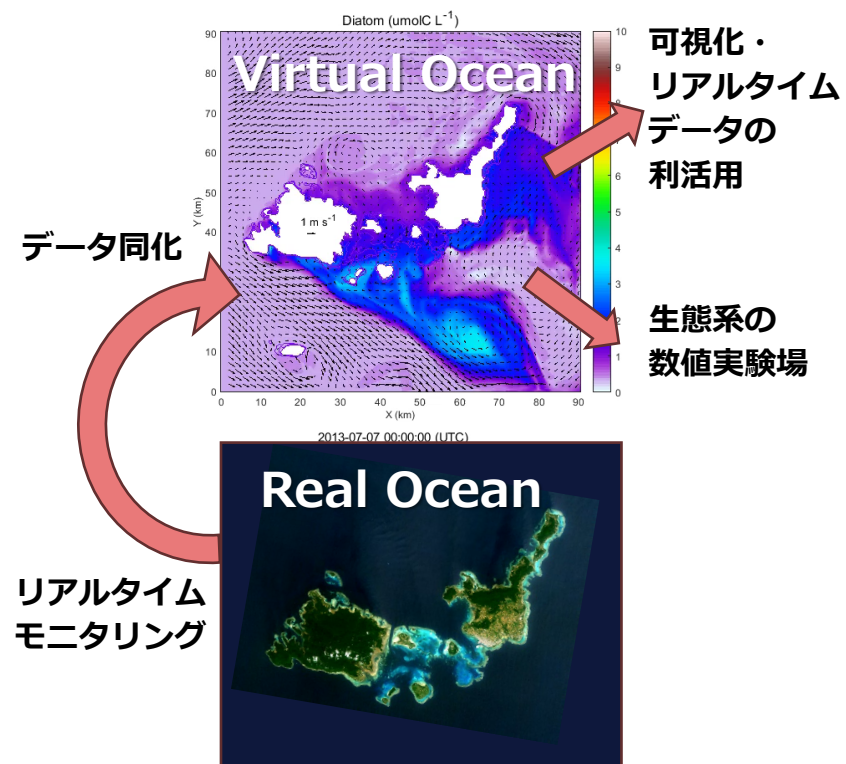
期待する成果

短期目標

- 特定の海域におけるオーシャンデジタルツインのプロトタイプ開発・公開

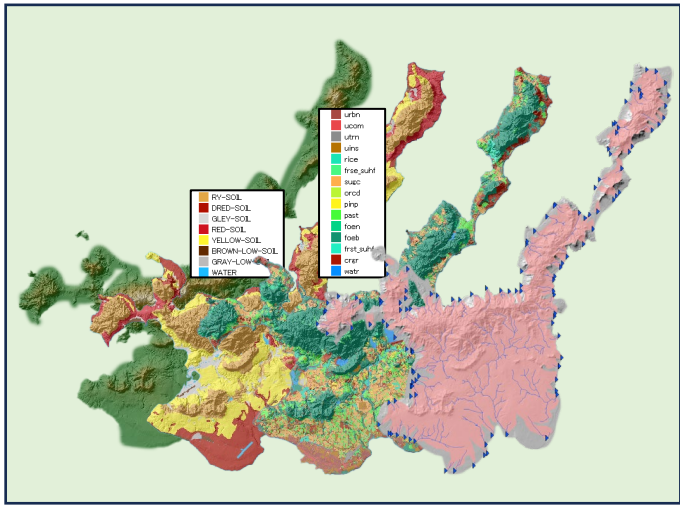
長期目標

- みんなが使えるオーシャンデジタルツインを目指す
- 海洋環境をリアルタイムで見える化することによる、防災や水産業への利活用
- デジタルツインを用いた漁業のスマート化や持続可能な最適養殖密度の探索
- ネーチャーフレンドリーな沿岸開発のデザインの探索
- ブルーカーボンの評価やブルーエコノミーを発展させるための数値実験場としての利活用
- 海を知る、環境教育教材としての活用



参加教員：中村 隆志（生態系モデリング，沿岸生態学） + ご関心のある企業の皆様

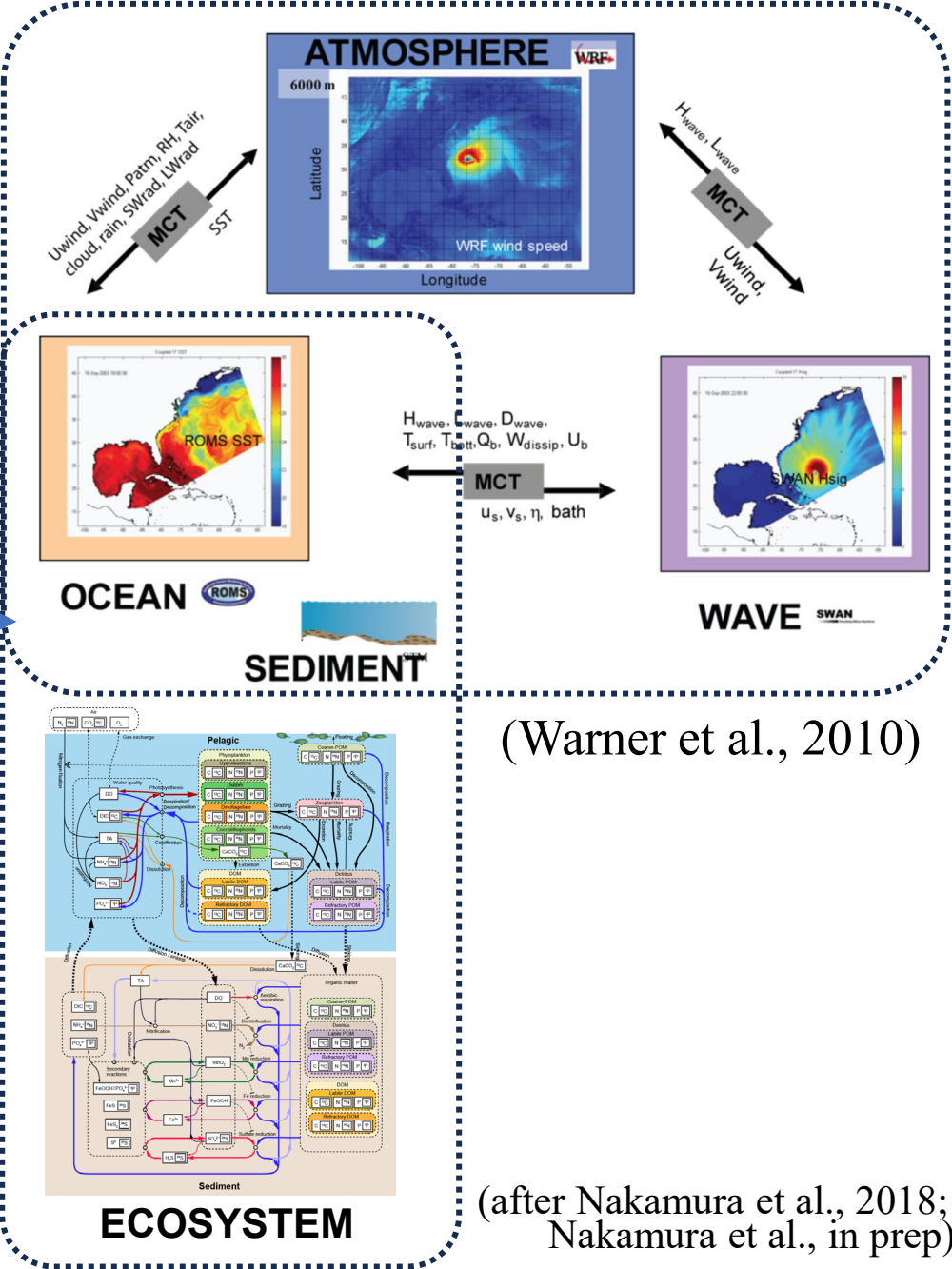
Framework of the Integrated land-ocean-ecosystem modeling system



S+ LAND
(Bieger et al., 2017)

Freshwater
Sediment
Nutrients
(NO3,
NH4,
PO4)

COAWST modeling system



Study site

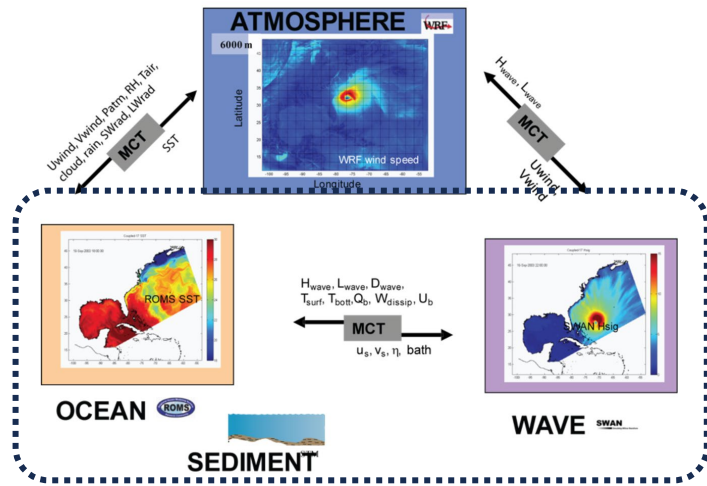
石西礁湖

日本で唯一の礁湖であり、
日本における最大のサンゴ礁域

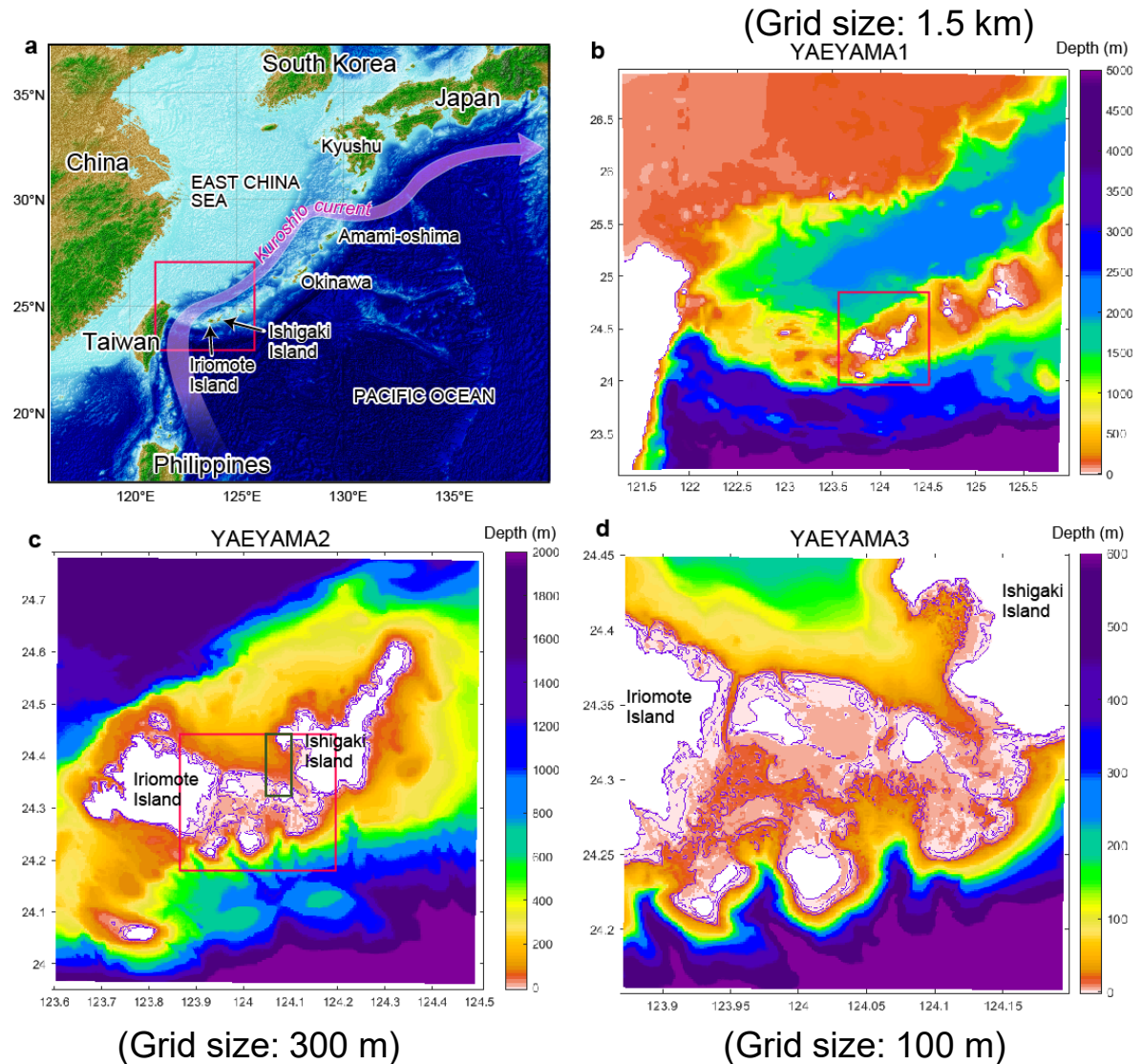


Ocean Modeling: Sekisei lagoon scale

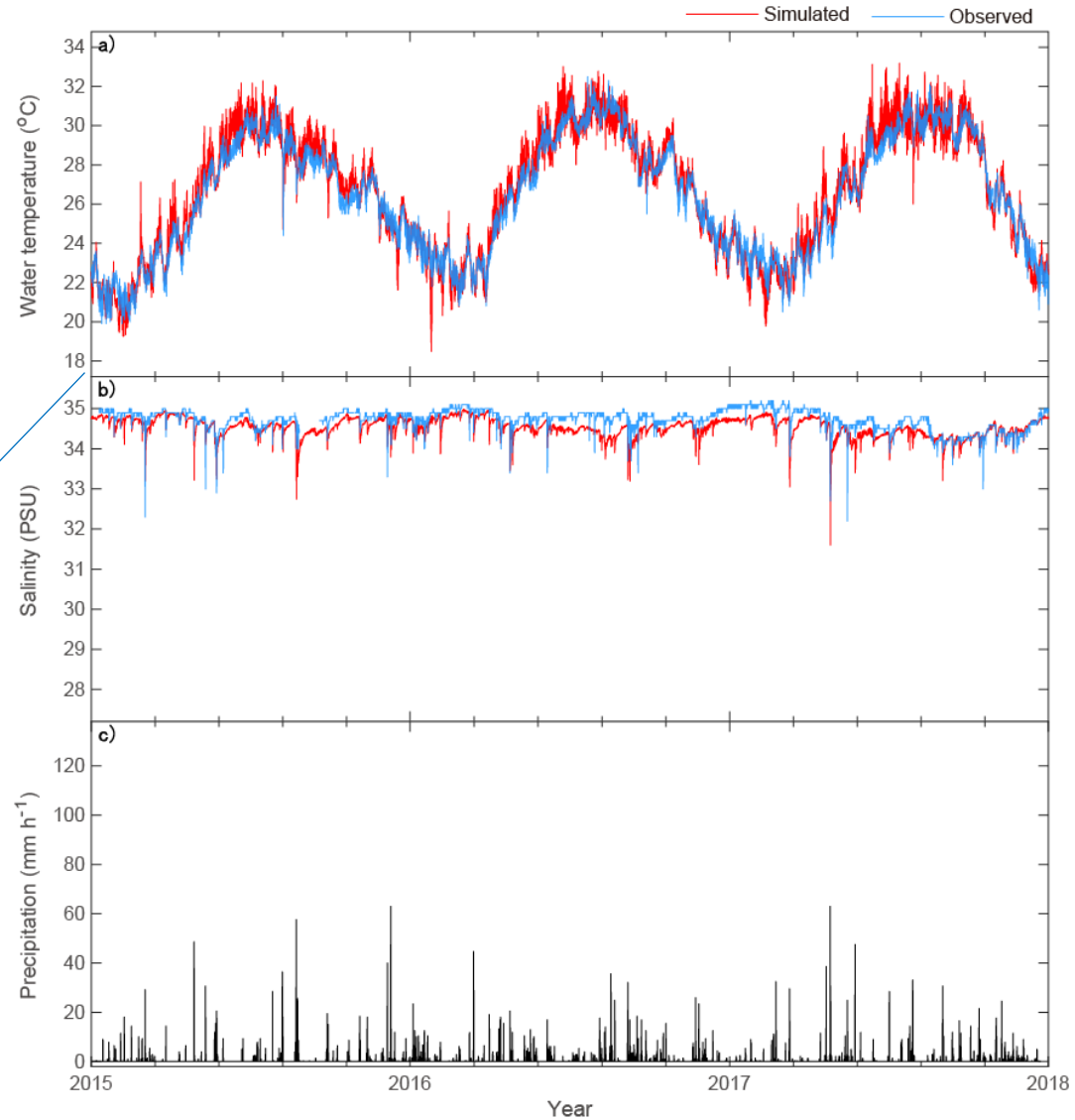
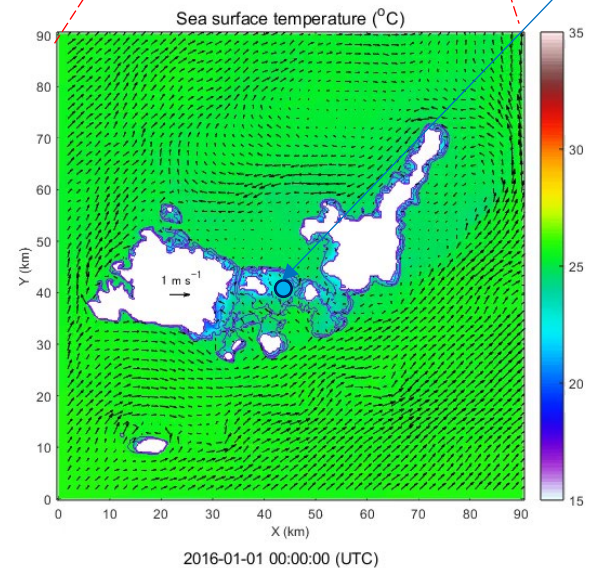
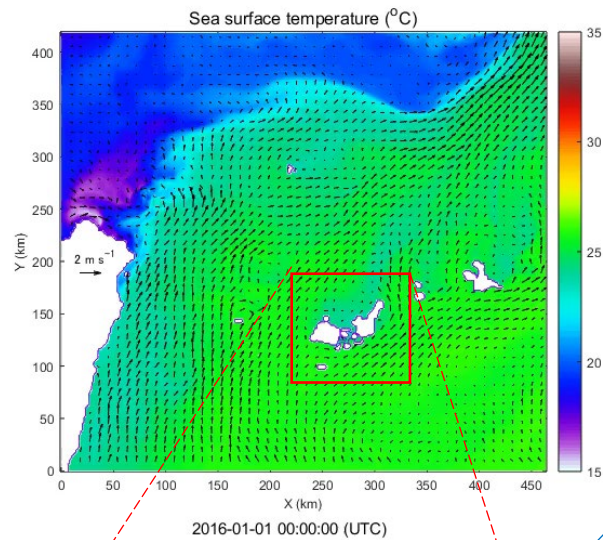
A multi-nested 3D ocean circulation model for Yaeyama region was developed based on the **Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) Modeling System** (Warner et al., 2010).



The YAEYAMA1 is nested from Global HYCOM (<https://www.hycom.org/>) JCOPE-T-DA (Varlamov et al., 2015).



30-year Long-term hindcast simulation for reproducing coral reef environments



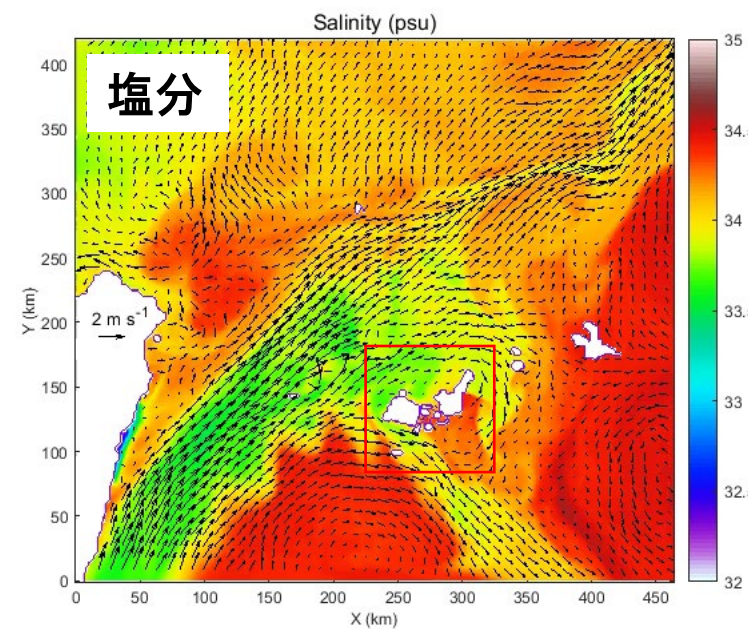
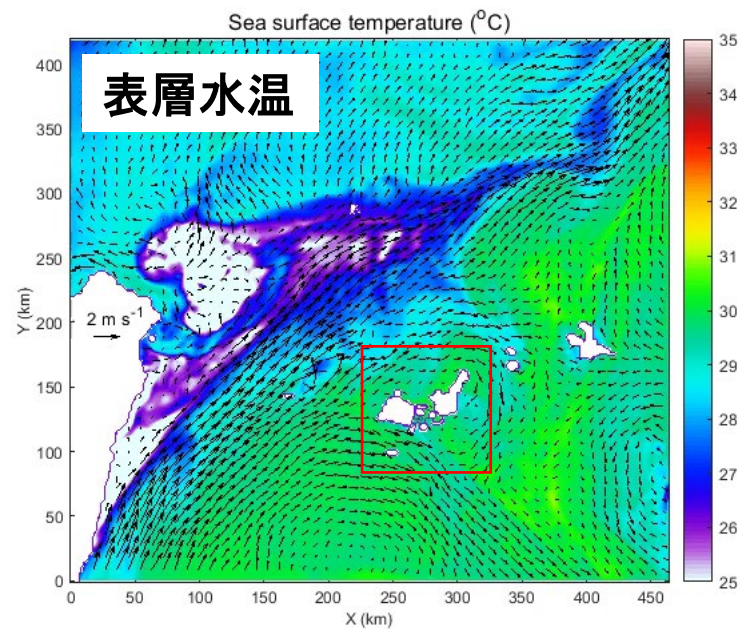
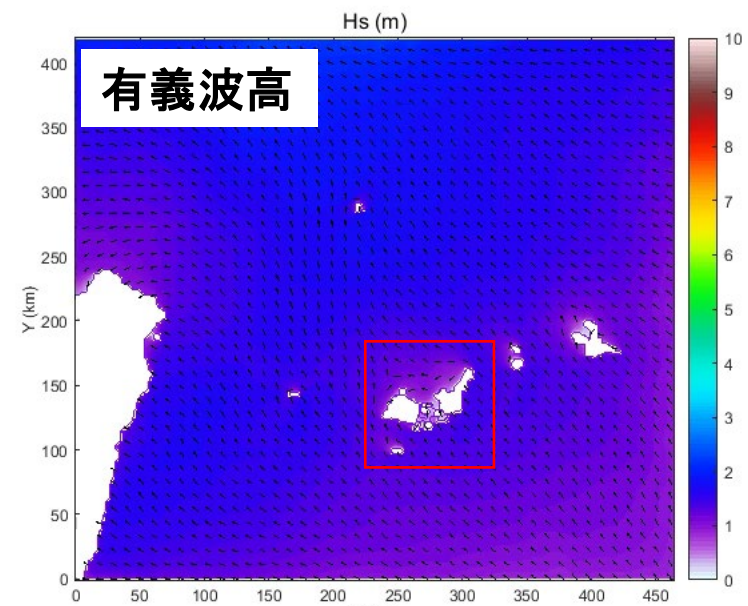
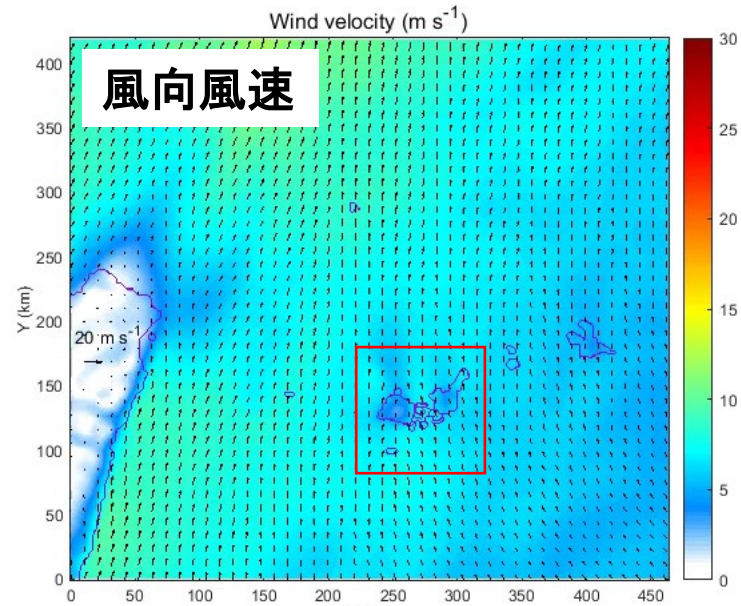
(Nakamura, et al., in prep.)

Please see \rightarrow

http://www.nakamulab.mei.titech.ac.jp/yaeyama_hindcast_simulation



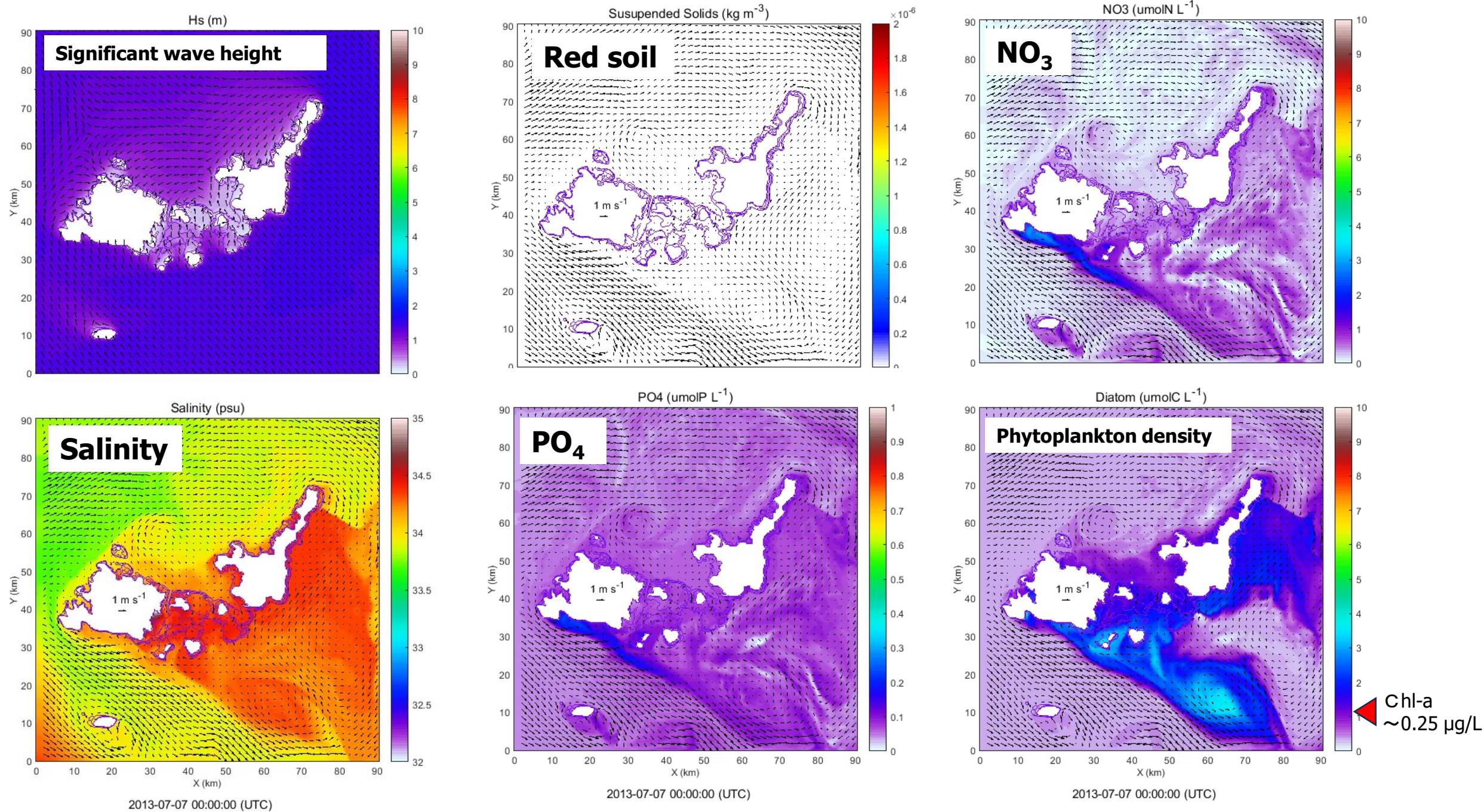
Simulation results: Coarser domain



2013-07-07 00:00:00 (UTC)

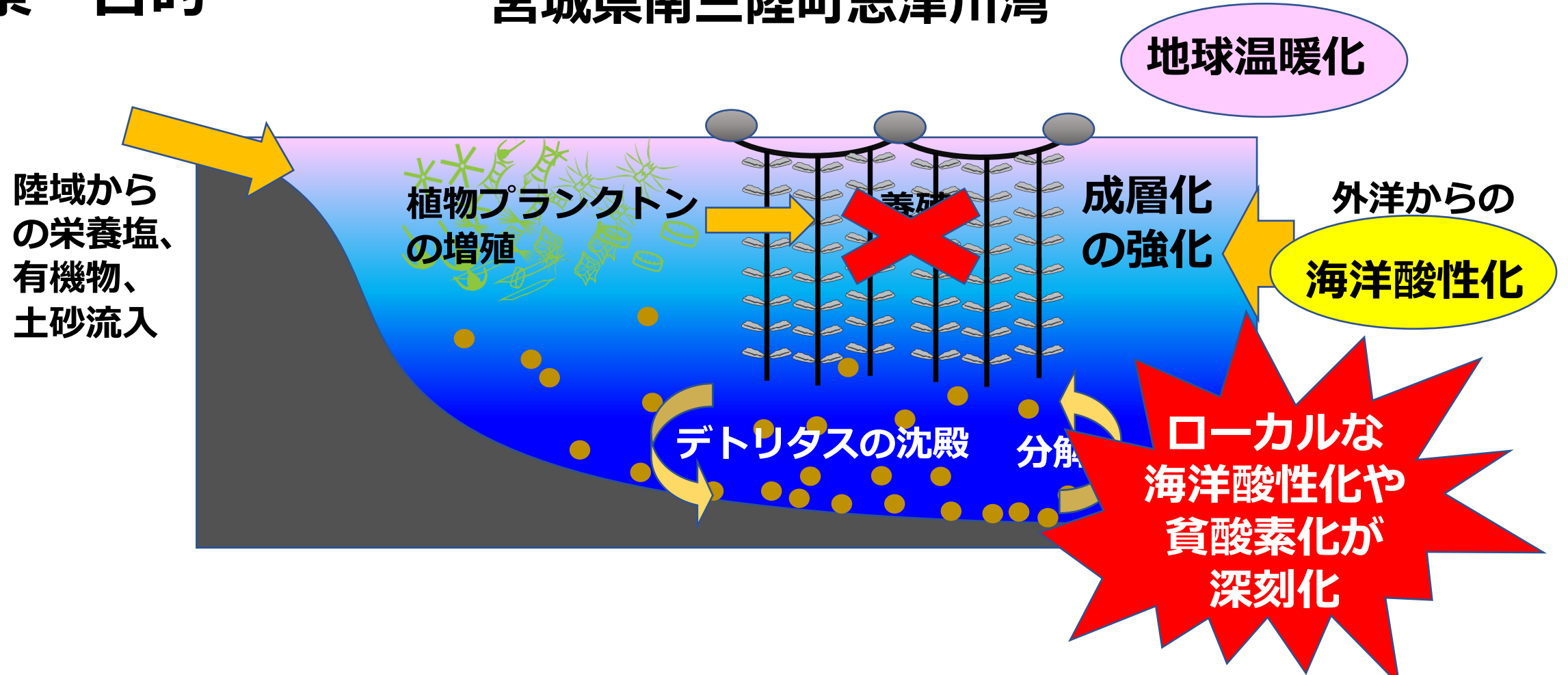
2013-07-07 00:00:00 (UTC)

Simulation results: Finer domain



背景・目的

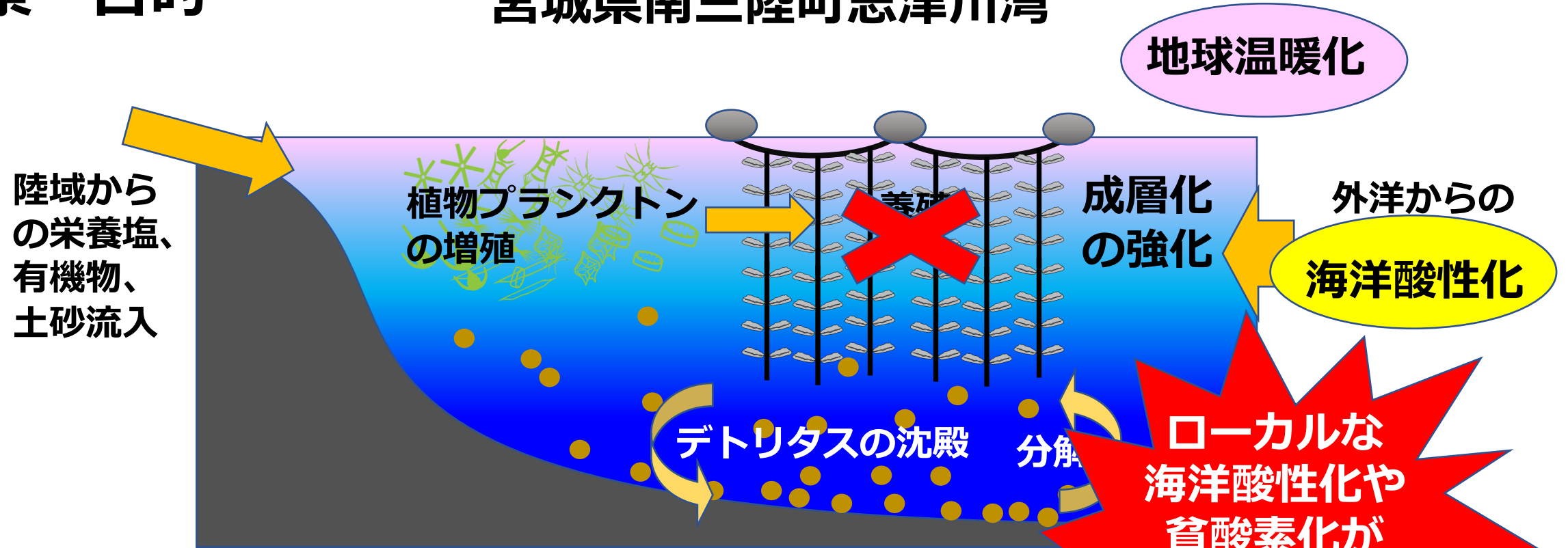
宮城県南三陸町志津川湾



近年の人為起源の大気CO₂濃度の増加に伴う地球温暖化や海洋酸性化は、特に夏場の湾内水塊の成層化を深刻化させ、底層での貧酸素化および酸性化を深刻化させる恐れがある。酸性化の進行は、カキなど炭酸カルシウムの殻を持つ水産資源に深刻な影響を及ぼす可能性が示唆されている。

背景・目的

宮城県南三陸町志津川湾



将来にわたる持続可能な水産資源の利用や養殖あり方？

陸域—海域—生態系統合モデルを用いた数値シミュレーションによって水産資源の動態も含めた湾内環境や生態系を再現しシナリオ解析を行い最適解を模索する

志津川湾デジタルツインの開発

Shizugawa Bay Digital Twin project

After the Great East Japan Earthquake in 2011:

Number of the oyster aquaculture units

1000 units → 300 units

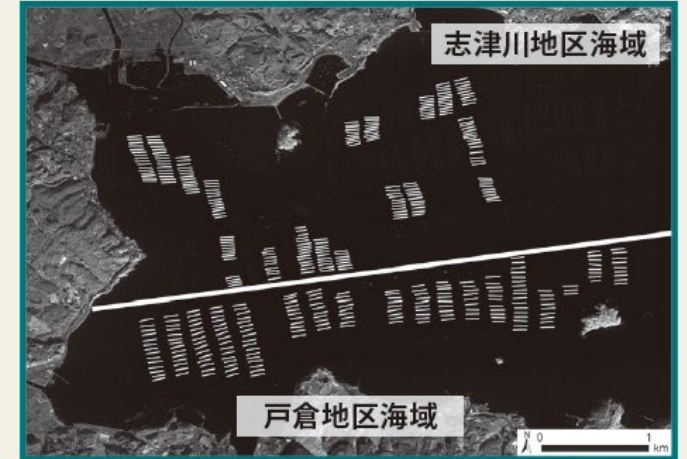
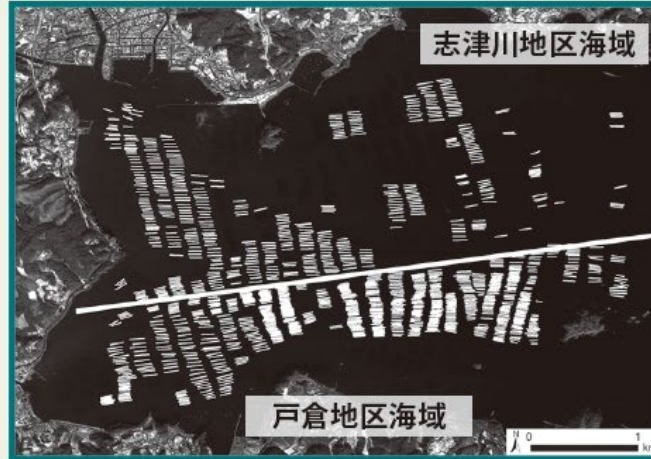
BUT

Oyster yield x 2,
income x 1.5

[図3] 震災前の2009年2月3日(左)と震災後の2014年1月15日(右)の海面養殖施設配置図

震災前 2009年2月3日

震災後 2014年1月15日



モデル開発：海域モデル

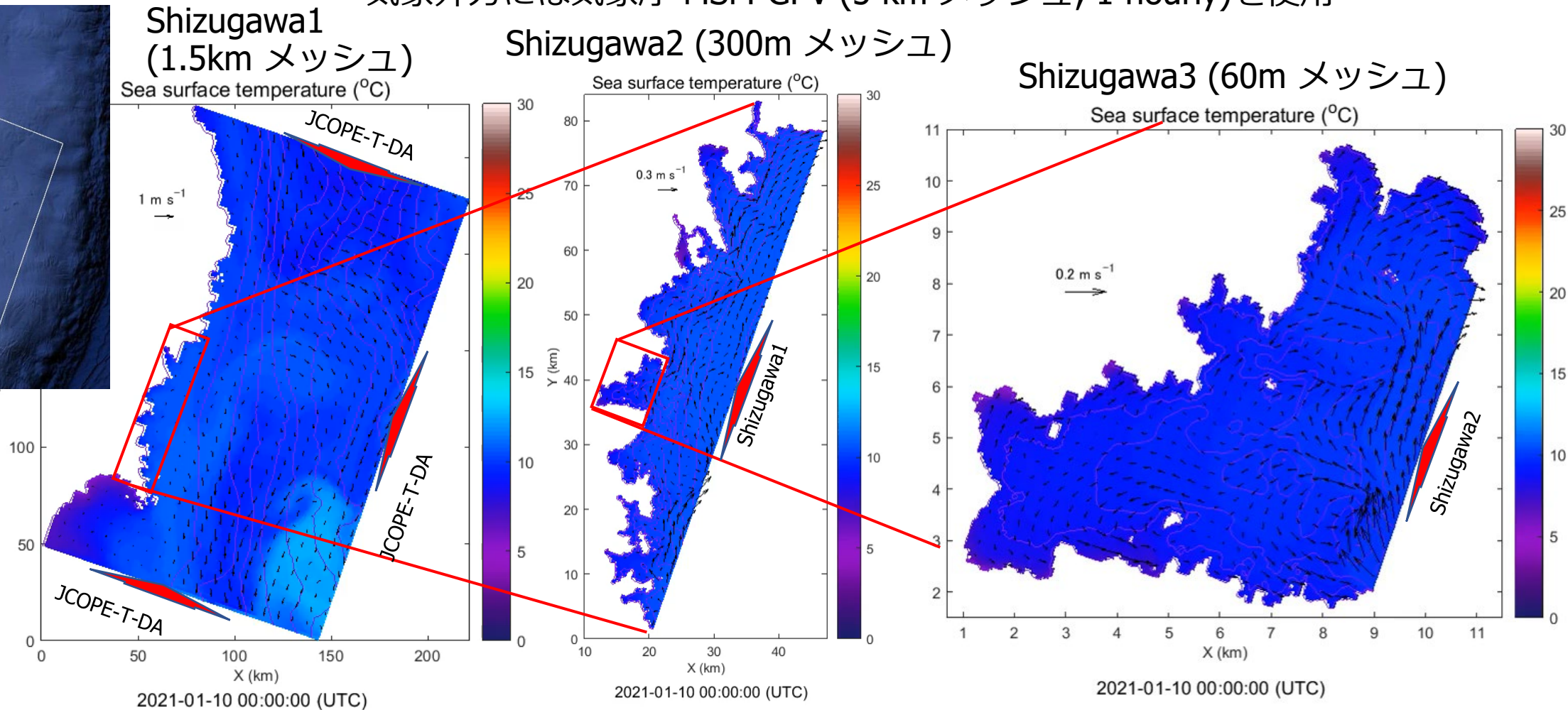
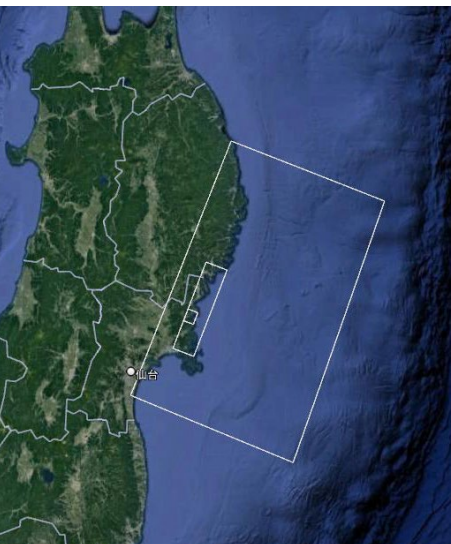
COAWST modeling systemをベースとした多重ネスティング波浪－流動結合モデル

*Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport

流動の外洋側境界は JCOPE-T-DA (1/36° ~3 km メッシュ, 1 hourly)

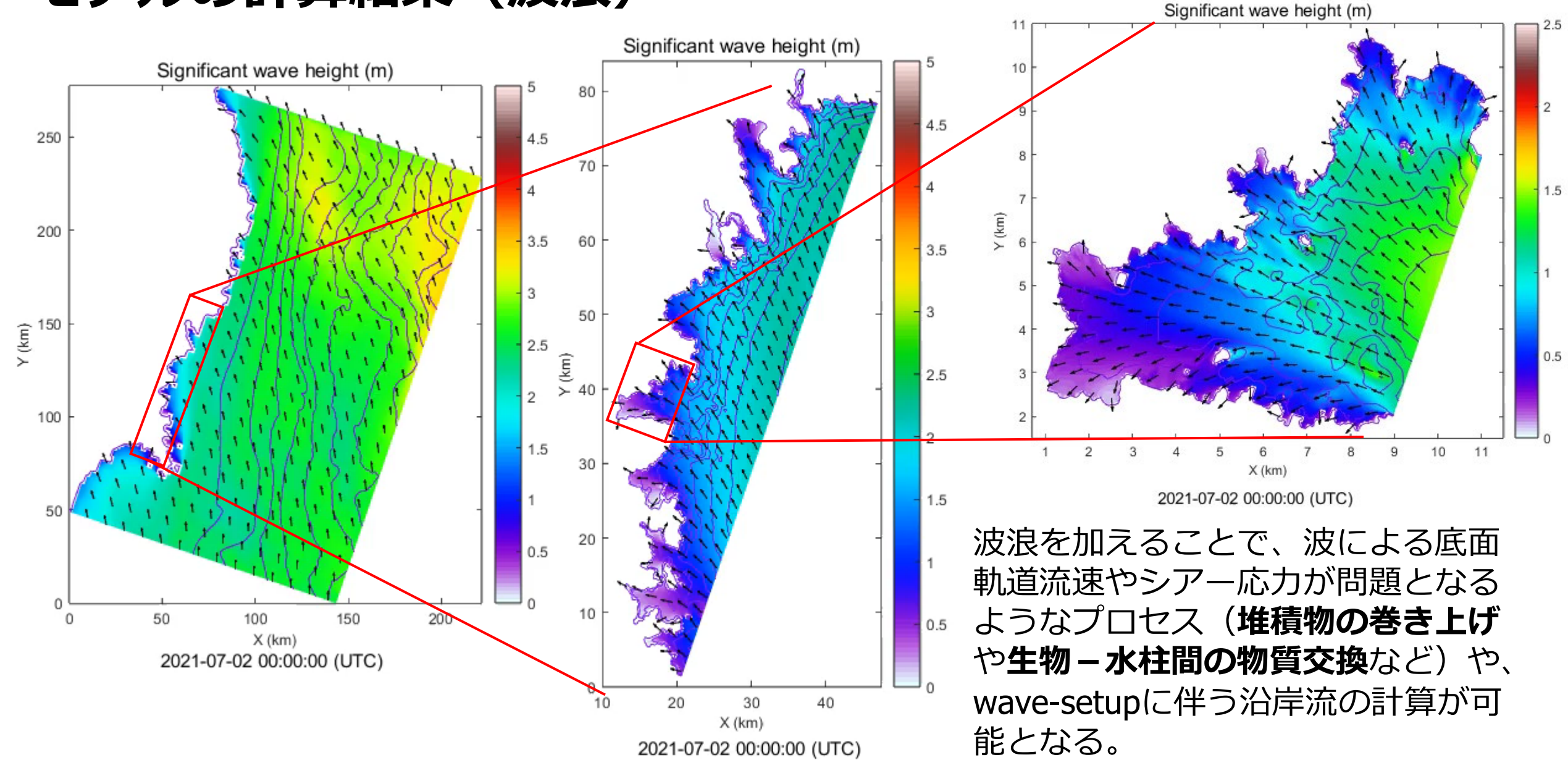
波浪の外洋側境界は気象庁CWM-GPV (5 km メッシュ, 3 hourly)

気象外力には気象庁 MSM-GPV (5 km メッシュ, 1 hourly)を使用



結果の一部を公開中：<http://www.nakamulab.mei.titech.ac.jp/research-topic-5>

モデルの計算結果 (波浪)



波浪を加えることで、波による底面軌道流速やシアー応力が問題となるようなプロセス（**堆積物の巻き上げ**や**生物-水柱間の物質交換**など）や、wave-setupに伴う沿岸流の計算が可能となる。

特に注目している現象

戸倉地区では、カキ筏の密度を下げることで、逆に収量を上げることに成功している。



過密養殖による影響

生物学的な側面：

限られた餌資源の奪い合い/水質悪化による成長速度の低下

物理的な側面：

カキ筏による流体に対する形状抵抗の増加による湾内の海水循環の弱体化

→餌や物質供給の減少、DO、pH低下の深刻化

目標：

これらの両方の側面を考慮したカキ動態モデル+カキ筏流動抵抗モデルを開発し、最適な養殖密度を推定する。

将来の温暖化・海洋酸性化に応じた最適な養殖の在り方を模索するためのツールを開発する。



養殖筏マップの作製

ひたすら衛星画像や空中写真から判読

地元漁業者からの聞き取りで確認

GIS上で使えるベクターデータ（シェープファイル）として整備

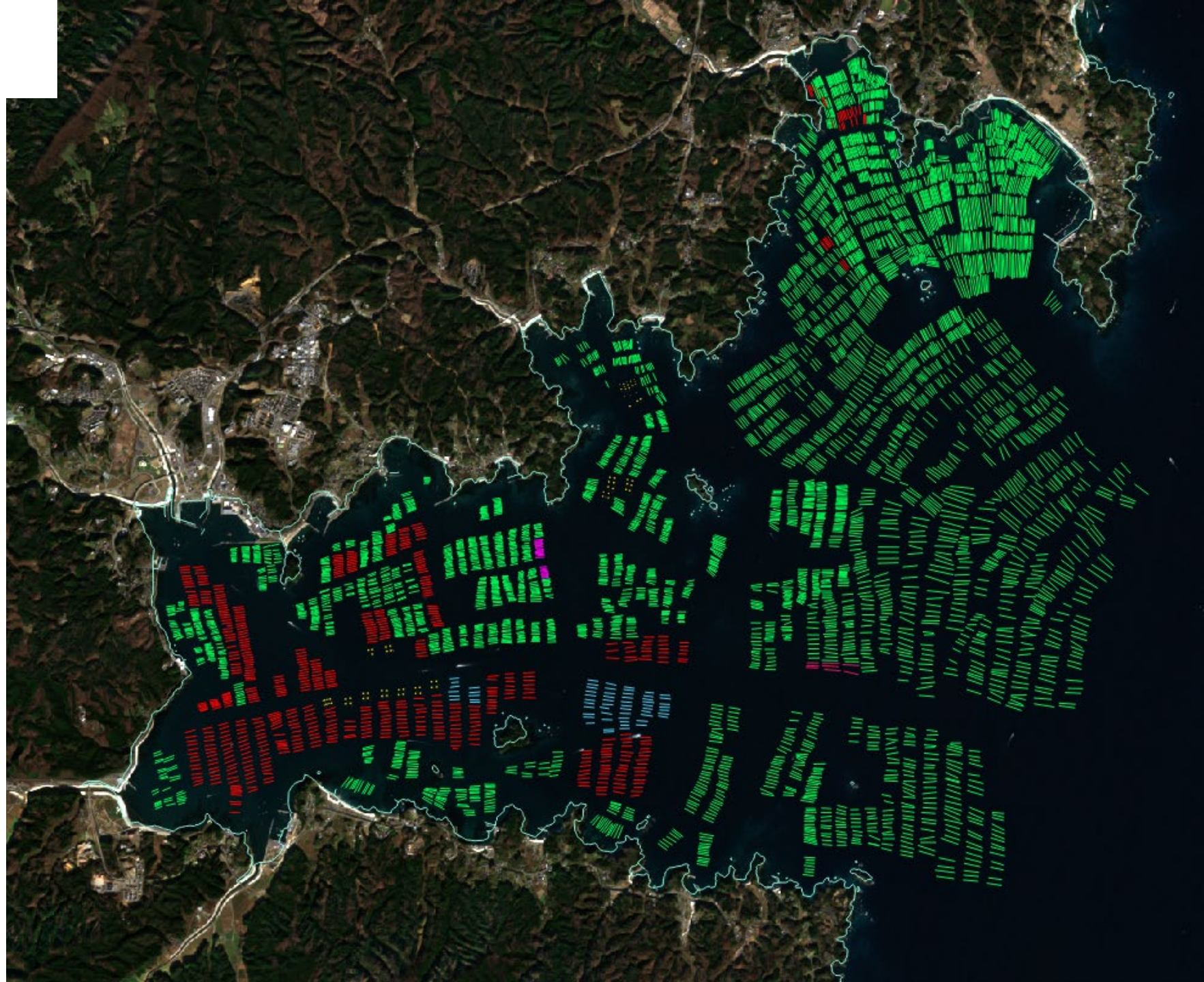
赤：カキ筏

緑：ワカメ

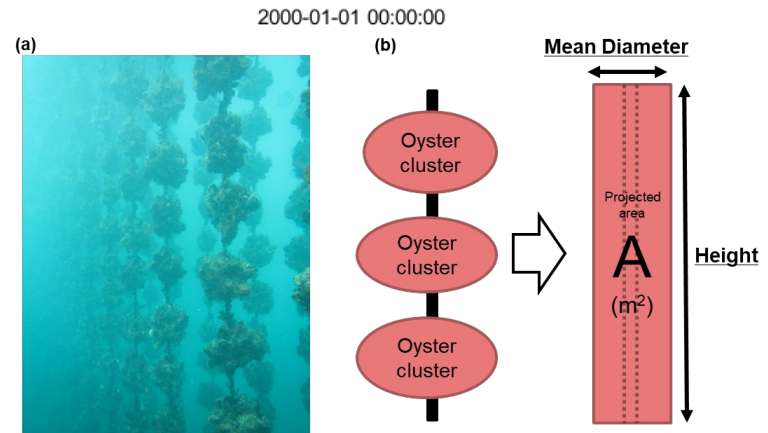
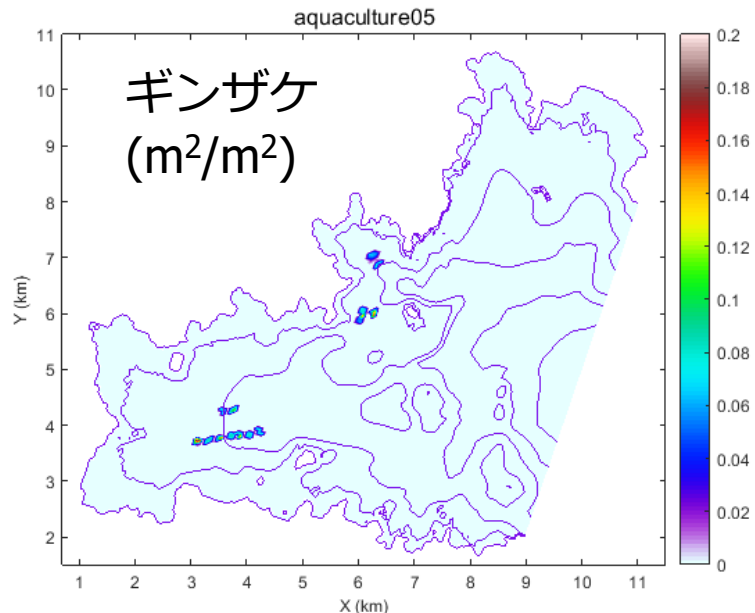
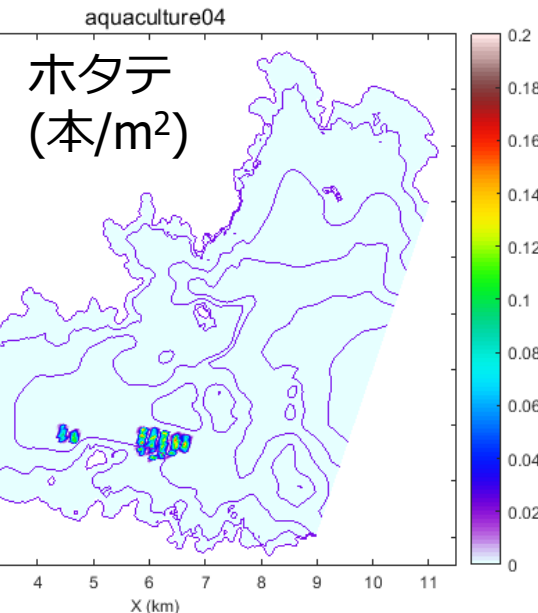
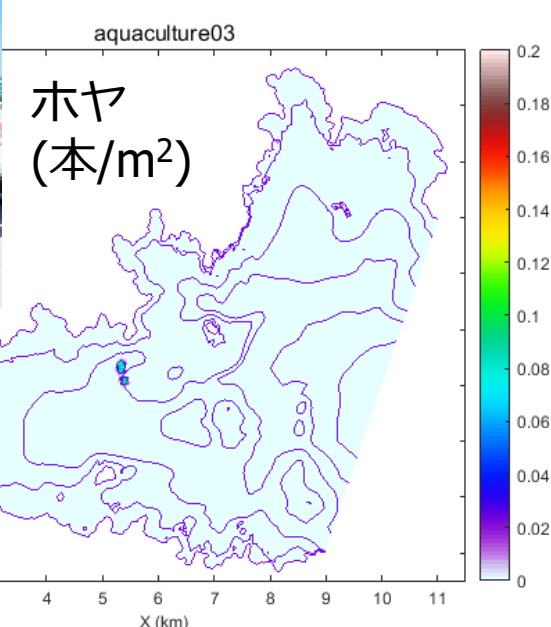
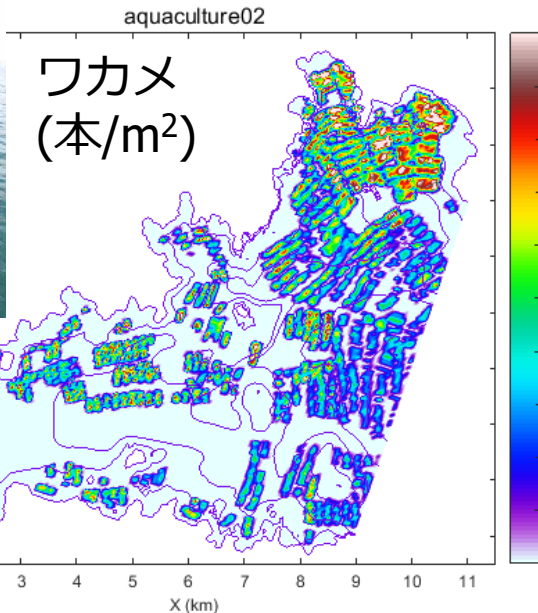
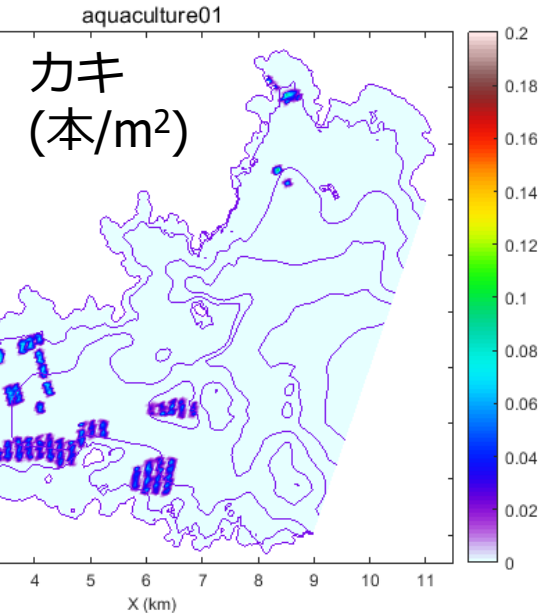
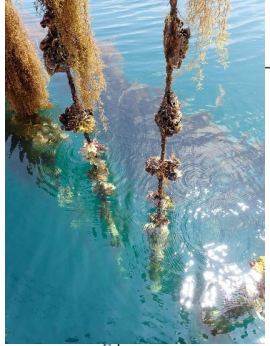
紫：ホヤ

青：ホタテ

橙：銀鮭



養殖筏のデータ整理・モデルへのインプット



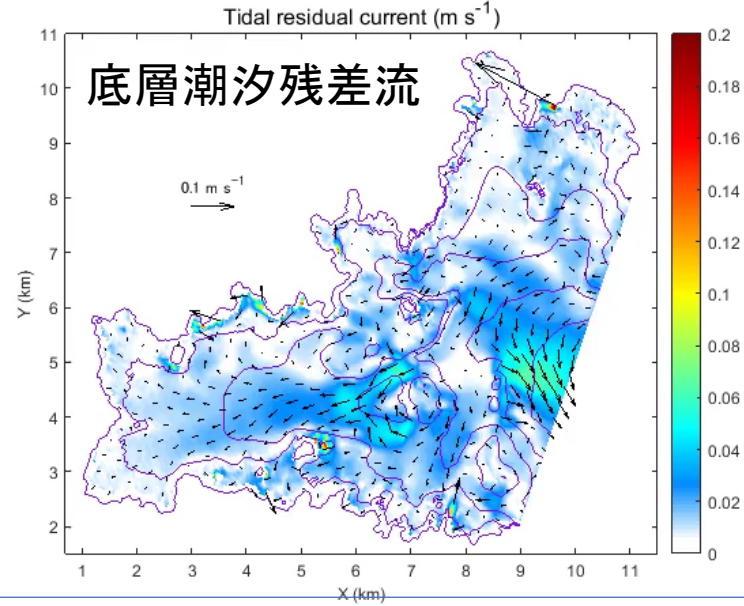
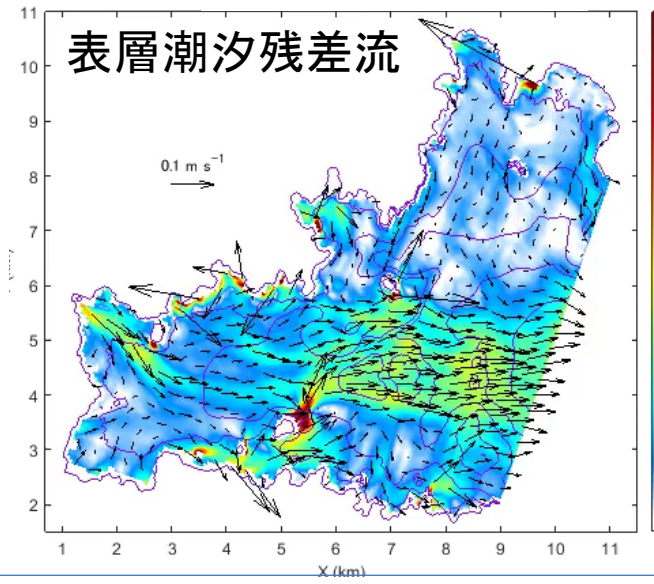
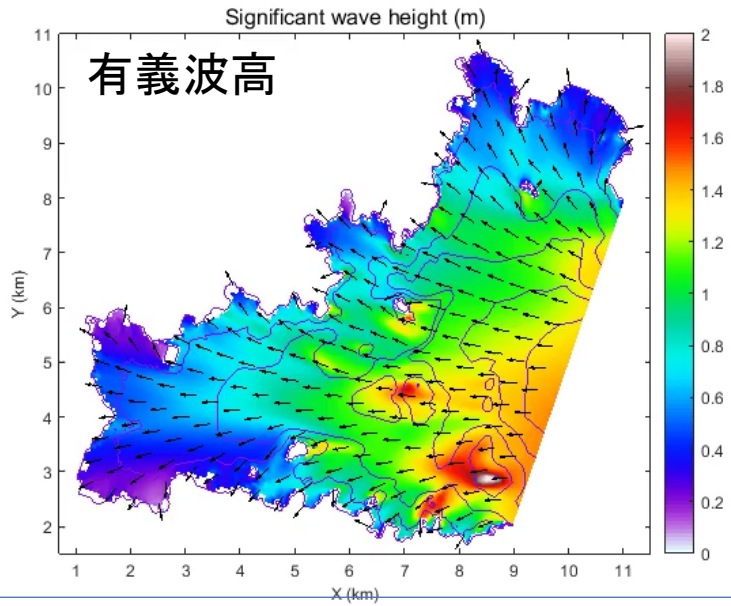
養殖筏の形状抵抗

$$F_{aq} = \frac{1}{2} C_D n A U^2$$

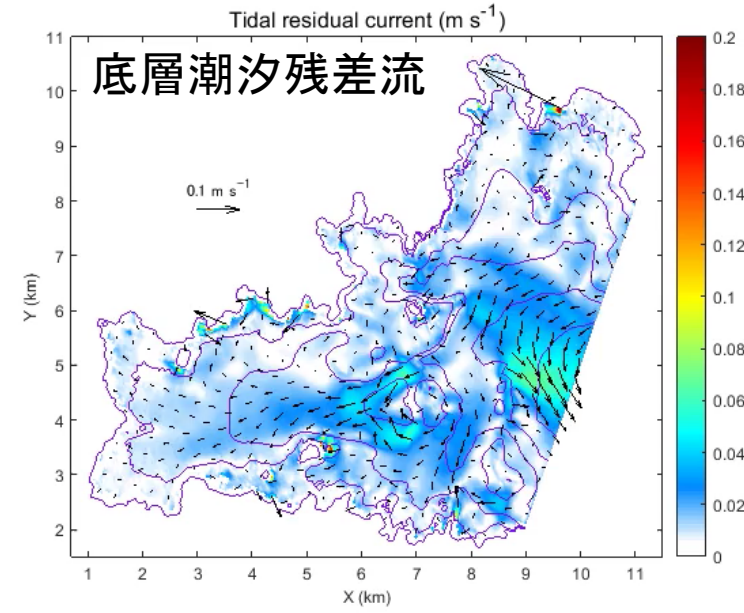
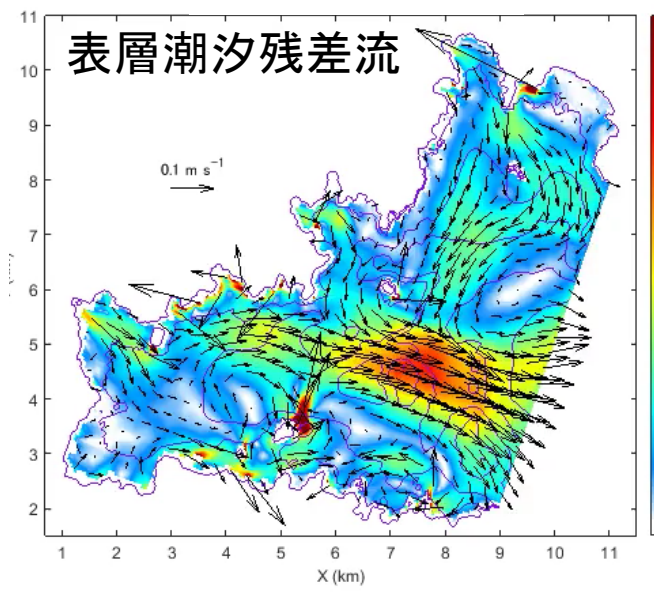
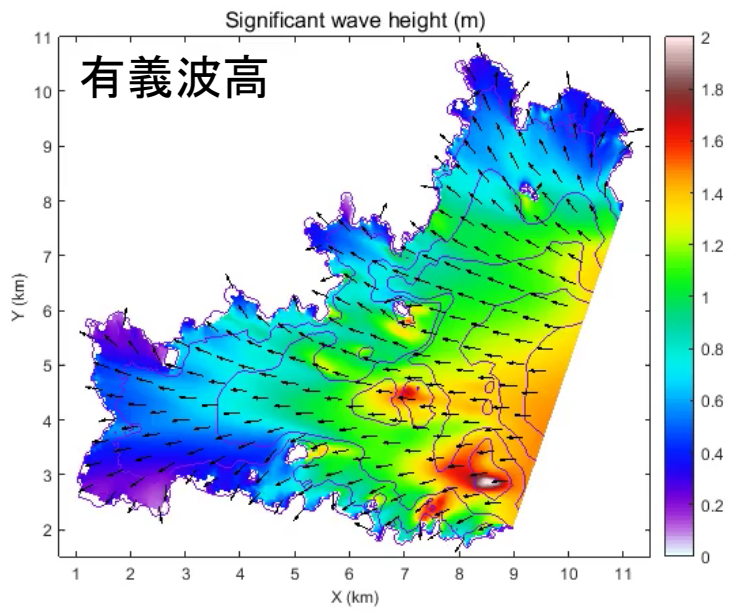
n : 垂下ロープ密度
 A : 垂下ロープ一本あたりの投影面積

養殖筏の形状抵抗有り/無しと比較

形状抵抗有り



形状抵抗無し



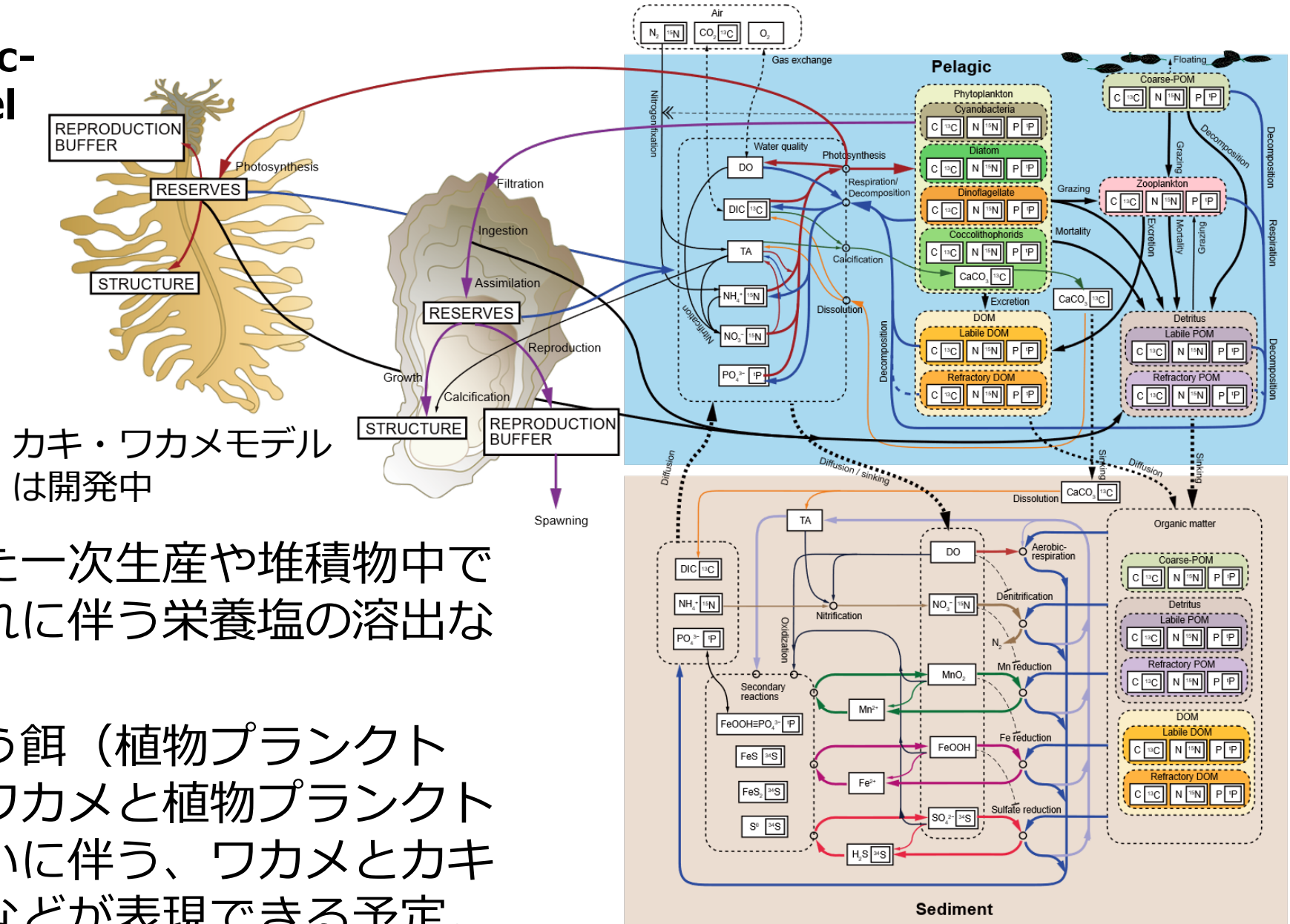
2023-07-02 00:00:00 (UTC)

2023-07-02 00:00:00 (UTC)

2023-07-02 00:00:00 (UTC)

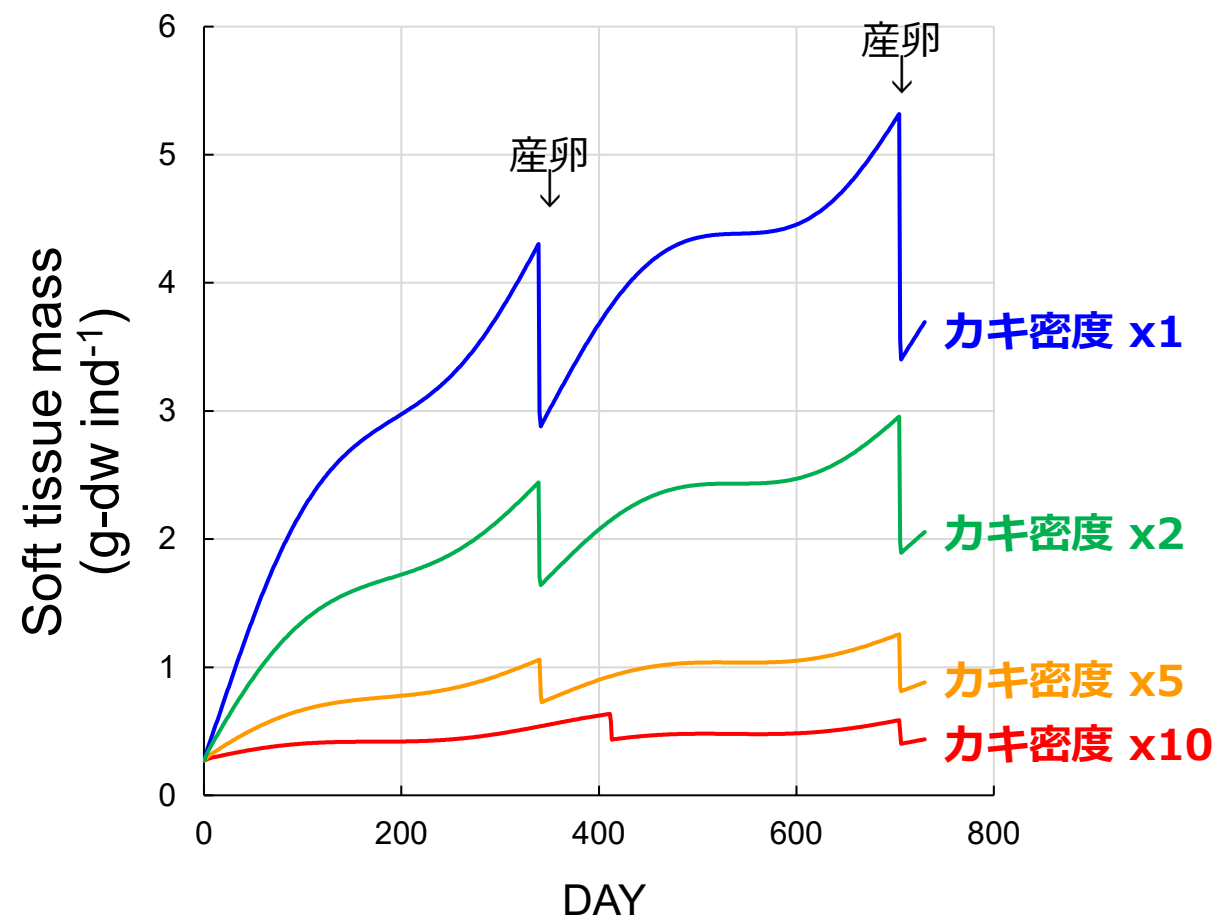
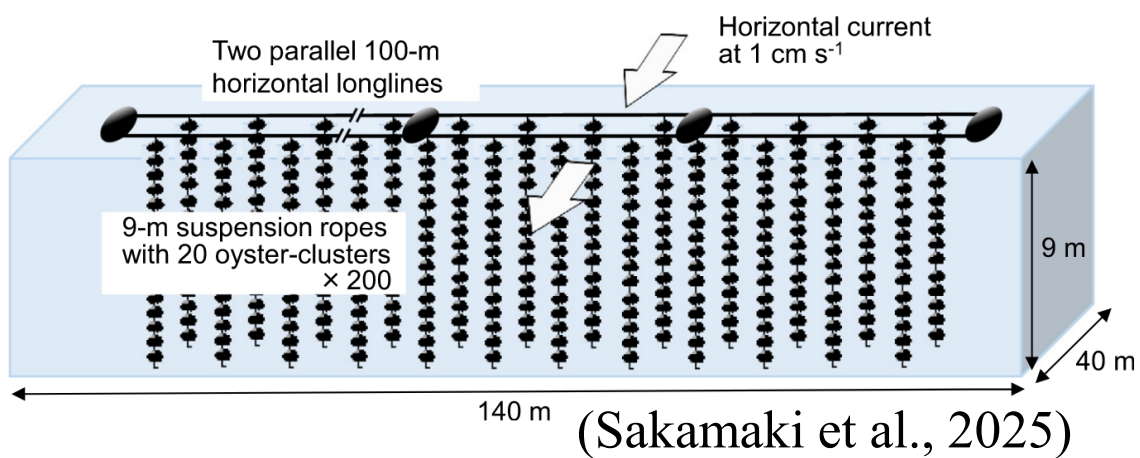
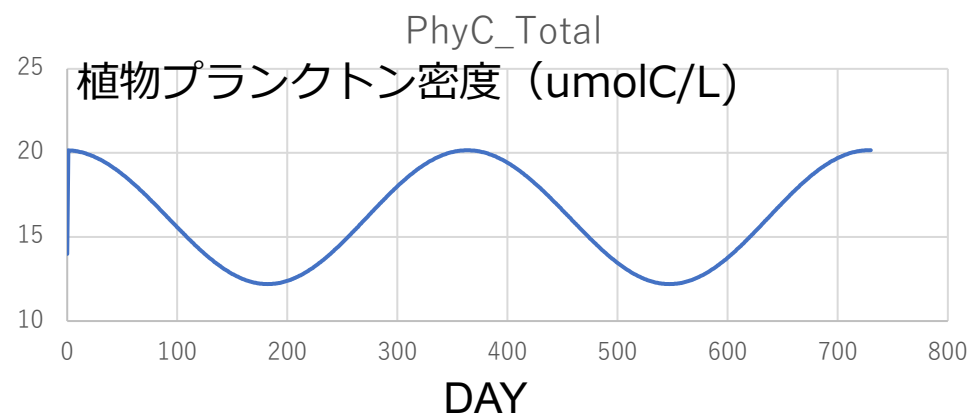
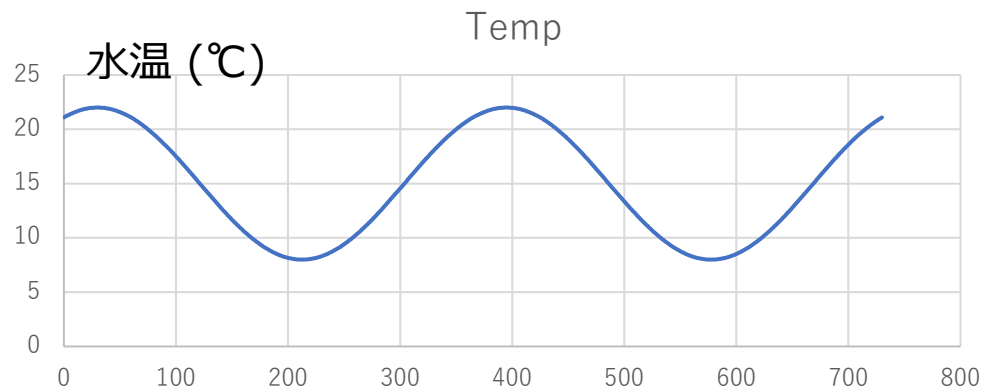
浮遊系-底生系が結合した低次生態系モデル

A Marine Coupled pelagic-benthic ecosystem Model with Element Tracers (Marine CoMET)

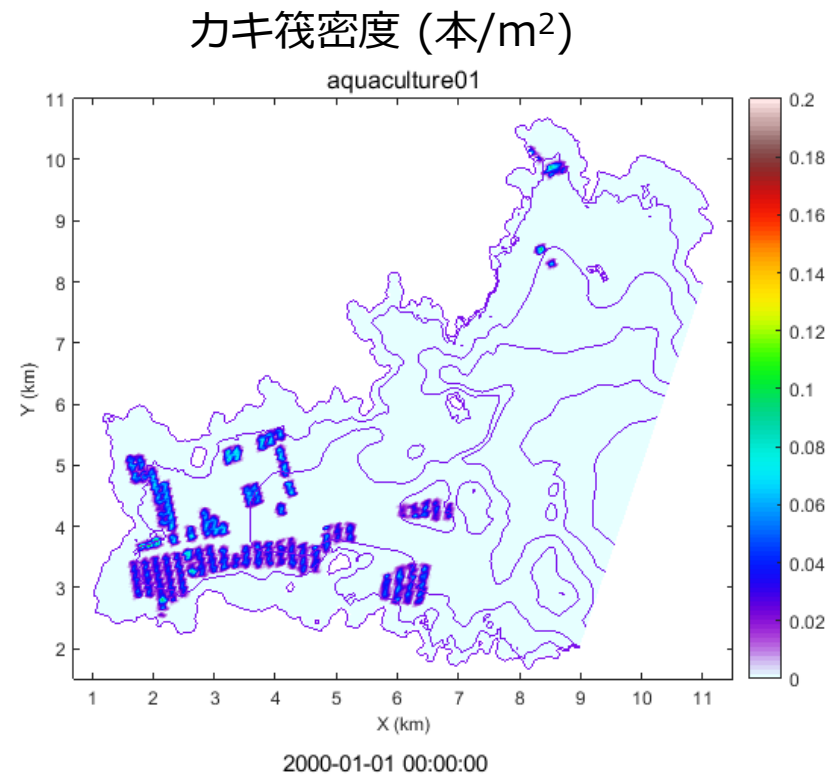
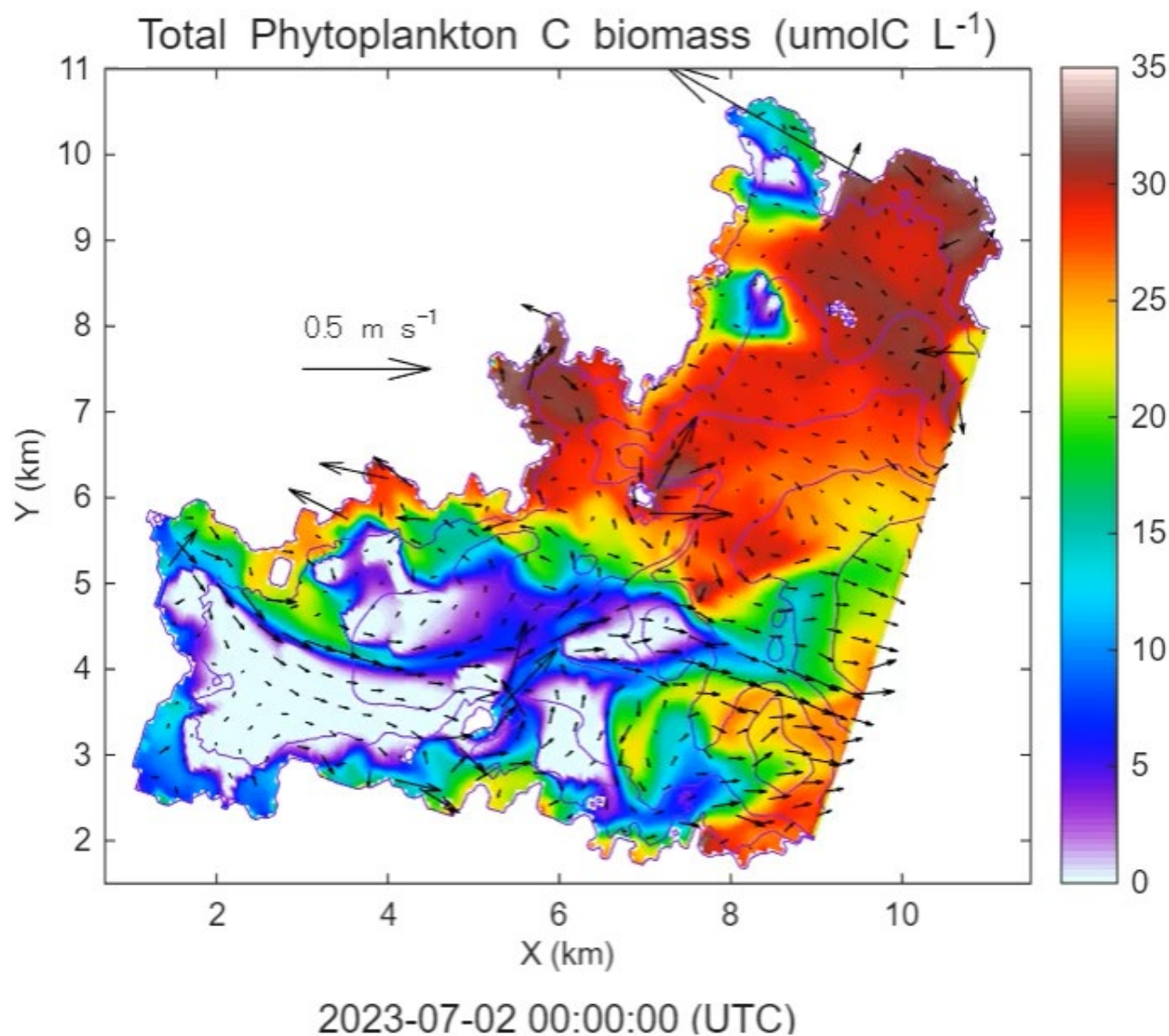


- 栄養塩の流入に応じた一次生産や堆積物中での有機物の分解とそれに伴う栄養塩の溶出などが表現できる。
- カキの密度増加に伴う餌（植物プランクトン）の奪い合いや、ワカメと植物プランクトンの栄養塩の奪い合いに伴う、ワカメとカキの間接的な競合関係などが表現できる予定。

カキモデル テストシミュレーション結果 (BOX model)



カキモデルの流動—低次生態系モデルへの実装



← 植物プランクトン密度

一応、カキ筏付近ではカキに捕食されて密度が低下している様子は確認でき、正常にカップリングができていないことまでは確認できた。

Tokyo bay SDM development

- A multi-nested 2-way physical and bio-geochemical process model as the basis of the SDM-Tokyo Bay has been developed in the COAWST (Coupled Ocean – Atmosphere – Wave – Sediment Transport) framework. The finest grid size is 200m.
- We are improving the model system by validating the physical process model with the various observed data.

New multi-nested model framework

1994-01~2018-06

Global HYCOM

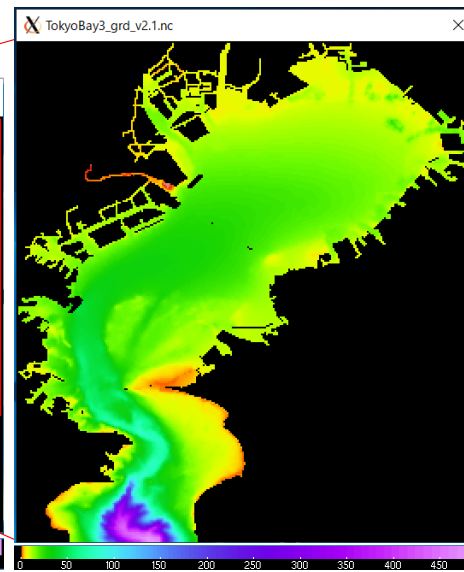
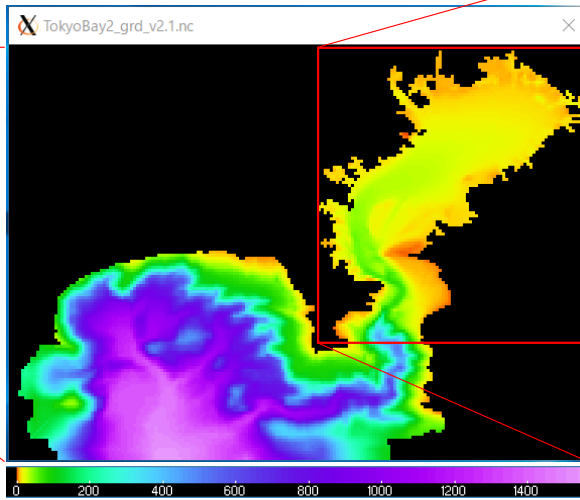
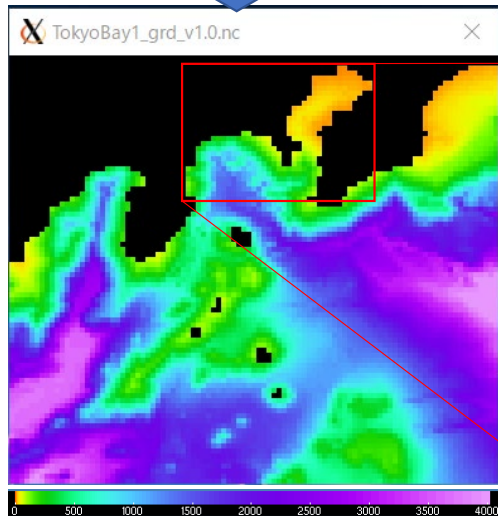
(1/12° Grid size: ~9 km)

+ TPX09-atlas (tidal forcing)

2018-06~

JCOPE-T-DA (include tidal forcing)

(1/36° Grid size: ~3 km)

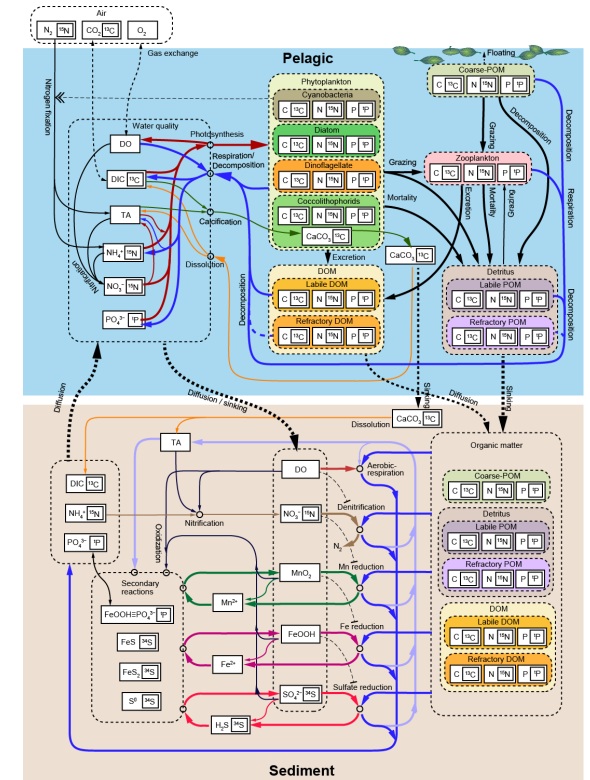


TokyoBay1
(1/36° Grid size: ~3 km)

TokyoBay2
(1/180° Grid size: ~600 m)

TokyoBay3
(1/540° Grid size: ~200 m)

Bio-geochemical process model

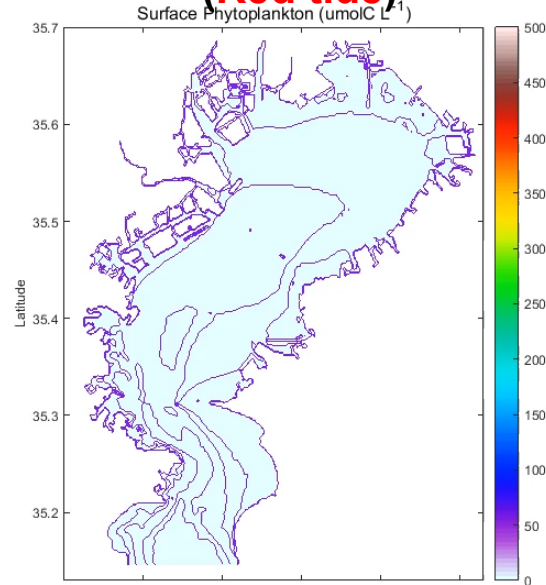


東京湾の貧酸素水塊 と赤潮・青潮の発生

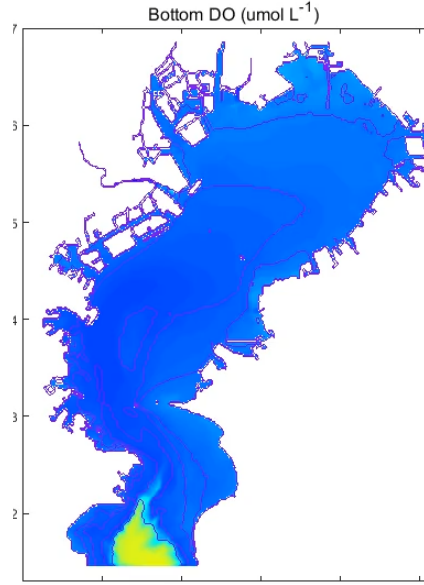
Scenario 1

Sediment Labile
Organic Carbon
= 0.3 mmol/g(DW)

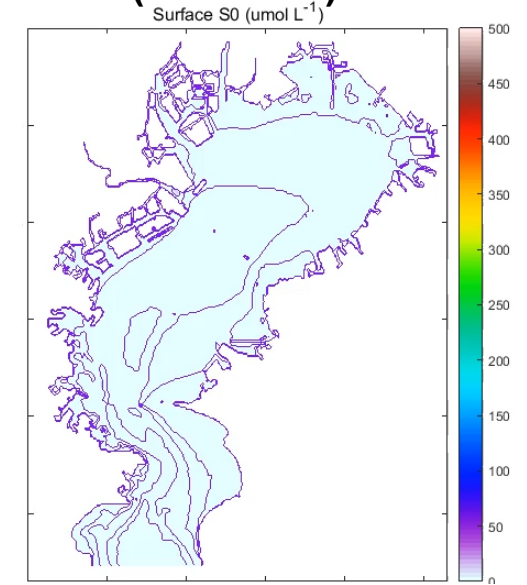
Surface phytoplankton (Red tide)



Bottom DO



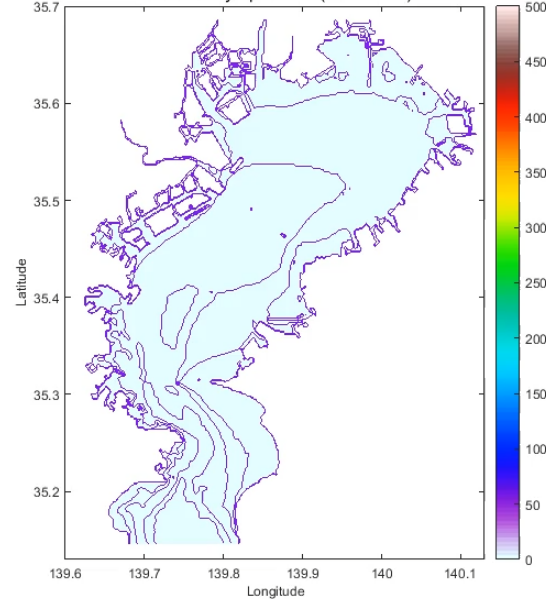
Surface Sulfur (Blue tide)



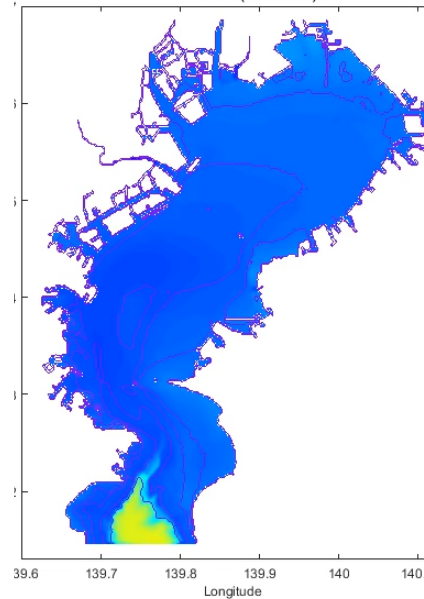
Scenario 2

Sediment Labile
Organic Carbon
= 0.03 mmol/g(DW)

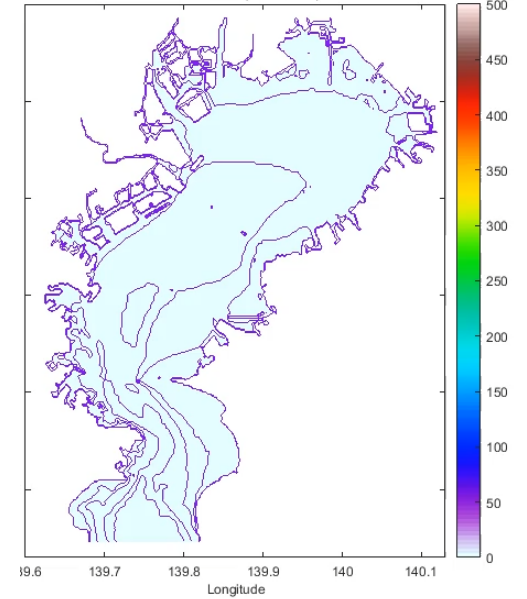
Surface Phytoplankton (umol C L⁻¹)



Bottom DO (umol L⁻¹)



Surface S0 (umol L⁻¹)



2018-06-15 01:00:00 (UTC)

2018-06-15 01:00:00 (UTC)

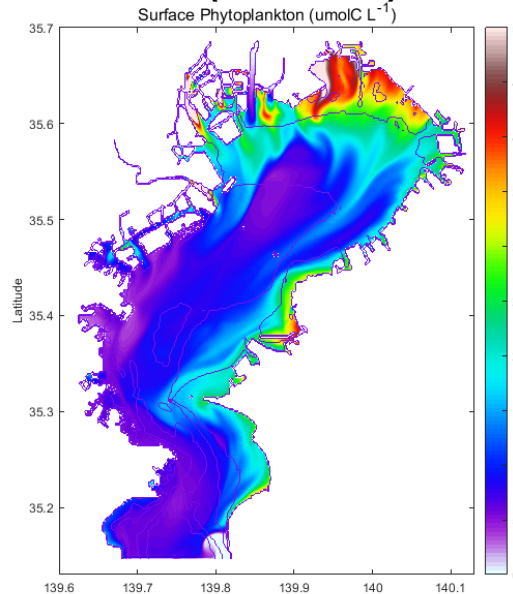
2018-06-15 01:00:00 (UTC)

東京湾の貧酸素水塊 と赤潮・青潮の発生

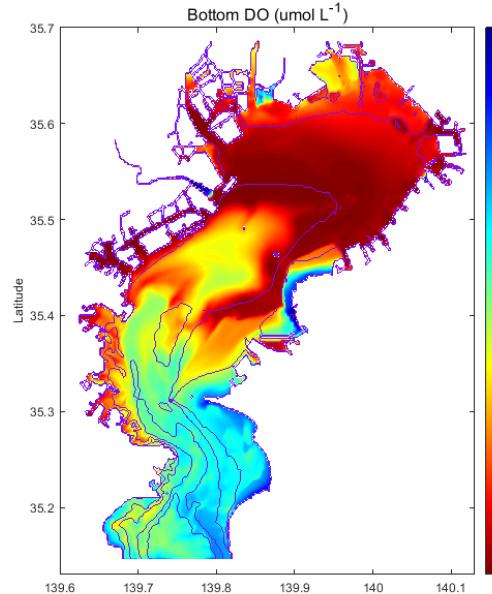
Scenario 1

Sediment Labile
Organic Carbon
= 0.3 mmol/g(DW)

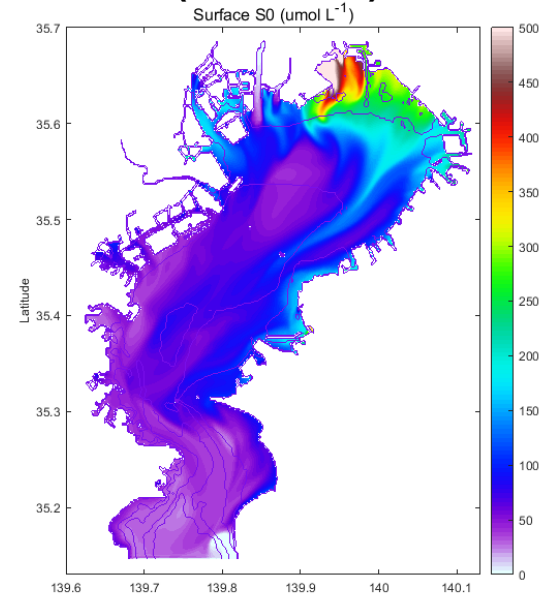
Surface phytoplankton (Red tide)



Bottom DO



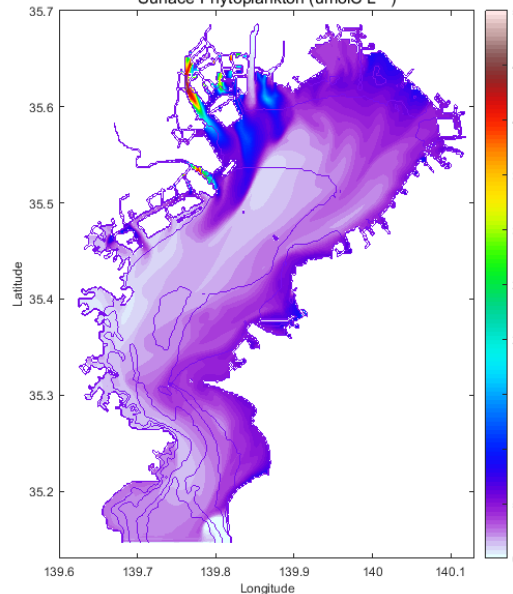
Surface Sulfur (Blue tide)



Scenario 2

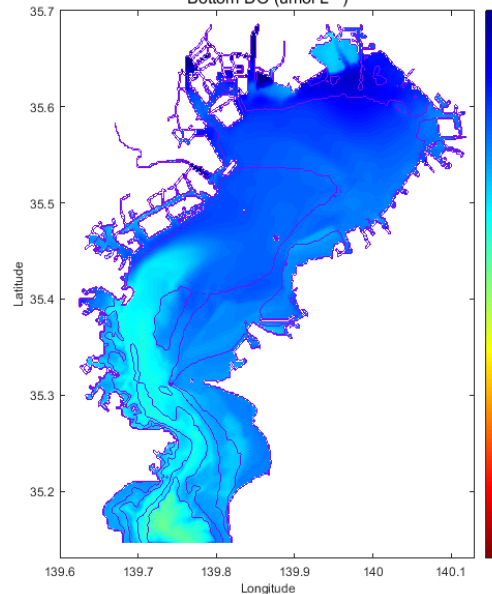
Sediment Labile
Organic Carbon
= 0.03 mmol/g(DW)

Surface Phytoplankton (umol C L⁻¹)



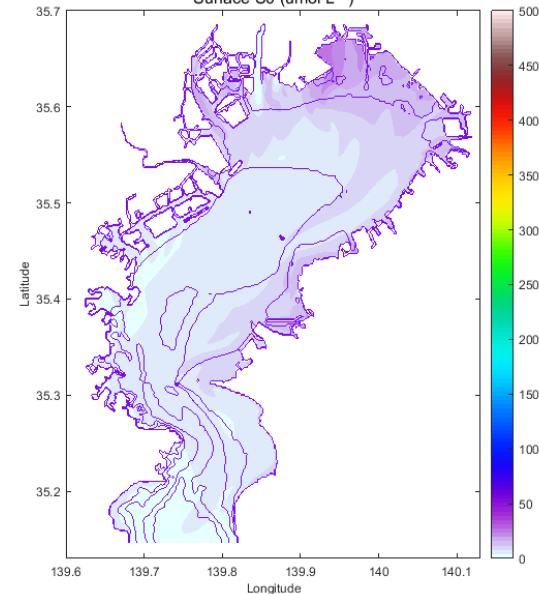
2018-07-28 00:00:00 (UTC)

Bottom DO (umol L⁻¹)



2018-07-28 00:00:00 (UTC)

Surface S0 (umol L⁻¹)



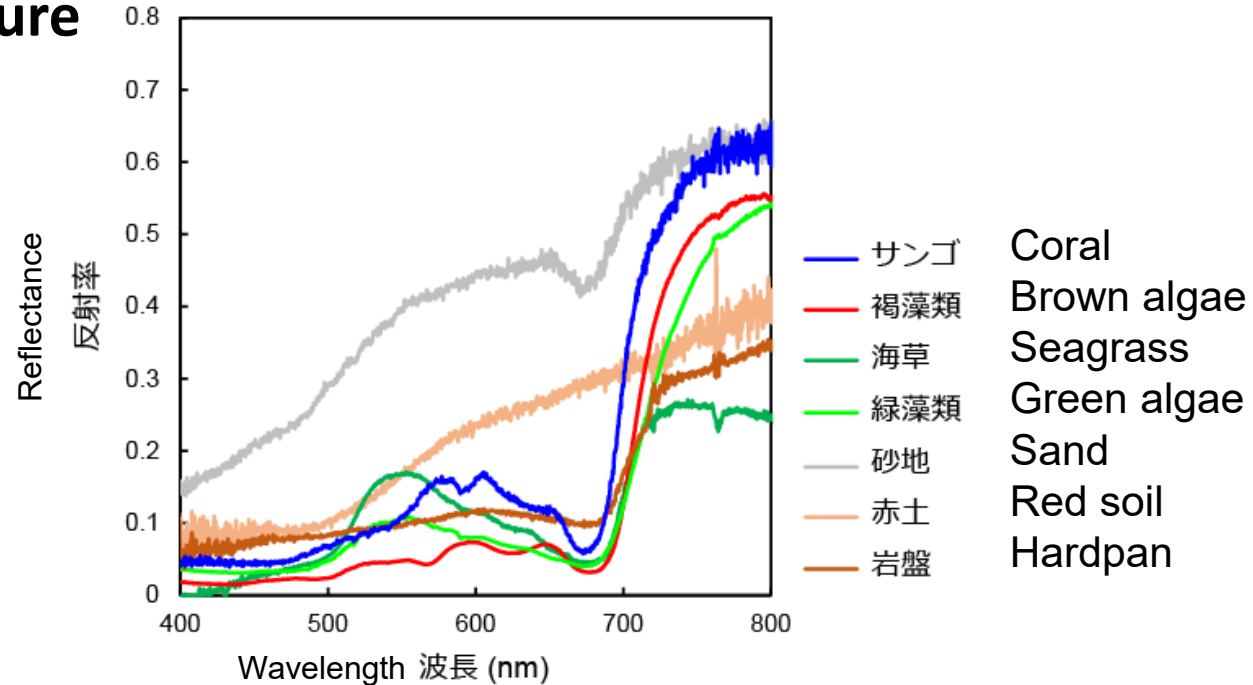
2018-07-28 00:00:00 (UTC)

Spectral unmixing technique

World View-2's 8 multispectral bands

| Channel | Coastal | Blue | Green | Yellow | Red | Red Edge | NIR 1 | NIR 2 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|
| Spectral Band (nm) | 400–450 | 450–510 | 510–580 | 585–625 | 630–690 | 705–745 | 770–895 | 860–1040 |

Spectral Signature



紫 青 緑 黄 赤

UV 紫外線

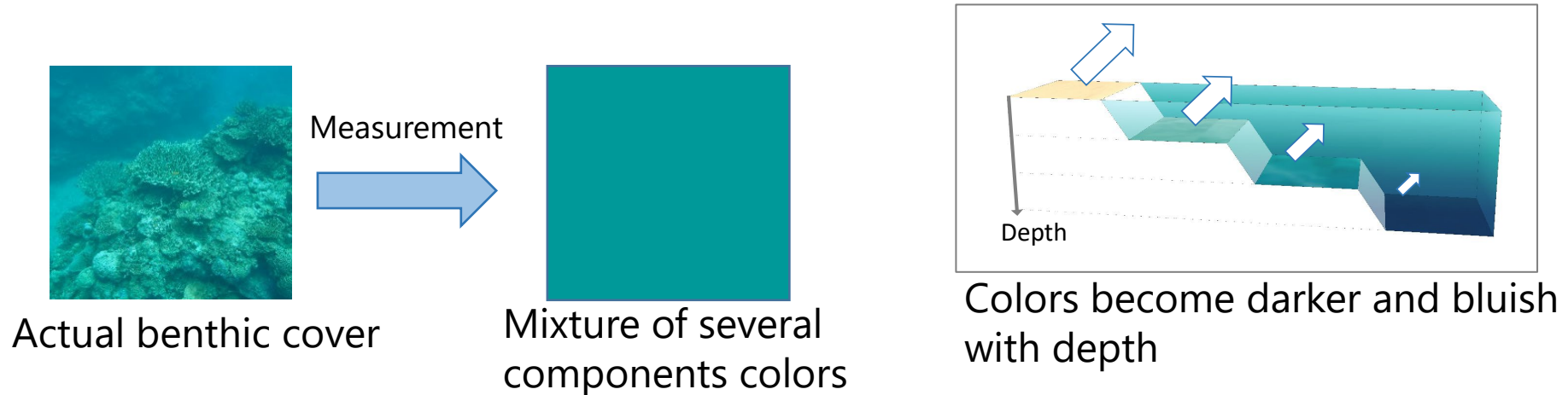
Visible 可視光

赤外光 NIR

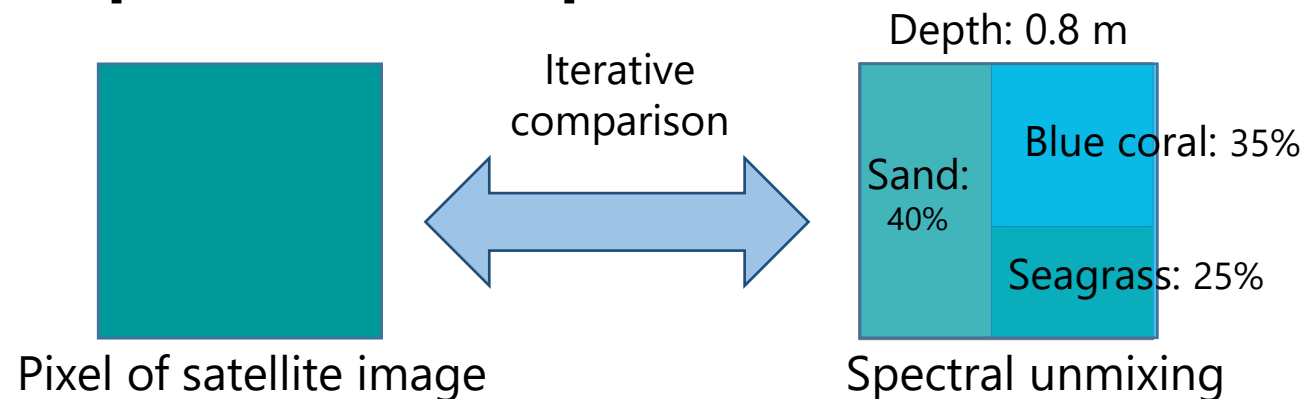
(Nakamura, in press)

Spectral unmixing technique

- Reflectance from benthic components is mixed in satellite data
- Pixel colors become darker and bluish by light attenuation (光の減衰効果) in water column



➔ **Find the best combinations of benthic component ratio and depth that can explain satellite reflection**



Spectral unmixing technique

RGB image

Bathymetry

Benthic coverage

Coral

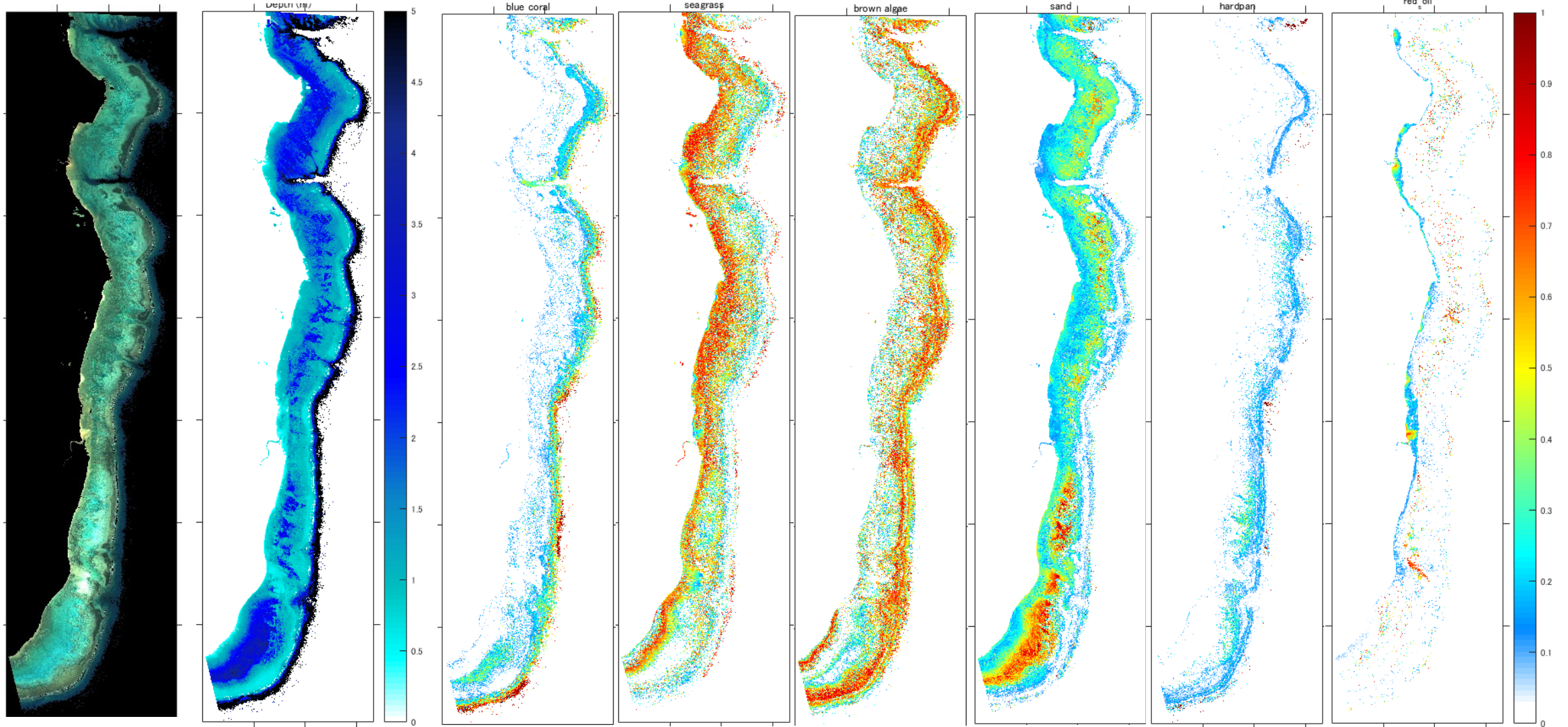
Seagrass

Macroalgae

Sand

Hardpan

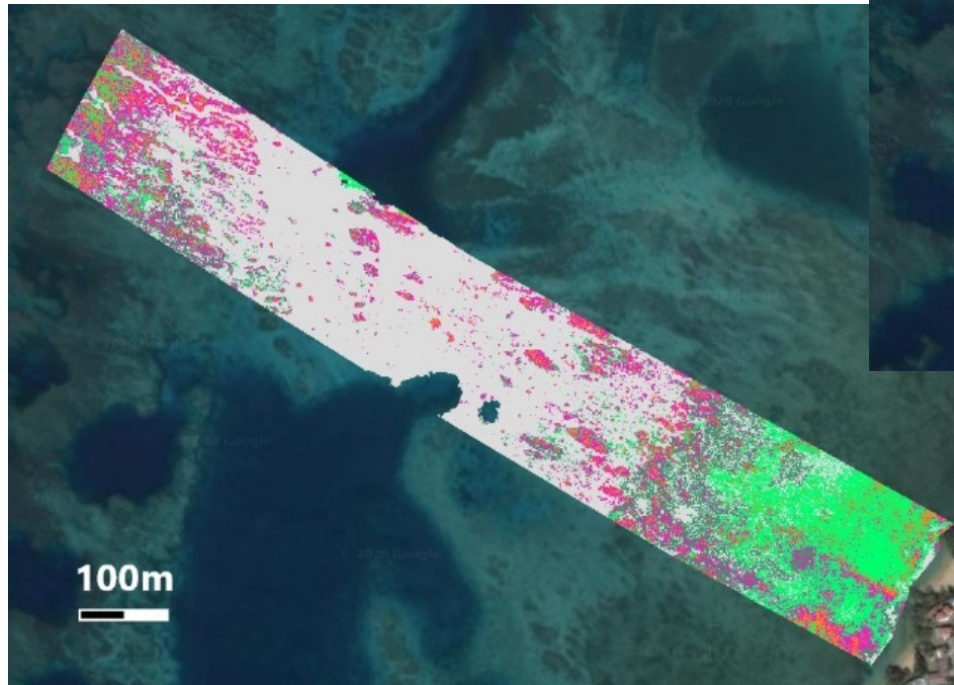
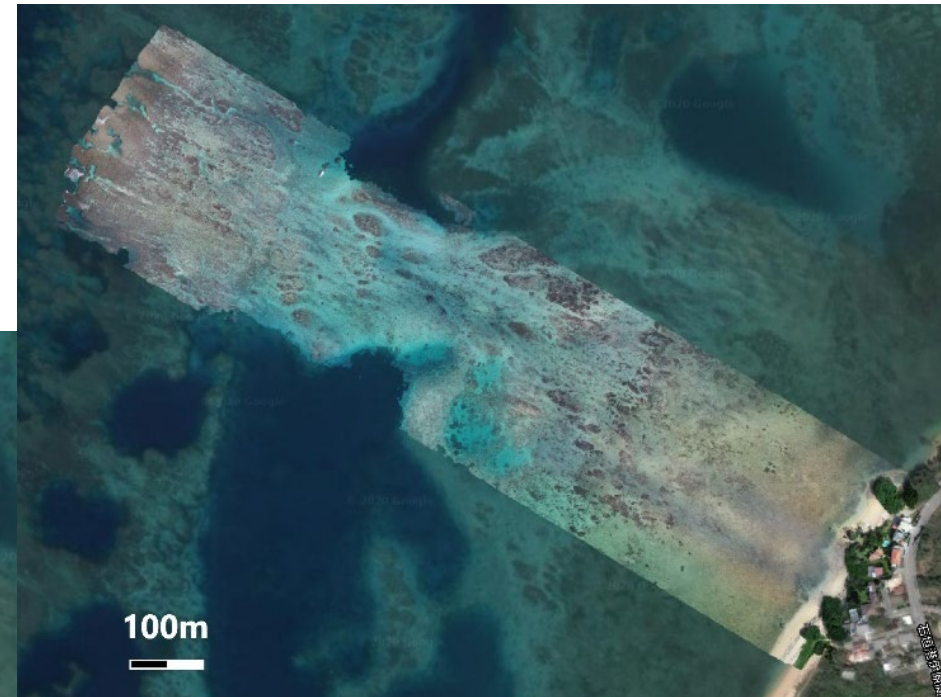
Red soil








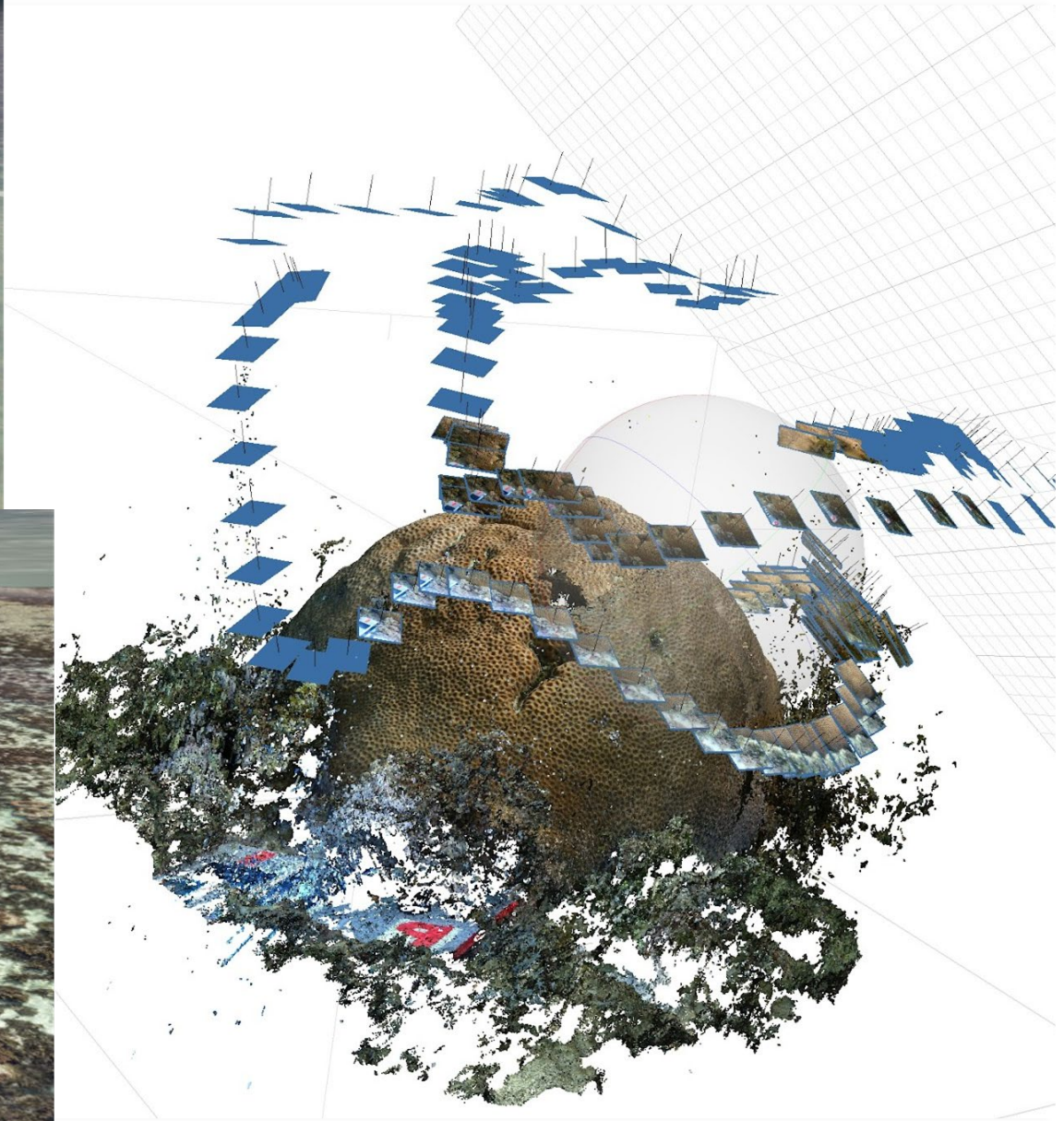
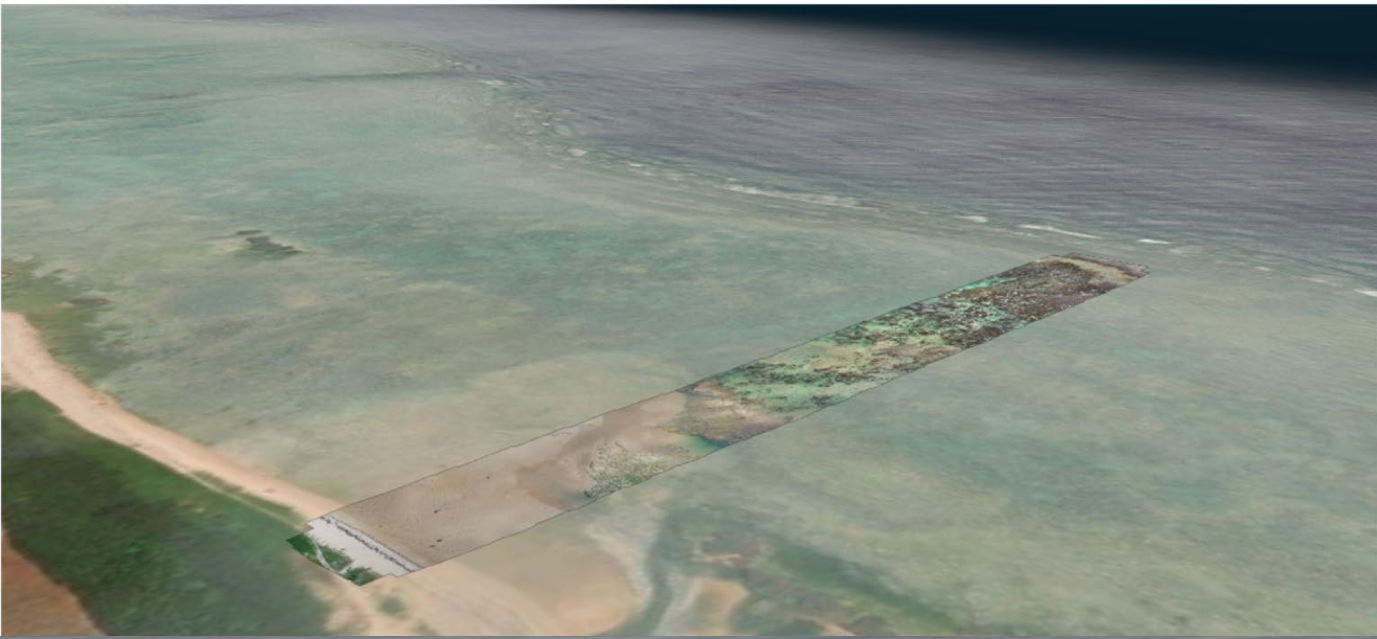
Benthic classification using ultra-high resolution UAV imagery

Resolution: Drone: <2.5 cm

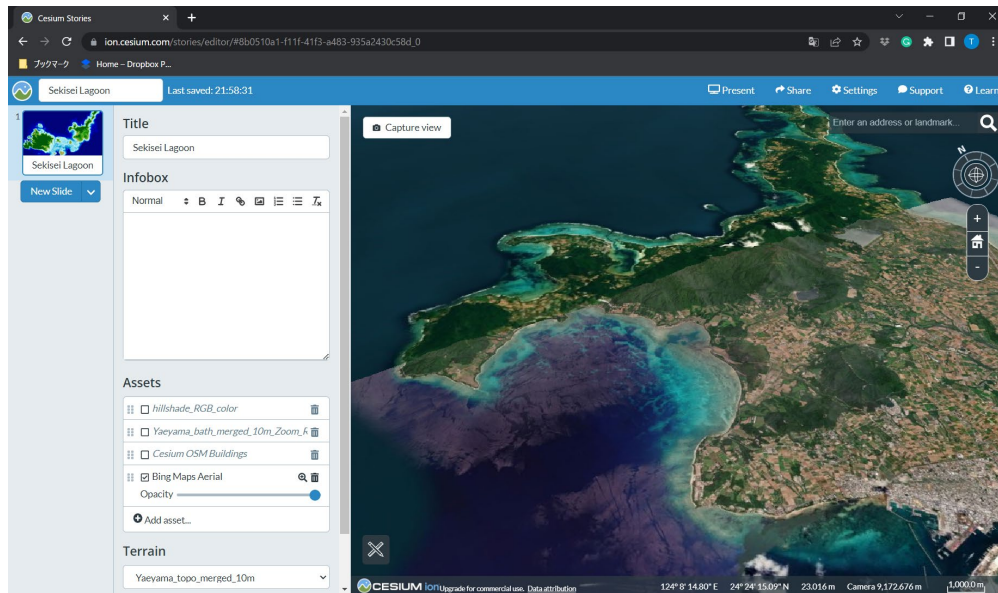
Very-high resolution satellite image: ~0.5 m



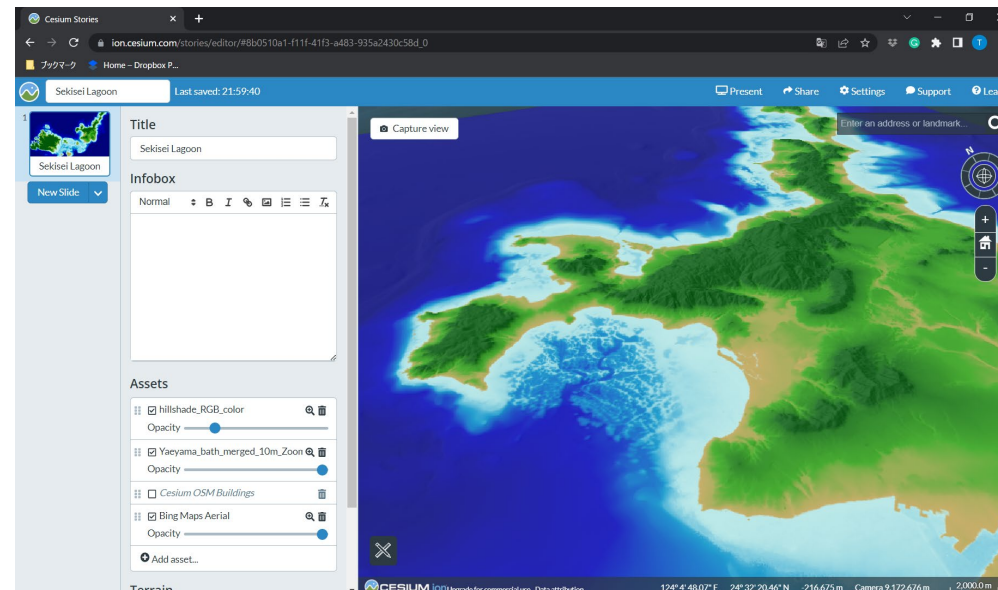
-  Small seagrass
-  *Enhalus acoroides*
-  Brown Algae
-  Sand
-  Coral



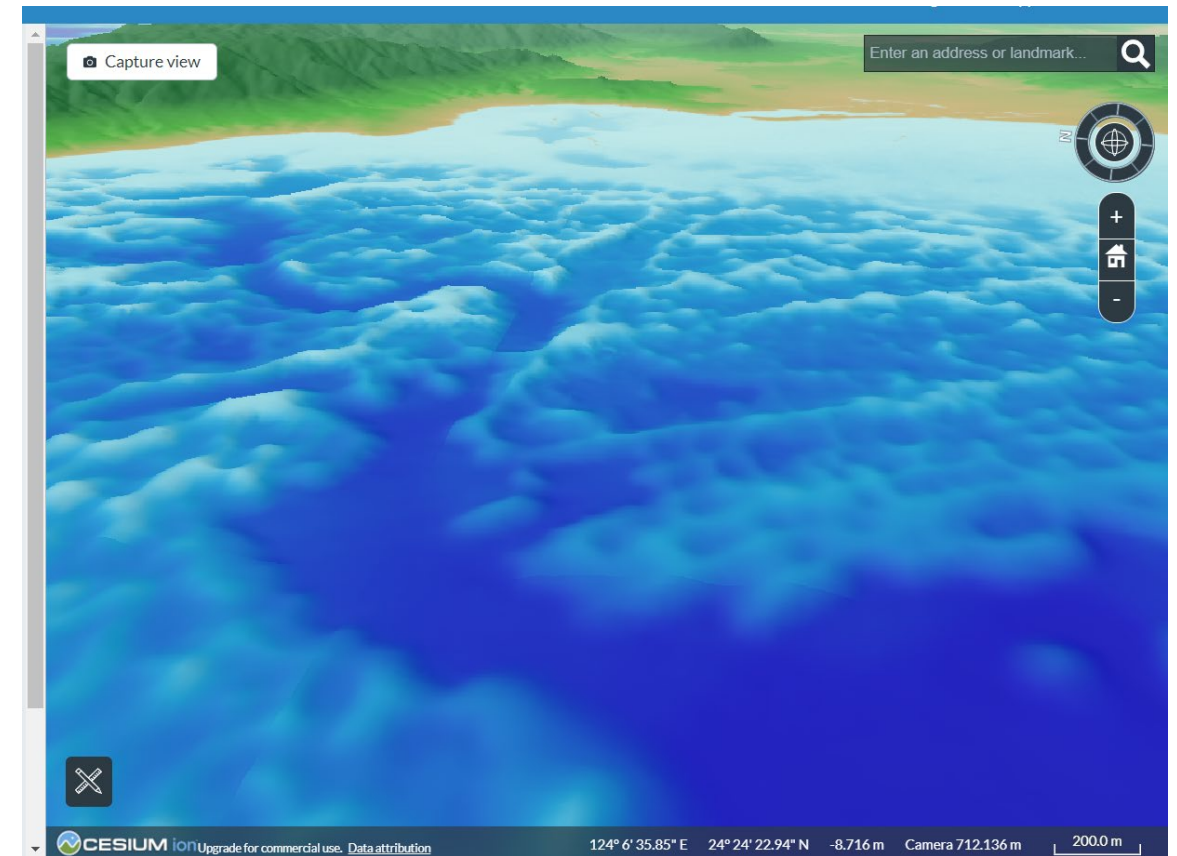
Web GIS の例 : オープンGIS Cesium ion



衛星写真



Digital Elevation Map (10m)



Digital Elevation Map (10m)

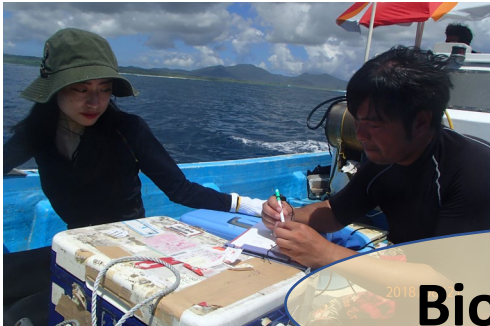
名蔵湾にクローズアップしたもの

ここに様々な環境・生物・海域利用等の情報を載せてオープンなプラットフォームの開発を目指す

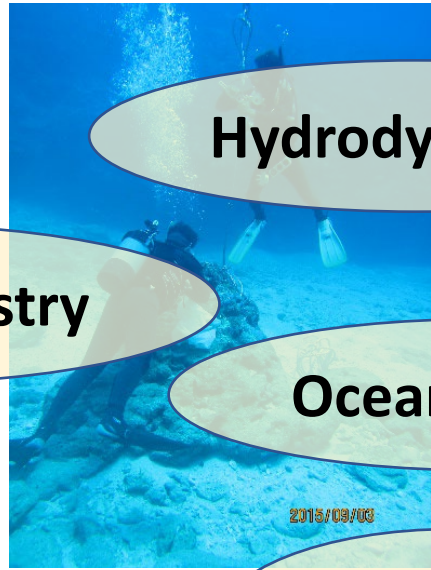
デモは以下から見るすることができます。

<https://ion.cesium.com/stories/viewer/?id=8b0510a1-f11f-41f3-a483-935a2430c58d>

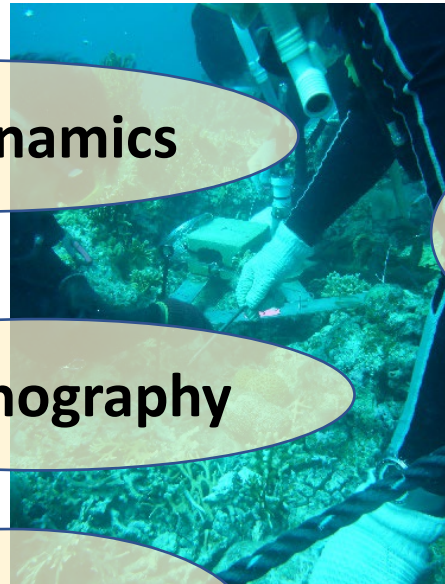
Transdisciplinary approach is needed for resolving real-world problems



Biogeochemistry



Hydrodynamics



Oceanography



PHANTOM 4 PRO V2.0

Remote sensing



Water Chemistry



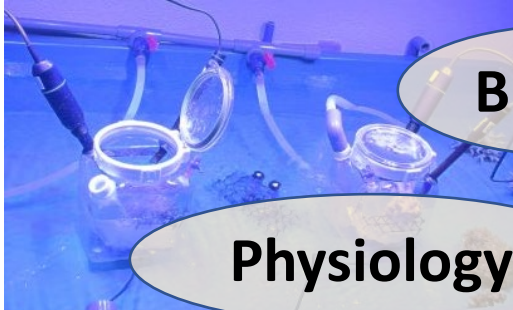
Ecology

Mathematical ecology

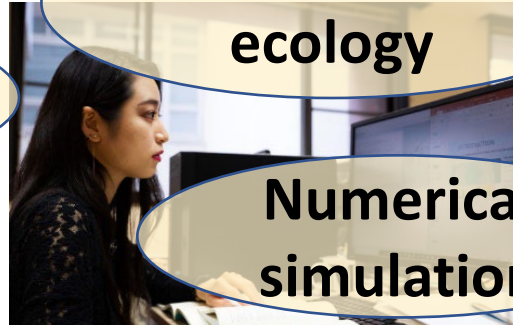


Socio-economics

Biology



Physiology



Numerical simulation

Hydrology

