

# 瀬戸内海の窒素循環への 気候変動・大気環境変動の影響

東 博紀

国立研究開発法人国立環境研究所  
地域環境保全領域海域環境研究室

謝辞: 本発表は環境省の請負業務(平成28年度~令和3年度)、環境研究総合推進費(JPMEERF20225002、JPMEERF20231003)、国立環境研究所第3期中期計画重点研究「東アジア広域環境研究プログラム」の成果を取り纏めたものです。本研究の数値計算は国立環境研究所のスーパーコンピュータシステムを使用しました。

本資料における瀬戸内海の気候変動影響予測結果は、以下の学会論文等にて発表した内容を最新のシミュレーション結果に基づいて更新・再編したものです。モデルの改良により、各報の予測結果が若干異なること、ご容赦ください。

東博紀, 横山亜紀子, 中田聡史, 吉成浩志, 越川海 (2020) RCP8.5シナリオに基づく瀬戸内海の一次生産および水質への気候変動影響予測, 土木学会論文集B2(海岸工学), 76(2), I\_1147-I\_1152.

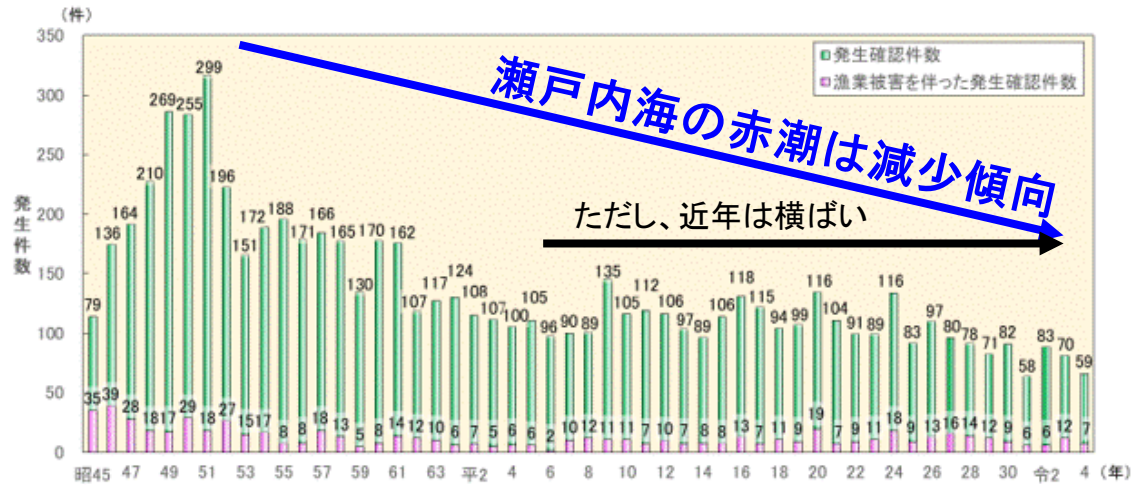
中田聡史, 東博紀, 秋山千亜紀, 吉成浩志 (2020) RCP8.5シナリオに基づく瀬戸内海への汚濁負荷流出の気候変動影響評価. 土木学会論文集B1(水工学), 76(2), I\_1429-I\_1434.

東博紀, 吉成浩志, 中田聡史, 横山亜紀子, 越川海 (2021) RCP8.5の気候変動が播磨灘の窒素フローに及ぼす影響. 土木学会論文集B1(水工学), 77(2).  
東博紀 (2021) 瀬戸内海における水環境への気候変動の影響と適応策. 水環境学会誌, 44(5), 142-146.

# 研究背景：日本の閉鎖性海域の水環境問題

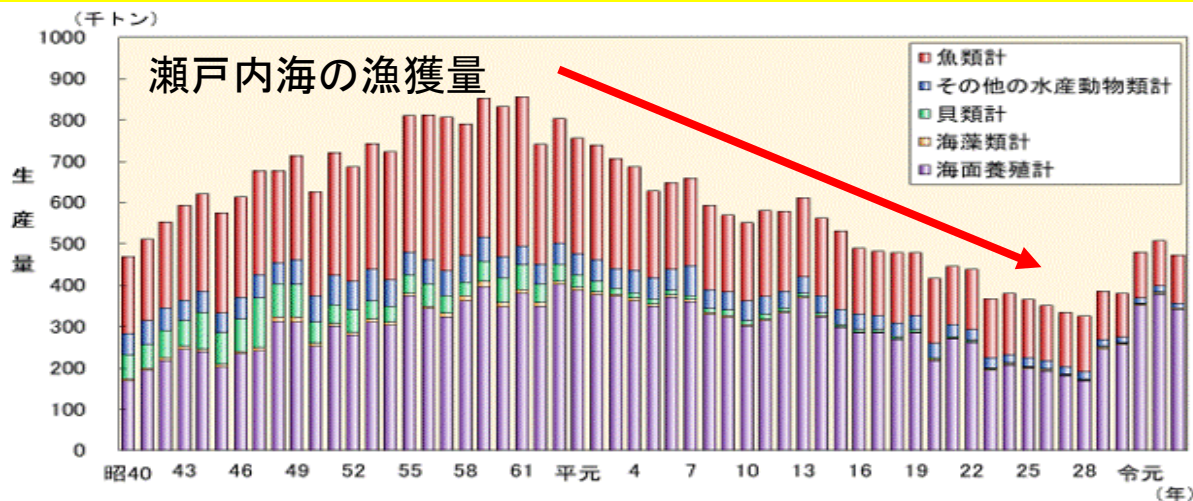
高度経済成長期：陸からの流入負荷の増加によって急速に富栄養化

⇒ 排水規制、総量削減等の長年の取組みによって水質は改善傾向



出典：環境省せとうちネット  
([https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa\\_net/setouchiNet/seto/g2/g2cat01/akashio/index.html](https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/seto/g2/g2cat01/akashio/index.html))

一部を除き、水質は改善したが、依然として生物多様性・生産性は低迷



出典：環境省せとうちネット  
([https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa\\_net/setouchiNet/seto/g2/g2cat02/suisangyou/index.html](https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/seto/g2/g2cat02/suisangyou/index.html))

# 研究背景：日本の閉鎖性海域の水環境問題

## 播磨灘

【冬】海藻類(ノリやワカメ)の色落ち

## 大阪湾

【夏】赤潮・貧酸素水塊の発生

栄養塩類の順応的管理

栄養塩類の削減

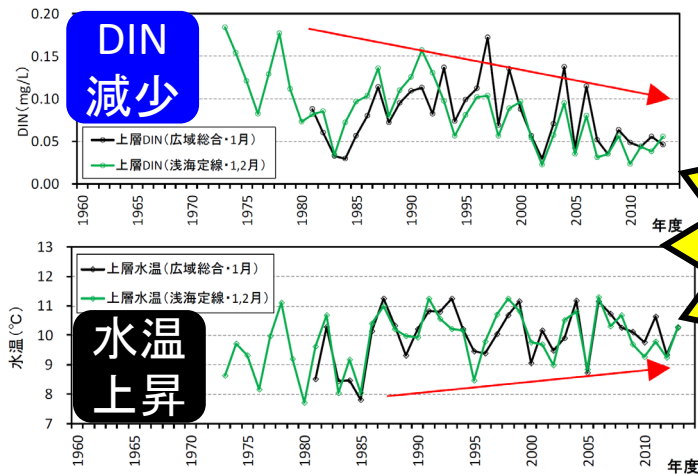


図 冬季のDIN及び水温(上層)

同じ海域内でも管理の方向性が異なる！

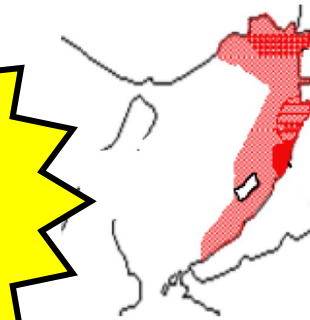


図 赤潮発生場所例 (2016年9月)

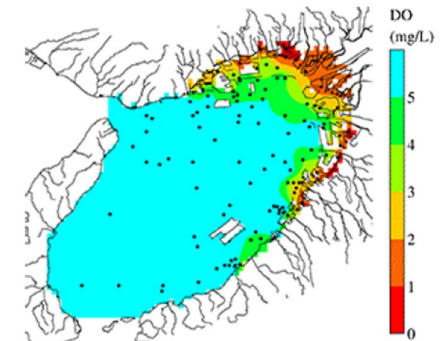


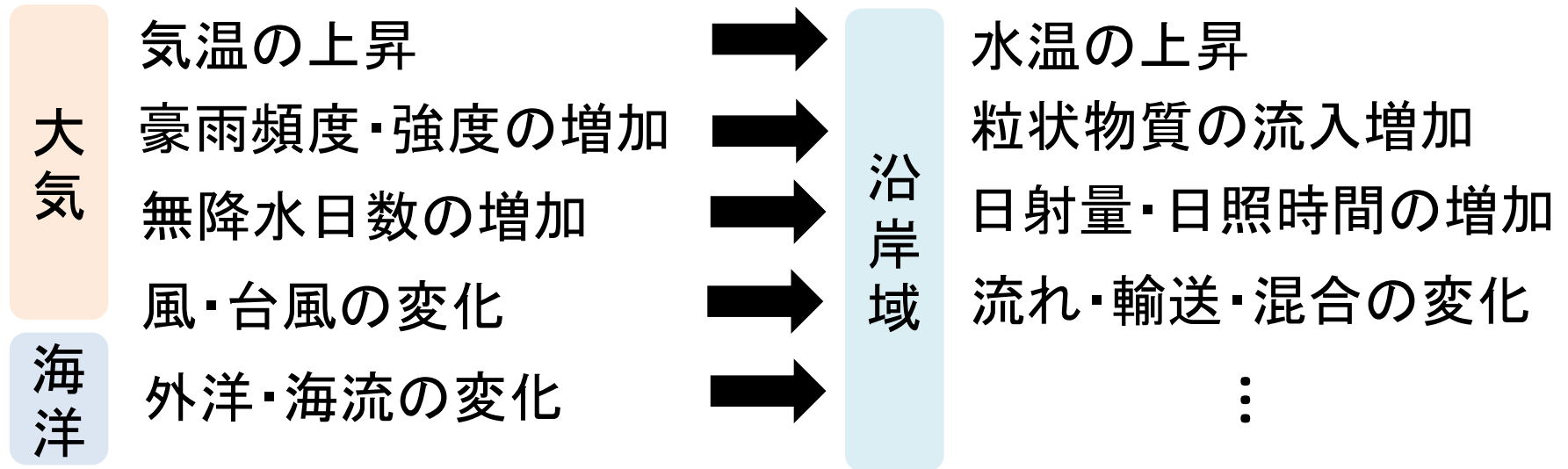
図 夏季の底層DO分布例 (2015年8月上旬)

出典：瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について(答申)

## 2021年6月 瀬戸内海環境保全特別措置法の一部改正

- 「**栄養塩類管理制度**」の創設 ⇒ **きめ細かな水質管理**へ
- 「**気候変動**」を踏まえた対応(法律の基本理念に明記)

加えて、今後は**気候変動への対応・適応**も求められる



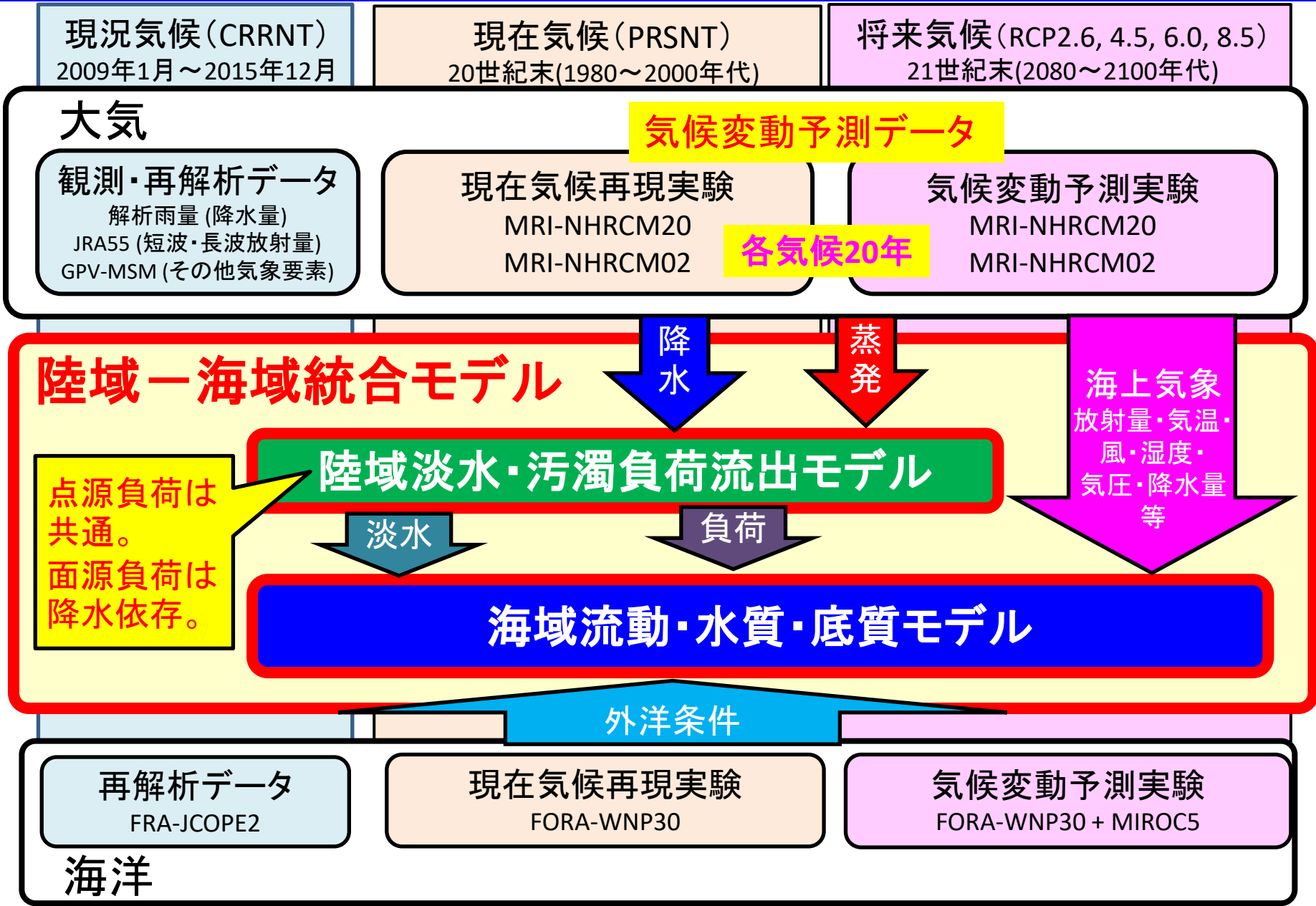
**現在の施策・取組みは将来に対応できるか？**

**目的：気候変動によって水質や一次生産はどう変化するのか？**

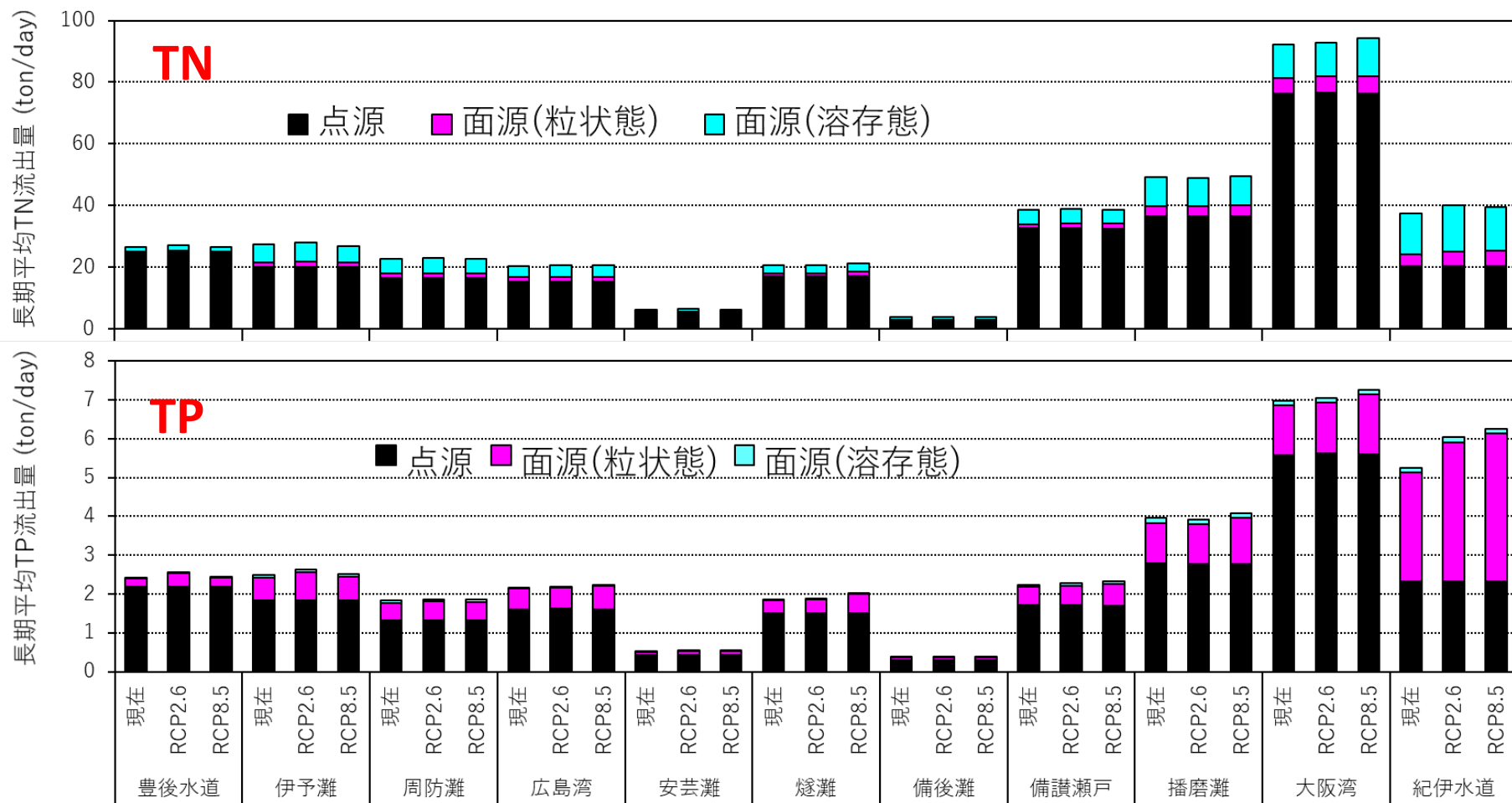
⇒ 近年の生物生産性・栄養塩の減少要因は気候変動？ 負荷削減？

⇒ 大気質の変化の影響は？

# 閉鎖性海域の水環境への気候変動影響予測



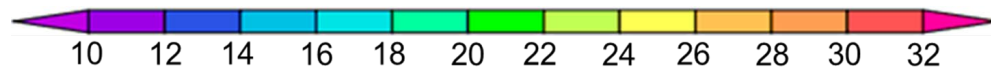
# 予測結果：陸域から湾灘へのCOD・TN・TP流出量の変化



- 豪雨の頻発化により、粒状態の面源負荷流出は有意に増加
- 点源が卓越するため、COD、TN、TPの総流出量には有意差なし

# 予測結果：瀬戸内海の表層水温への影響

## 表層水温の月別気候値(°C)



現在気候 2月

RCP8.5 2月

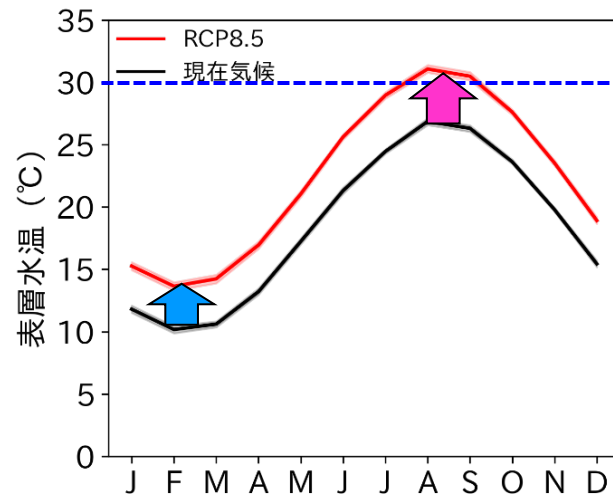
昇温

現在気候 8月

RCP8.5 8月

昇温

播磨灘平均の月別値

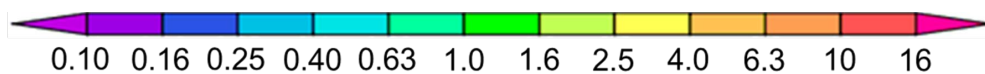


現在気候に比べて、昇温傾向が強いRCP8.5の将来気候では、

- 表層水温が年間を通して3~4°C程度上昇
- 内海中央や浅海域では8月平均の表層水温が30°C超

# 生物生産性(一次生産)は増える？減る？

表層 Chl.a の月別気候値( $\mu\text{g/L}$ )



現在気候2月

RCP8.5 2月

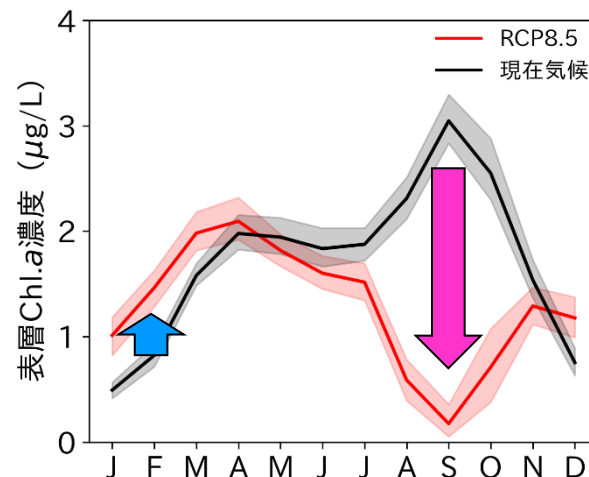
増加

現在気候8月

RCP8.5 8月

減少

播磨灘平均の月別値



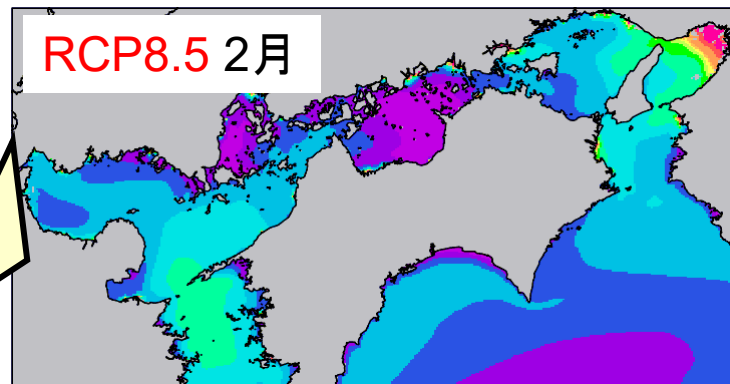
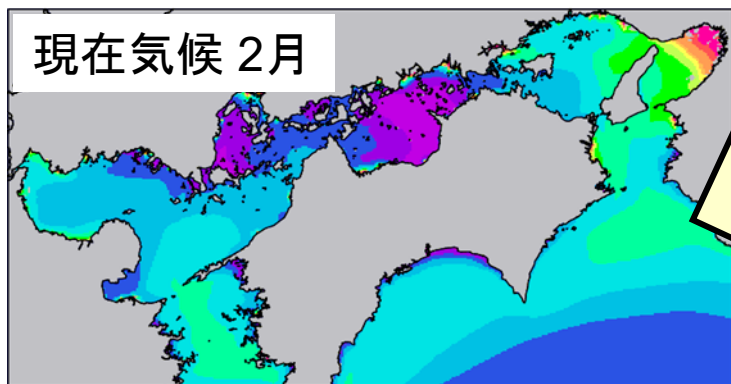
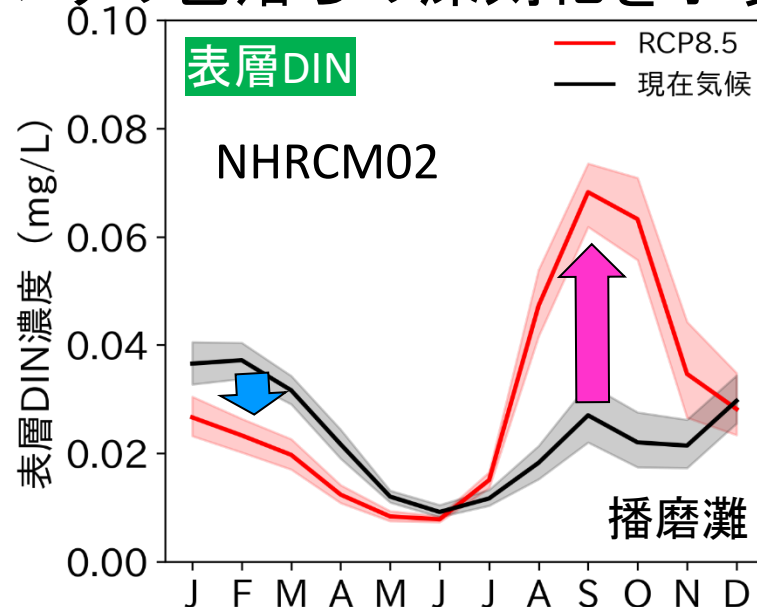
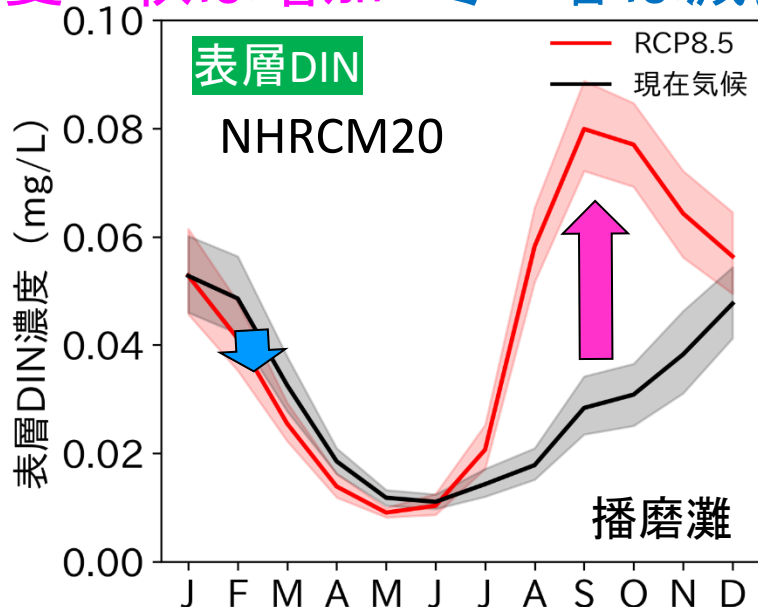
- 現在気候に比べて、昇温傾向が強いRCP8.5の将来気候では、
- 冬～春のChl.aは温暖化によって増加する傾向
  - 夏～秋のChl.aは高温化によって減少する傾向



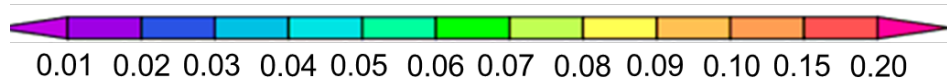
# 栄養塩濃度への影響は？

栄養塩濃度の変化 (⇔ 一次生産の変化)

夏～秋は増加 冬～春は減少 ⇒ ノリの色落ちの深刻化を示唆



表層DIN濃度(mg/L)

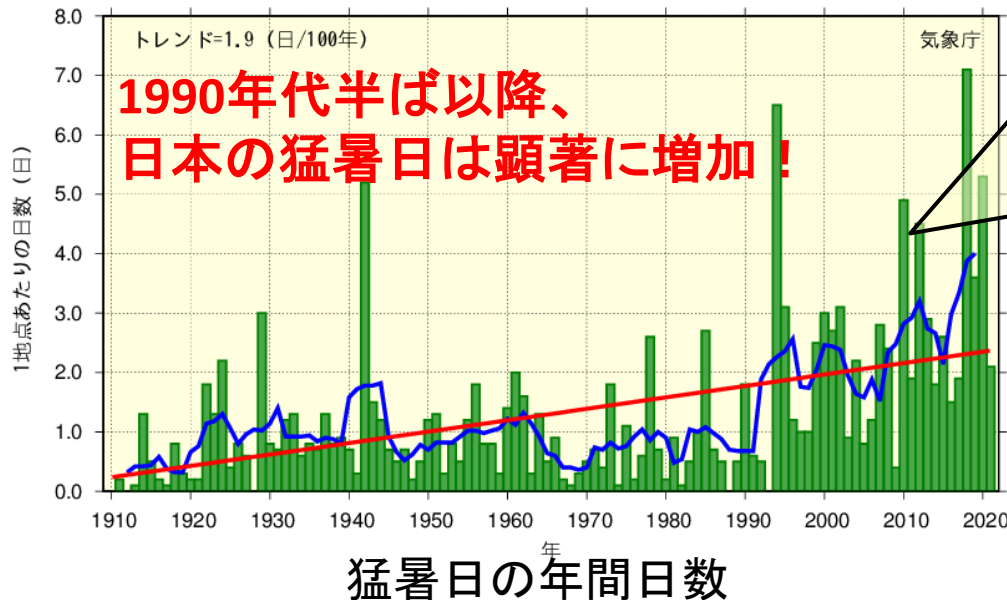


# 生物生産性の低下は猛暑が原因？

陸域からの栄養塩類の流出量が有意に変化しない条件下では

- 冬・春の水温上昇 ⇒ 基本的に一次生産は増加
- 夏・秋の水温上昇 ⇒ **30°Cを超える海域の一次生産は減少**  
⇒ 年間トータルの一次生産は減少傾向

[全国13地点平均] 日最高気温35°C以上の年間日数 (猛暑日)



生産性低下の主要因か？

- ⇔ 海底有機物含量の減少傾向
- ⇔ 透明度の増加傾向
- ⇔ 底層DOの回復傾向

これら観測値の長期変動傾向といずれも矛盾は見られない

図の出典: 気象庁ホームページ

[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/images/max35up\\_p.png](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/images/max35up_p.png)

# 残されている課題

## 最も重要な課題：生態系モデルの不確実性

気候変動下で生物・生態系がどう変わるか？

- 植物プランクトンの適応、種交代、外来種の移入・定着
- 高次生態系を介した影響（トップダウン） など

## 未検討の課題：大気質の長期変動による影響

大気から陸域・海域への栄養塩類の沈着量の変化

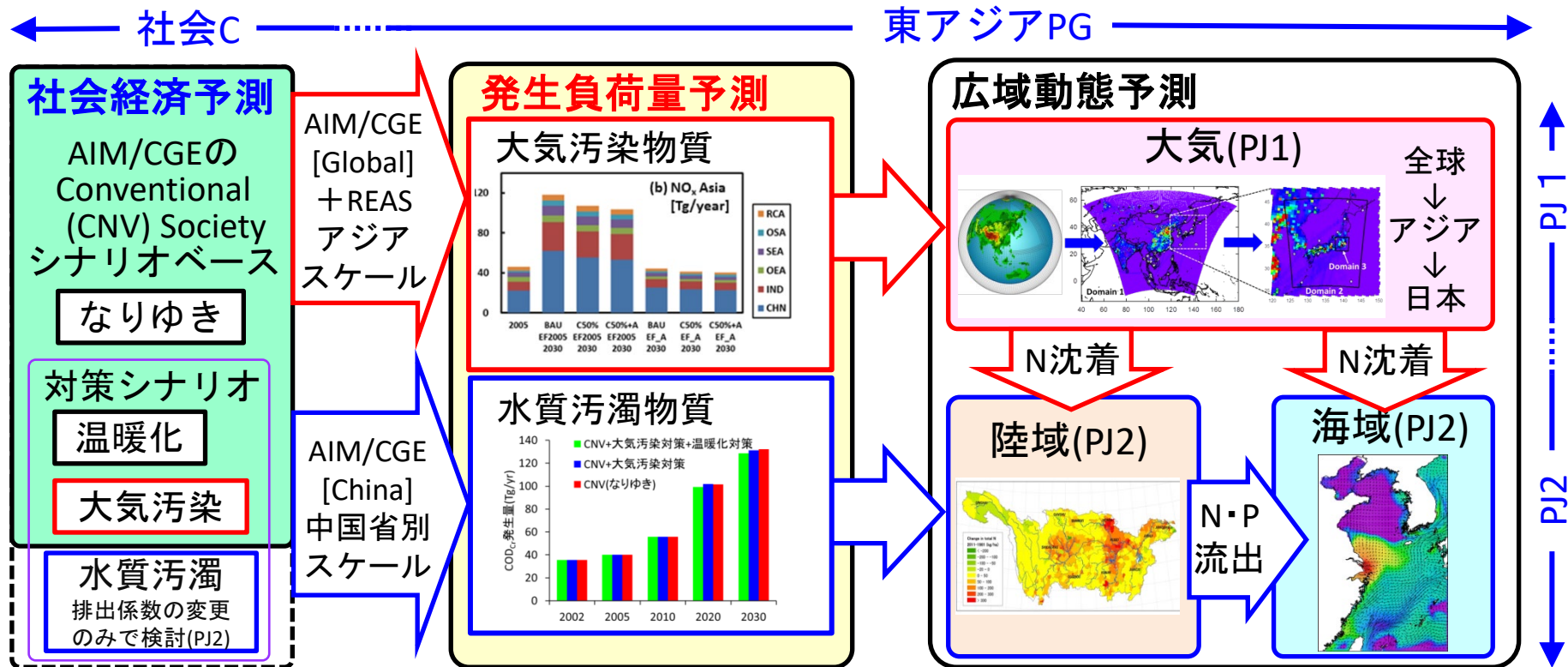
⇒ 海域への栄養塩類の流入増加 ⇒ 一次生産の増加

大気質の変化による日射環境への影響

⇒ 海面・水中光量の変化 ⇒ 光合成への影響

# 大気沈着を考慮した海域環境の解析事例

国立環境研究所 第3期中期計画(2011~2015年度) 東アジア広域環境研究プログラム



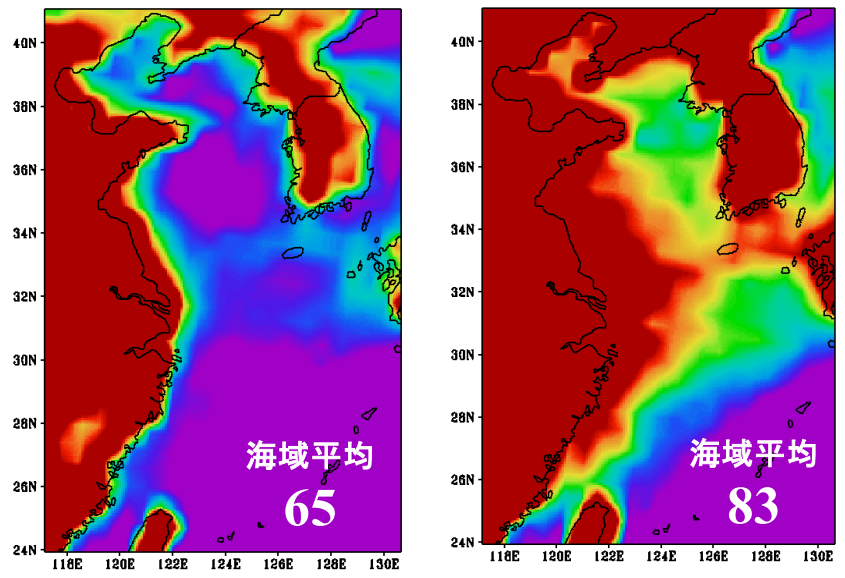
出典: 国立環境研究所研究プロジェクト報告 SR-115-2016  
<https://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/pdf/sr-115.pdf>

# 大気窒素沈着が東シナ海の一次生産に及ぼす影響

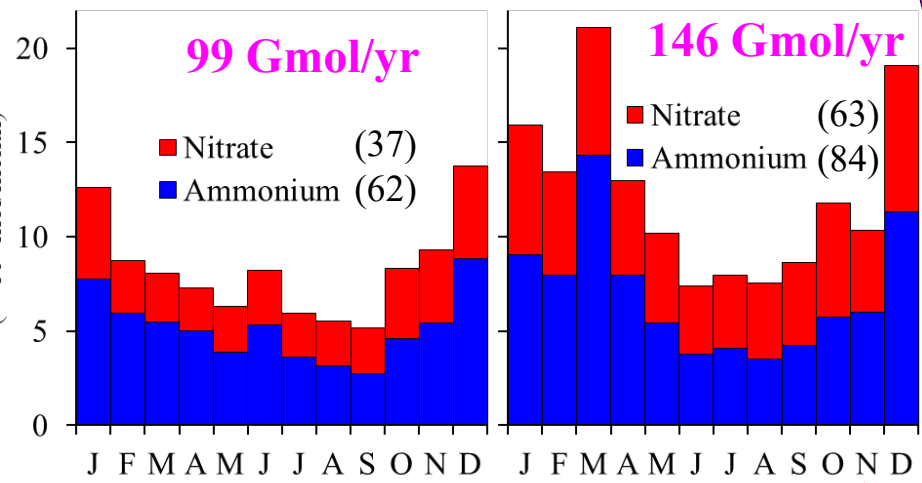
年間N沈着量 (mmol/m<sup>2</sup>/yr)

2000年

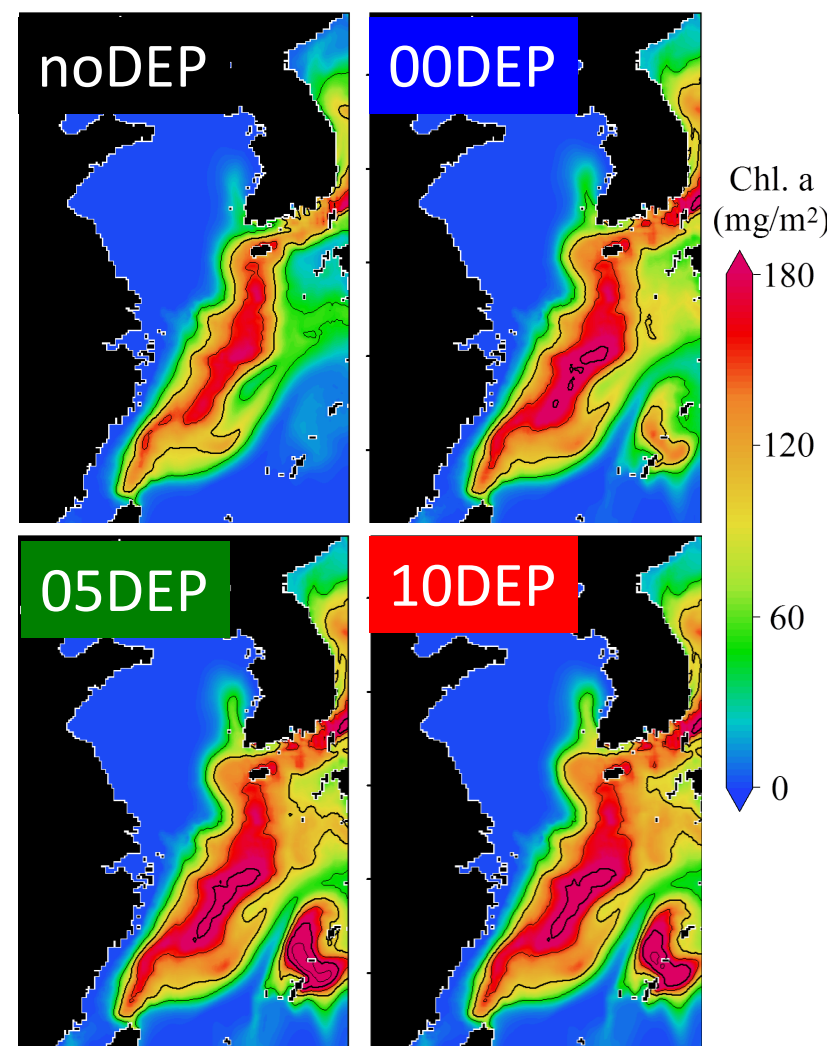
2010年



海域への月別N沈着量  
( $\times 10^9$  mol/month)



海面～50m深の渦鞭毛藻Chl. a現存量



**海域へのN沈着量は1.5倍に増加**

**渦鞭毛藻の優占化を強化？**

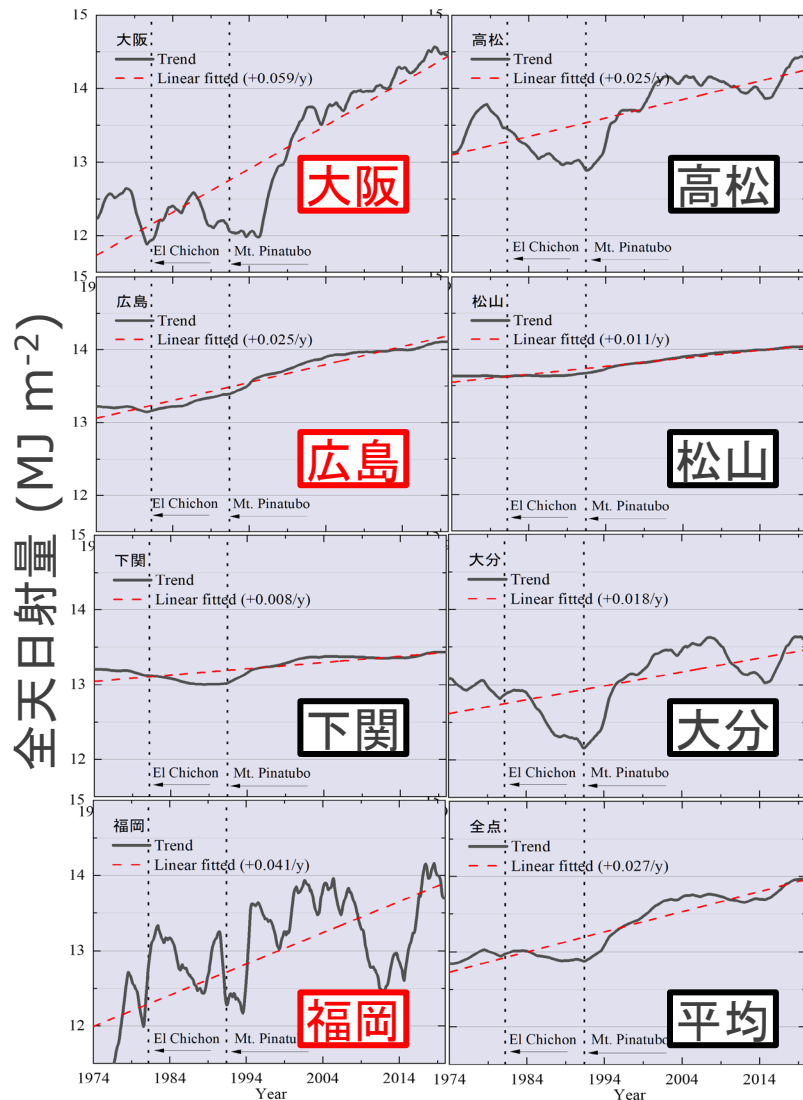
# 日本の日射量の長期変動傾向

日本全国で地表の日射量は増加傾向

対応

大気浮遊粒子物質濃度の減少傾向

(池鯉鮒, 太陽エネルギー, 2012)



出典: 環境省請負業務「平成31年度閉鎖性海域における気候変動による影響評価及び適応策等検討業務報告書」(一部改編)

- 全体平均: 過去40年間に $1.1 \text{ MJ m}^{-2}$  増加(増加率は約8%)
- 大阪や福岡などの大都市で上昇顕著  
大気環境SPMの改善?
- 高松の上昇は全体平均に近い。  
播磨灘での増加は大阪と高松の間?

出典: 環境省請負業務「平成31年度閉鎖性海域における気候変動による影響評価及び適応策等検討業務報告書」

大気質の改善

日射量・水中光量・有光層の増加

海域の一次生産に影響?  
植物プランクトン等の種交代  
一次生産の季節性の変化など

# 大気－水環境研究の連携に向けて

- 大気－陸・海洋境界面での物質フラックスの正確な把握  
リモセンや連続自動測定など、観測機器・技術の開発

(植松, 地球環境, 2015)

- 発生負荷量調査の統合化

大気と水で別々に進められている調査を合わせ、流域圏全体の窒素フローの検討に進むべきか？

- 大気化学－海洋生物地球化学の相互作用

気象再解析や気候変動予測など、大気モデルの日射量のバイアスは大きく、海洋の生物地球化学的循環予測を左右するため、大気質を踏まえた改善が望まれる。

⇔ 海洋から大気への影響も？