

環境研究総合推進費 【5-2005】

播磨灘を例とした瀬戸内海の栄養塩管理のための 物理－底質－低次生態系モデルの開発 (JPMEERF20205005)

重点課題

【重点課題⑬】

大気・水・土壌等の環境管理・改善のための対策技術の高度化
及び評価・解明に関する研究



研究代表機関：愛媛大学
研究代表者：森本昭彦
研究実施期間：令和2年～4年
研究分担機関：香川大学

1. 研究開発背景等

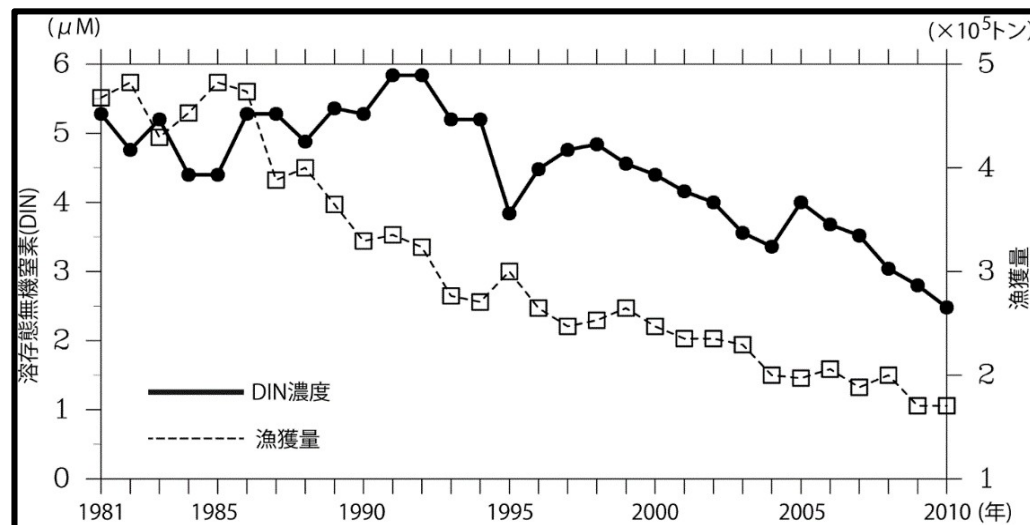
- 瀬戸内海の水質は高度経済成長期に悪化し、大規模赤潮、養殖・天然魚の大量死、奇形魚の発生など、「瀕死の海」と呼ばれる状態となった。

総量規制の実施

1973年 瀬戸内海環境保全臨時措置法

1978年 瀬戸内海環境保全特別措置法に改正

瀬戸内海全域平均のDIN濃度と漁獲量の経年変化(1981年～2010年)

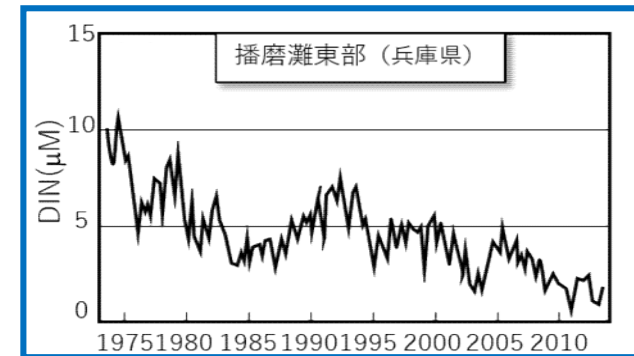
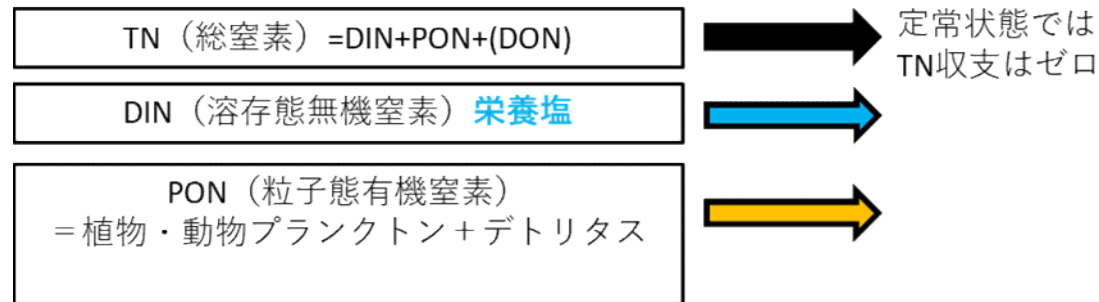


総量規制により瀬戸内海の栄養塩濃度は下がりある意味「きれいな海」となった。一方、漁獲量は減少した。

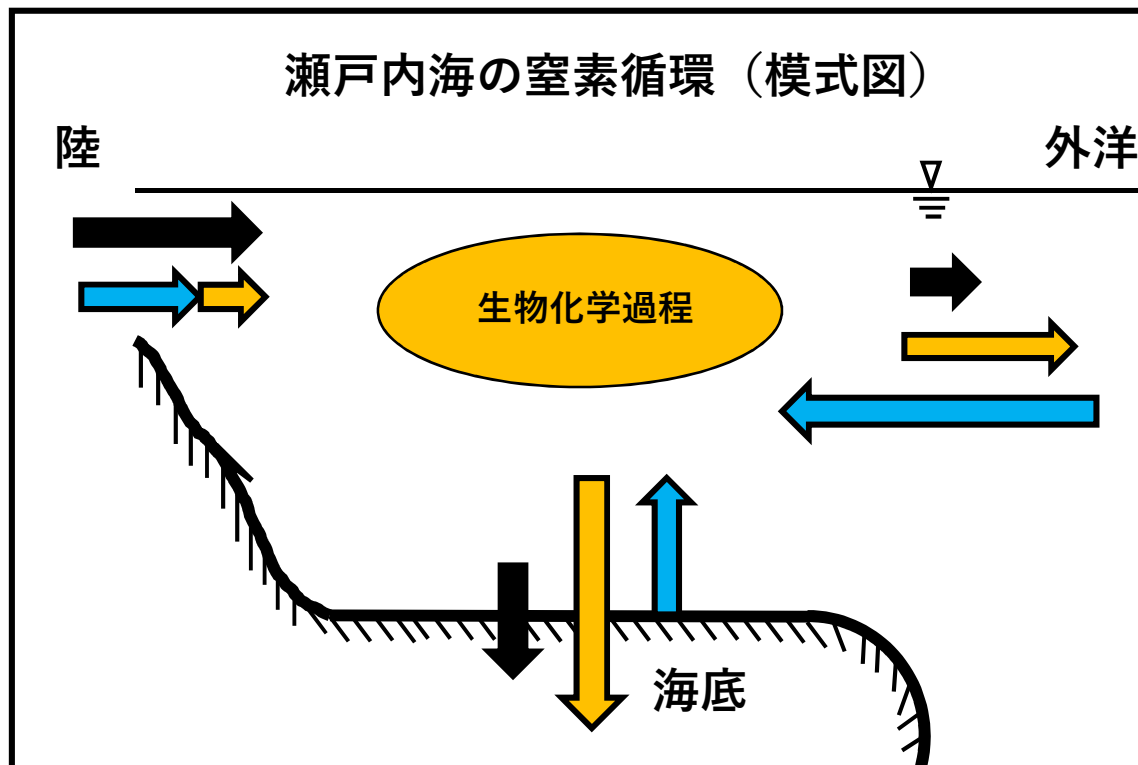
栄養塩濃度の低下（貧栄養化）が漁獲量減少の原因？

栄養塩の変化と漁獲の関係を理解する以前に 我々は瀬戸内海の栄養塩（窒素）循環を定量的に理解できていない！

瀬戸内海の栄養塩は、陸からだけでなく、海底と外洋からも供給されている



- ・ 瀬戸内海のDINは長期的に減少
- ・ DINは陸、底質、外洋から供給



陸からのTN,DIN負荷は減少（総量規制）

海底、外洋へのTNは減少する
（TN収支より）

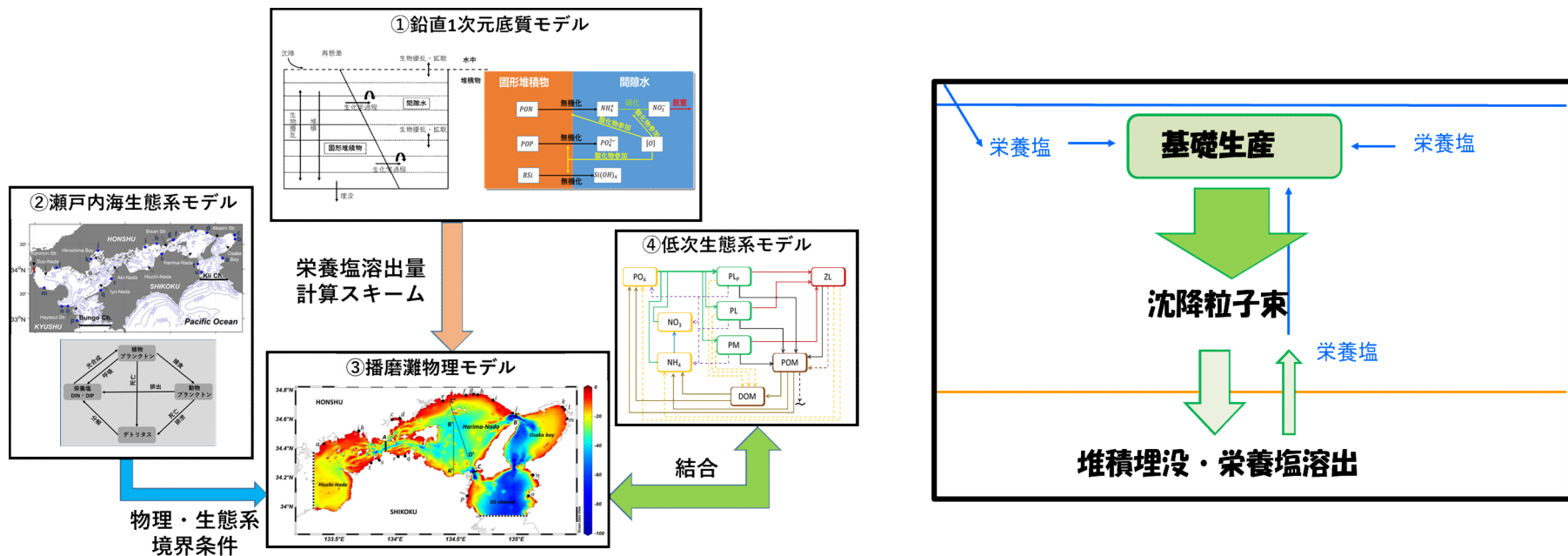
海底から溶出するDINも減少？

基礎生産が低下？

動物プランクトン・魚も減少？

2. 研究開発目的

- 底質からの栄養塩溶出量、栄養塩濃度、プランクトン種の変遷など長期的な情報が充実している播磨灘（瀬戸内海全域も）を対象とし、**陸起源、底質起源、太平洋起源の栄養塩の割合**を明らかにでき、陸からの栄養塩負荷量を変化させたときの栄養塩循環と基礎生産力の変化を定量的に計算可能な**物理—底質—低次生態系モデル**を構築する。
- また、底質からの栄養塩溶出をモデル化するために、海洋表層での有機物の生成（基礎生産）、その有機物の沈降・分解・堆積過程、さらに堆積物からの栄養塩溶出量を実測し、これらのプロセスを理解する。

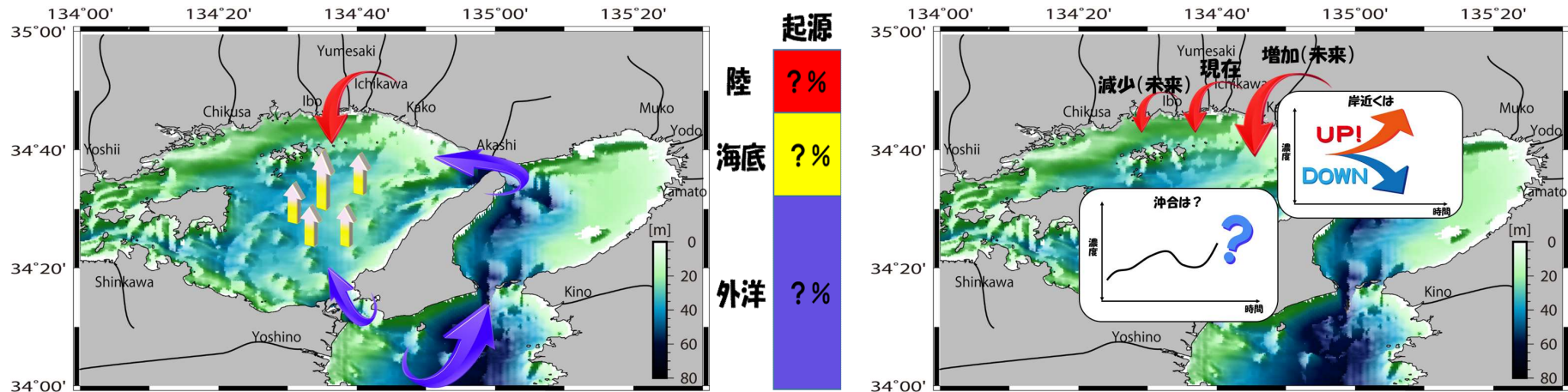


3. 研究目標

- 長期的なデータが充実している播磨灘を対象とし、陸起源、底質起源、太平洋起源の各栄養塩が播磨灘の栄養塩に占める割合を定量的に示すことができる物理－底質－低次生態系結合モデルを開発する。
- 数値モデルと現場観測・実験により、外洋と底質から供給される栄養塩量の時間変化を定量的に明らかにする
- 陸域からの栄養塩供給量を変化させた数値実験を行い、播磨灘の栄養塩濃度の空間分布や低次生態系の応答を調べ、播磨灘の栄養塩管理法について提言を行う

4. 研究開発内容

播磨灘の栄養塩に占める各起源の栄養塩の割合は？ 陸からの栄養塩負荷の変化に対する応答は？



• 底質からの栄養塩溶出量の変動機構の解明

サブテーマ1(香川大学)

- 月に1回の基礎生産・沈降粒子束・栄養塩溶出観測
- 堆積物コアの解析による有機物の分解過程の理解
- 水柱内の生元素をめぐる基礎生産、沈降、分解、埋没、栄養塩溶出までの循環の理解

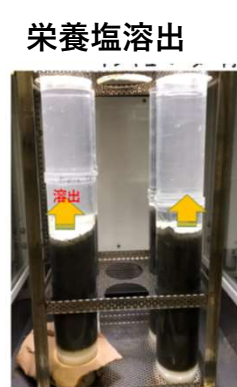
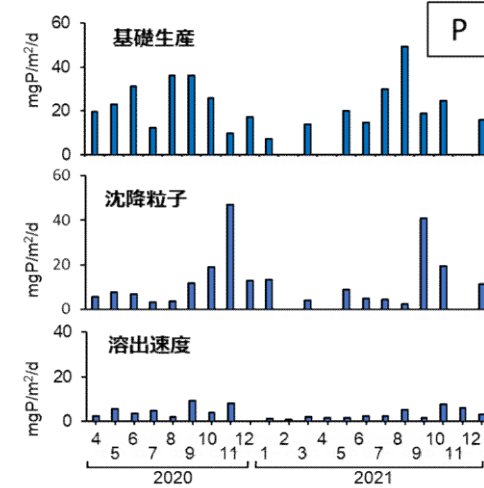
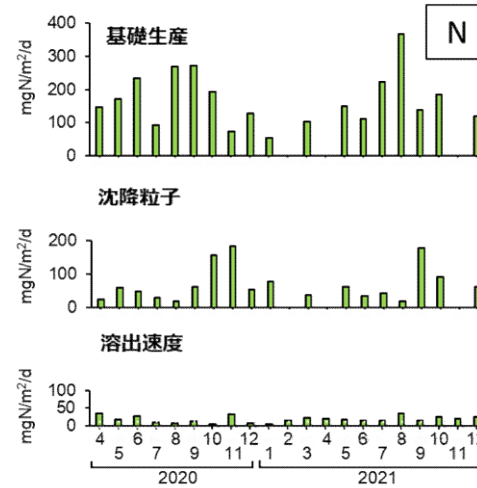
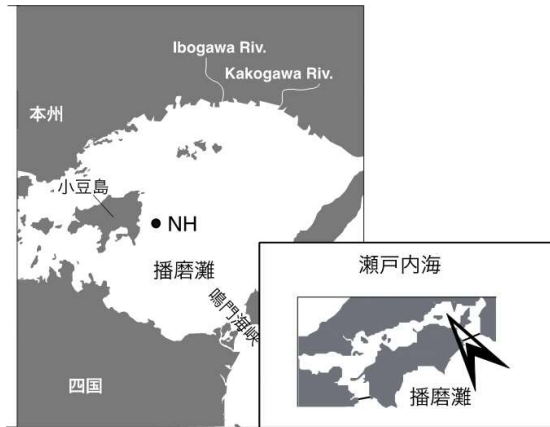
• 物理ー底質ー低次生態系モデルの開発

サブテーマ2(愛媛大学)

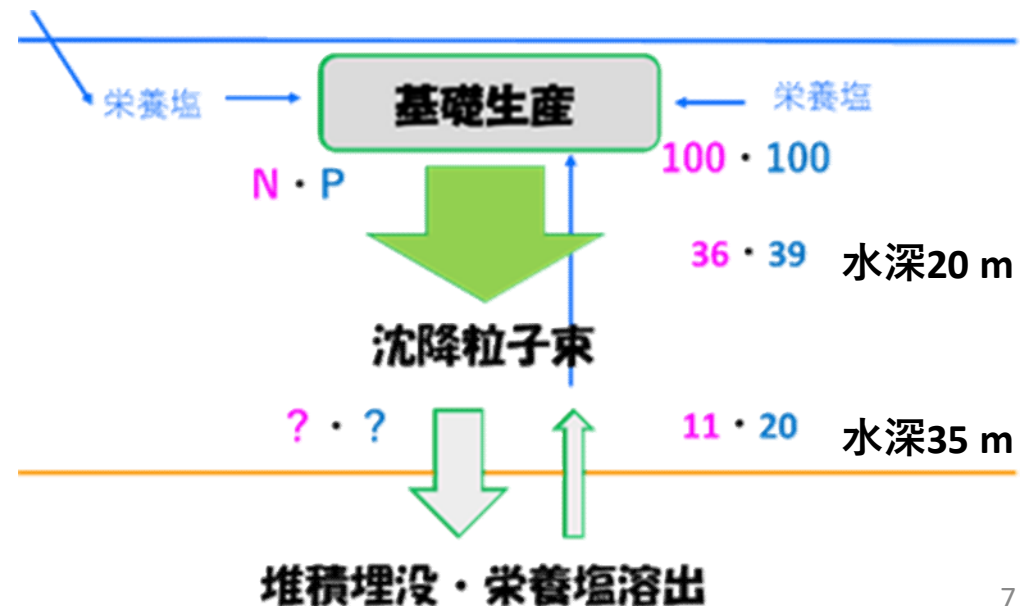
- ①底質モデル、②3次元瀬戸内海全域生態系モデル、③3次元播磨灘物理モデル、④播磨灘生態系ボックスモデル、⑤3次元播磨灘生態系モデルを開発
- 観測結果を再現できる物理ー底質ー生態系モデルを開発

5. 成果の概要 サブテーマ1（香川大学）

月1回の頻度で観測点NHにおいて、基礎生産、沈降粒子束、栄養塩溶出を観測

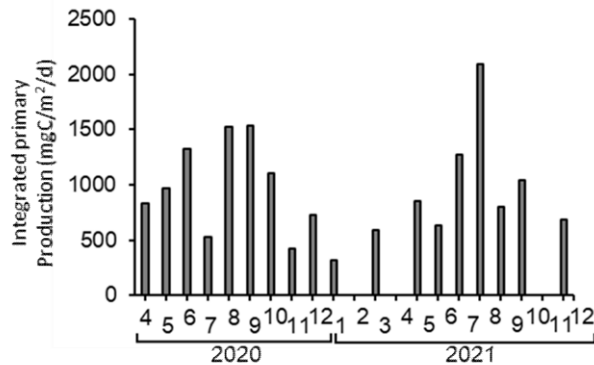


基礎生産を100とした場合の沈降粒子束、栄養塩溶出量



5. 成果の概要 サブテーマ1 (香川大学)

測点NHでの鉛直積分基礎生産速度



Tada *et al.* (1998)

観測は93, 94'年

This study

Harima Nada

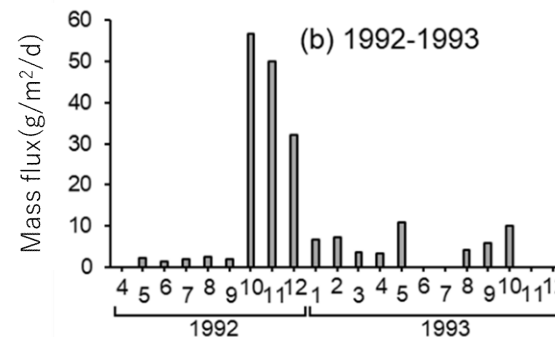
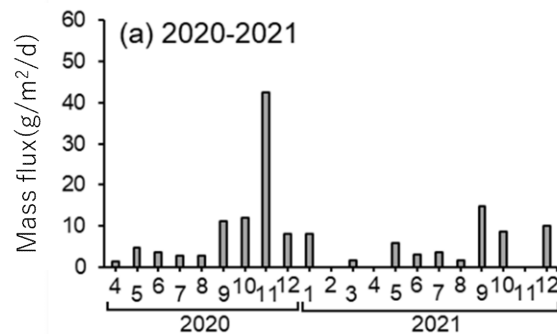
Stn. NH

400 ~ 1700 mgC/m²/d

319 ~ 2090 mgC/m²/d

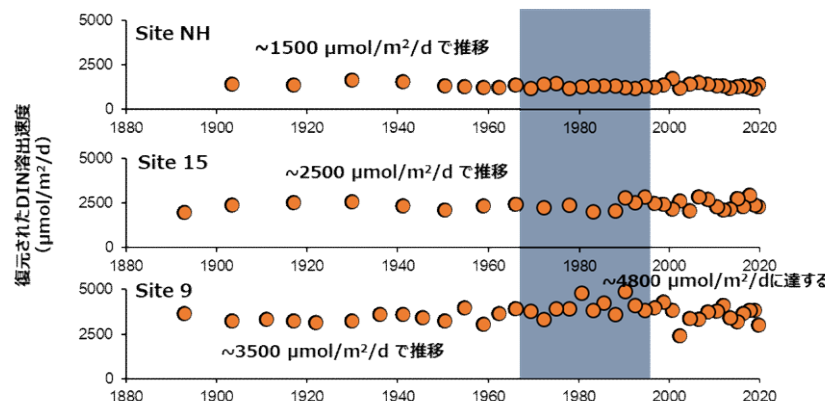
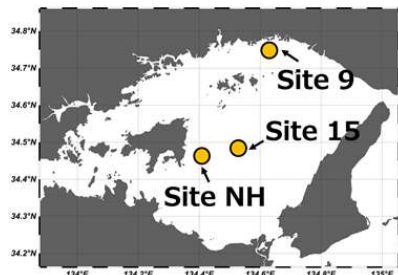
過去30年で栄養塩濃度は約1/2になったが、基礎生産速度は大きく変化していない！

測点NHでの水深20mにおける沈降粒子束



沈降粒子束も過去30年で大きく減少していない

堆積物コアから見積もった栄養塩溶出量

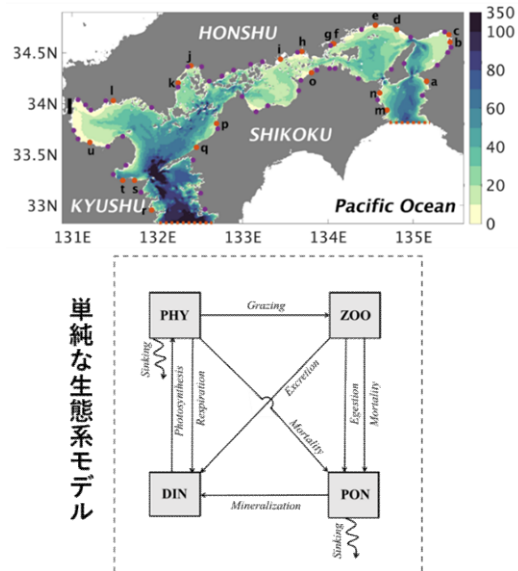


測点NH, 15では過去100年間で大きな変化はみられない。
測点9では高度経済成長期に溶出量が増加している

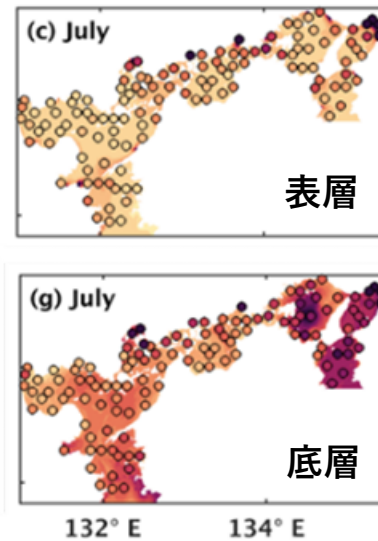
5. 成果の概要 サブテーマ2 (愛媛大学)

2種類の物理-底質-低次生態系モデルを開発

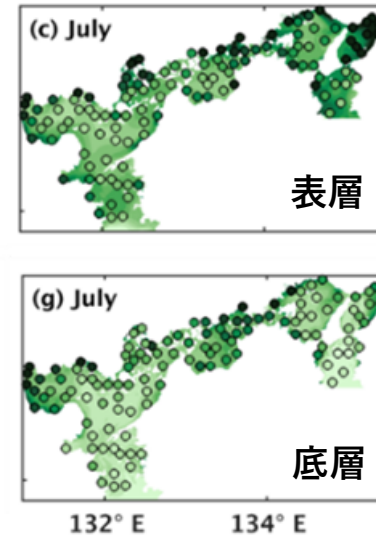
瀬戸内海全域モデル



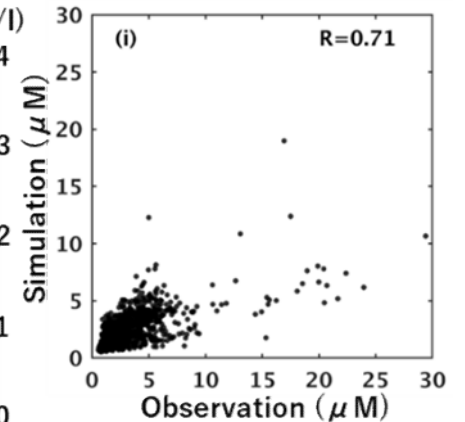
DINの水平分布



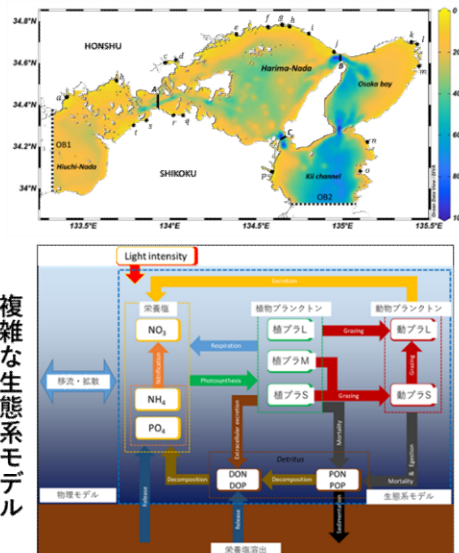
Chl-aの水平分布



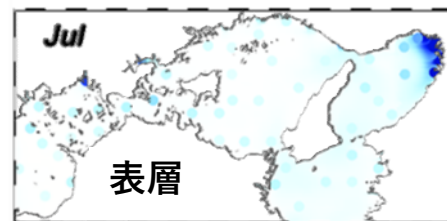
DINの観測値と計算値の比較



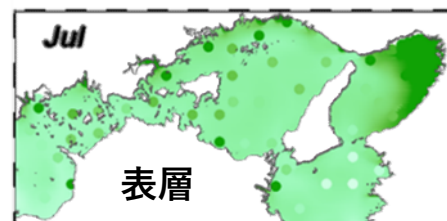
播磨灘モデル



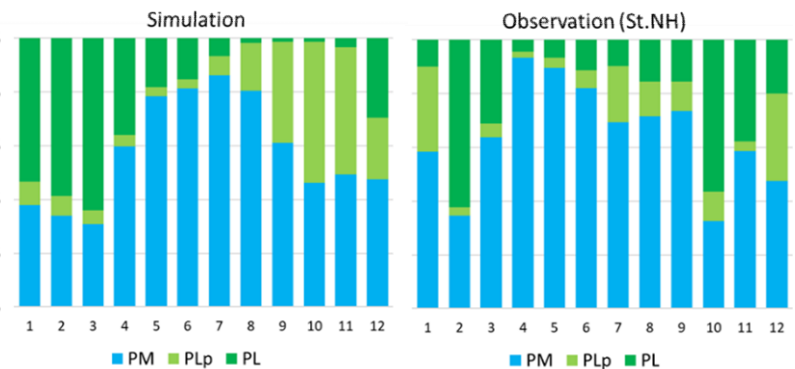
DINの水平分布



Chl-aの水平分布

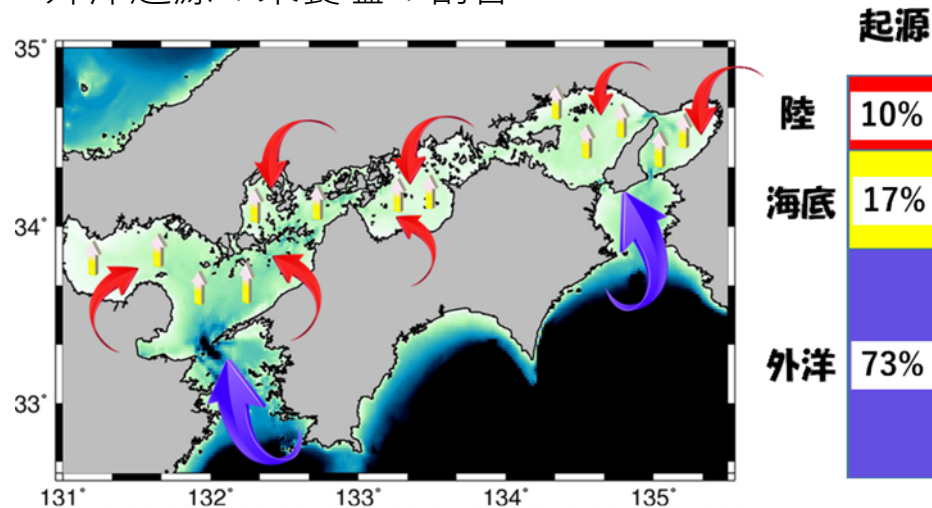


植物プランクトンのサイズ組成の計算値と観測値の比較

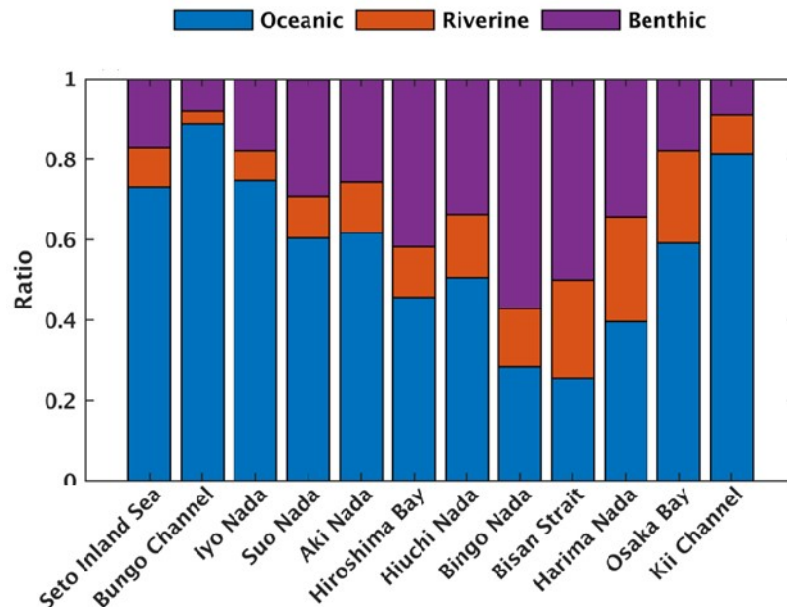


5. 成果の概要 全体

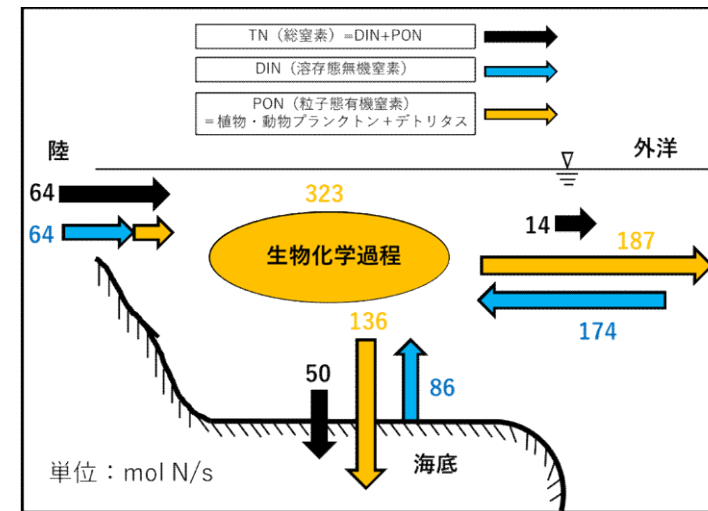
瀬戸内海の栄養塩に占める、陸起源、海底起源、外洋起源の栄養塩の割合



湾瀬ごとの各起源の栄養塩寄与率



瀬戸内海の窒素循環



播磨灘では底質へのTNが変化していない（サブテーマ1の結果）。陸からのTNは減少していることから、外洋へのTNが変化している可能性がある。

外洋と河川起源の栄養塩変化に対する応答

計算ケース		太平洋起源	河川起源	底質起源	合計
コントロール	DIN	2.13 (73%)	0.29 (10%)	0.51 (17%)	2.93
	植物プランクトン	0.53 (60%)	0.14 (16%)	0.22 (24%)	0.89
太平洋起源DIN 34%増加	DIN	2.87 (78%)	0.29 (8%)	0.52 (14%)	3.68 (+26%)
	植物プランクトン	0.66 (66%)	0.13 (13%)	0.21 (21%)	1.00 (+12%)
太平洋起源DIN 34%減少	DIN	1.41 (64%)	0.29 (13%)	0.52 (23%)	2.22 (-24%)
	植物プランクトン	0.38 (50%)	0.15 (20%)	0.23 (30%)	0.76 (-15%)
河川起源DIN 64%増加	DIN	2.13 (69%)	0.45 (15%)	0.53 (16%)	3.11 (+6.1%)
	植物プランクトン	0.52 (55%)	0.21 (23%)	0.21 (22%)	0.94 (+5.6%)
河川起源DIN 33%減少	DIN	2.13 (75%)	0.21 (7%)	0.52 (18%)	2.86 (-2.4%)
	植物プランクトン	0.53 (62%)	0.10 (12%)	0.22 (26%)	0.85 (-4.5%)

5. 2 環境政策等への貢献

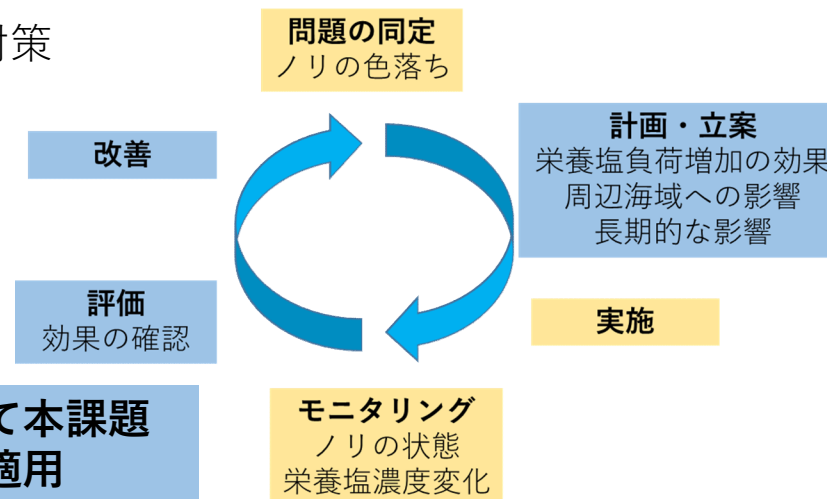
瀬戸内海の海域環境保全に係る制度の見直し 「順応的管理プロセスによる栄養塩類の管理」

例えば、ノリの色落ちの問題への対策



(affrc.go.jp)研究概要 | 珪藻ウイルスの生態学的研究 Ecological studies for diatom viruses (affrc.go.jp)

「計画・立案」、「評価」、「改善」において本課題
で開発した物理－底質－低次生態系モデルを適用



湾灘ごとの栄養塩管理への適用

播磨灘の栄養塩への各河川の寄与率の情報に基づく効率的な栄養塩負荷量の調整

5. 3 研究目標の達成状況

- **全体目標の達成状況：目標を上回る成果をあげた**

- ・ 目標としていた播磨灘の物理－底質－低次生態系モデルだけでなく、瀬戸内海全域を対象としたモデルも開発した。
- ・ これにより、瀬戸内海全体の湾灘における太平洋起源、河川起源、底質起源の栄養塩の寄与率を明らかにした。
- ・ さらに、播磨灘においては、各河川からの栄養塩の寄与率も計算したことで、栄養塩管理において重要な情報を提供できた。
- ・ 播磨灘では栄養塩濃度の変化に対し植物プランクトン量が大きく変化しないことを現場観測と数値モデルにより示した。

- **サブテーマ1の目標達成状況：目標どおりの成果をあげた**

- ・ 播磨灘の観測定点において月に1回の観測および実験を実施し、水柱における粒状有機物の窒素・リンの生産量と沈降量、そして底泥からの溶出に関する一連の窒素・リン量を定量的に明らかにした。
- ・ 播磨灘においては栄養塩濃度が1990年代に比べ1/2になっているにも関わらず、基礎生産量と沈降粒子束は大きく変化していないことを明らかにした。

- **サブテーマ2の目標達成状況：目標を上回る成果をあげた**

- ・ 瀬戸内海全域と播磨灘を対象とした2種類の物理－底質－低次生態系モデルを開発した。
- ・ 陸からの栄養塩供給量の変化だけでなく、太平洋からの栄養塩供給量の変化に対する栄養塩と植物プランクトンの応答も明らかにした。

6. 研究成果の発表状況

- 査読付き論文

- 1) 森本昭彦、柴川大雅、滝川哲太郎、平井真紀子、三門哲也、美山透(2021)：沿岸海洋研究（59巻, 1号）, 11-20 (2021), 豊後水道の沿岸定線観測点における潮流調和定数の推定と残差流の季節変化（**日本海洋学会沿岸海洋研究会速水論文賞**）
- 2) J. ZHU, J. SHI and X. GUO: Ocean Science, 18, 659-673 (2022), Interannual variation of a bottom cold water mass in the Seto Inland Sea, Japan (IF:4.3)
- 3) M. NAKAKUNI, N. LOASSACHAN, K. ICHIMI, S. NAGAO and K. TADA: Regional Studies in Marine Science, 50, 102093 (2022), Biophilic elements in core sediments as records of coastal eutrophication in the Seto Inland Sea, Japan (IF:2.1)
- 4) K. TADA, M. NAKAKUNI, H. YAMAGUCHI and K. ICHIMI: La mer (2023), Changes in nutrients and their effects on fisheries after the introduction of land-based nutrient loading regulation in the Seto Inland Sea since 1973: A review. (in press)

- その他誌上发表（査読なし）

- 1) 吉江直樹、張勁、小松輝久： 沿岸海洋研究、58(1), 45-47 (2020)「変わりゆく海：沿岸海域への温暖化の影響のまとめ」
- 2) 吉江直樹： JAMBIO New Letter, 10, 5-6 (2020)「現場観測と密に連携した沿岸生態系モデリング」
- 3) 吉江直樹： 瀬戸内海、81, 74-77 (2021)「栄養塩類の働きを踏まえた高次生態系までの統合シミュレーションモデル構築のための課題整理」
- 4) 多田邦尚： 水環境学会誌、44, 5, 137-141 (2021)「沿岸海域における基礎生産と栄養塩濃度、堆積物からの栄養塩溶出」

- 口頭発表 19件

- 国民との対話

- 1) 令和3年度特別講演会「栄養塩から高次生態系までを包括した統合モデル構築のための課題」（主催：瀬戸内海環境保全協会、2021年5月26日、神戸市 ラッセホール、観客約100名）にて講演
- 2) かがわ長寿大学高松校にて「瀬戸内海の環境」について講演（主催：かがわ健康福祉機構、2021年6月8日、観客約120名）
- 3) かがわ長寿大学坂出校にて「瀬戸内海の環境」について講演（主催：かがわ健康福祉機構、2021年6月17日、観客約40名）
- 4) 令和3年度瀬戸内海の環境保全・創造研究ワークショップ（主催：特定非営利活動法人瀬戸内海研究会、2021年12月8日、神戸市三宮研究センター、観客約100名）にて講演
- 5) かがわ長寿大学高松校にて「瀬戸内海の環境」について講演（主催：かがわ健康福祉機構、2022年6月7日、観客約120名）
- 6) かがわ長寿大学坂出校にて「瀬戸内海の環境」について講演（主催：かがわ健康福祉機構、2022年6月16日、観客約40名）
- 7) 瀬戸内海環境保全セミナー「瀬戸内海の栄養塩はどこから供給されどのように循環しているのか」（主催：瀬戸内海知事市長会議、2022年7月27日、松山市 ANAクラウンプラザホテル松山、観客約50名）にて講演
- 8) 瀬戸内海の環境保全・創造研究ワークショップ「瀬戸内海の栄養塩循環―播磨灘を例とした瀬戸内海の栄養塩管理に向けて」（主催：特定非営利活動法人瀬戸内海研究会、2022年12月14日、神戸市 三宮研修センター、観客約250名）にて講演（**本課題の成果発表として実施**）

- マスコミ等への公表・報道等

- 1) 毎日新聞（2020年7月21日、全国版、14頁）『瀬戸内海「美しさ」か「豊かさ」か』
- 2) 山陽新聞（2023年3月11日、全国版、26頁、『ノリの色落ち年々悪化』）

- Webでの情報公開

<https://www.harimanada.com>

として本課題のWebページを作り情報公開を行っている。