

「宇宙からの植物プランクトンの 研究を振り返って」

石坂丞二 (名大ISEE)

名古屋大学最終講義 (2024年3月21日)
「名大の授業」で公開予定

主に衛星を利用した植物プランクトンの動態の研究

- ▶ 植物プランクトンの時空間変動
- ▶ クロロフィルa
- ▶ 一次生産（光合成速度）
- ▶ 分類群判別（サイズ、赤潮）

- ▶ 動態解析（季節変動・気候変動・人為影響）
- ▶ アルゴリズム開発
- ▶ 検証

論文約150報中

- ▶ 伊豆（4）
- ▶ 湾流（5）
- ▶ 西部北太平洋（18）
- ▶ 赤道（4）
- ▶ 三陸（2）
- ▶ 日本海（7）
- ▶ 東シナ海（27）
- ▶ 有明海（12）
- ▶ 富山湾（4）
- ▶ 伊勢・三河湾（4）
- ▶ タイ湾（5）

経歴

- ▶ 1977- 筑波大学 第二学群 生物学類 学士（高橋正征先生）
- ▶ 1981- 筑波大学 環境科学研究科 修士
- ▶ 1984- テキサスA&M大学 海洋学部 博士（Eileen Hofmann先生）
- ▶ 1989- 通産省工業技術院 公害資源研究所 研究員
- ▶ 1991- 同院 資源環境技術総合研究所 主任研究員
(1995-1996 通産省総務部 地球環境技術企画官付)
- ▶ 1998- 長崎大学 水産学部 教授
(2003-2009 宇宙航空研究開発機構 宇宙利用推進本部
観測利用推進センター—招聘研究員)
- ▶ 2009- 名古屋大学 地球水循環研究センター 教授
- ▶ 2015- 同大学 宇宙地球環境研究所 教授
(2009- 同大学 環境学研究科)

高橋正征先生（名誉会員）
Xu Yongju（論文賞受賞）

2014年春季海洋学会



Eileen Hofmann先生
Sarat C. Tripathy

2023年南氷洋観測システム
(SOOS)シンポジウム
“Southern Ocean
in a Changing World”



生態学と環境学

相互作用

主体



環境

物理的環境
化学的環境
生物的環境

(作用・反作用)



生物（植物プランクトン）：生態学

人間：環境学

エコロジー

1866年 ヘッケル

エコ：oikos（家）

ロジー：logos（学問・論理）

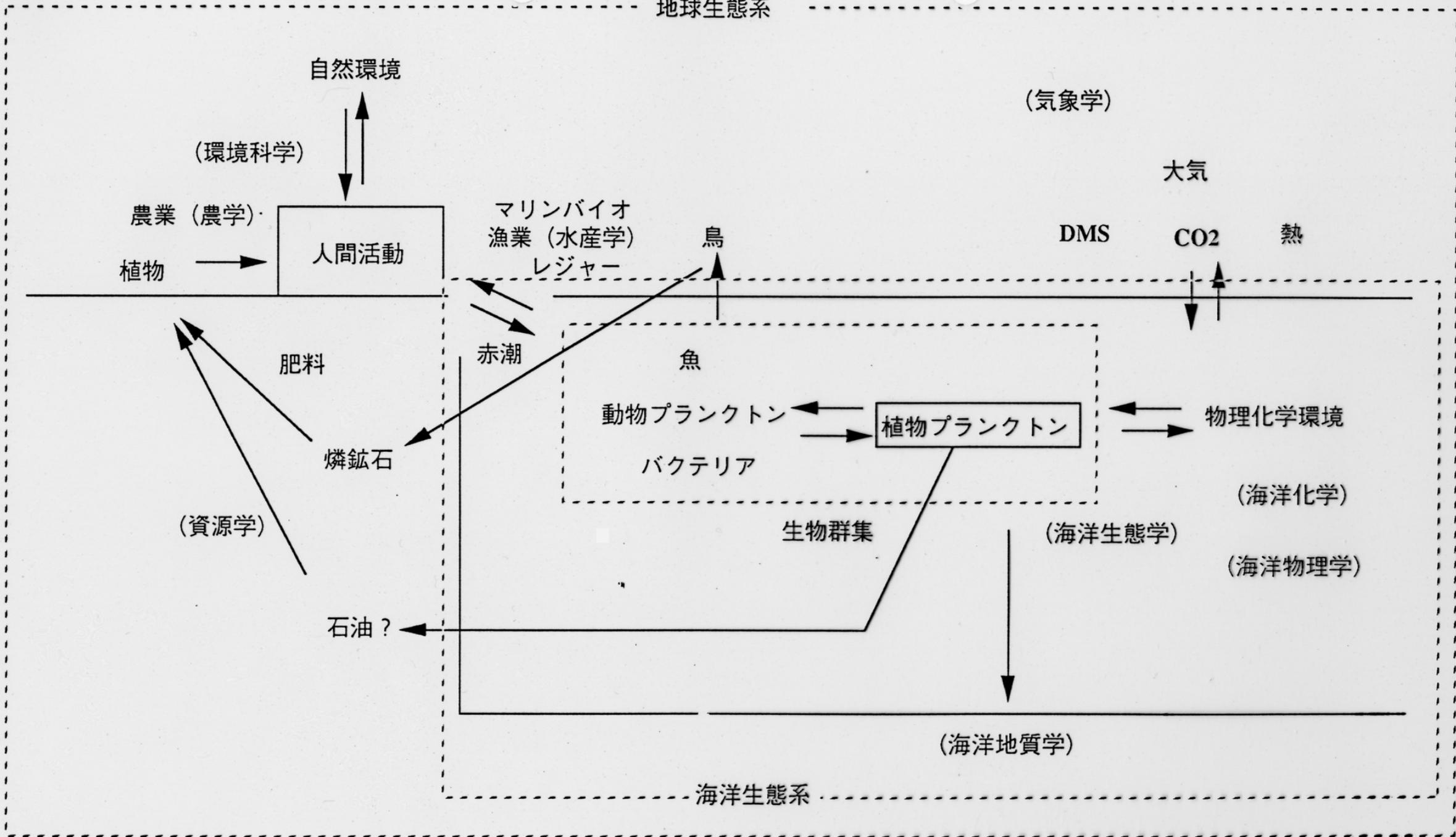
エコノミー：家庭の管理

BC400 クセノフォン

生態学と海洋学

- ▶ 生理生態学
- ▶ 個体生態学
- ▶ 個体群生態学
- ▶ 群集生態学
- ▶ 生態系生態学
- ▶ 海洋生態学
- ▶ 生物海洋学
- ▶ 物理海洋学
- ▶ 化学海洋学
- ▶ 地質海洋学
- ▶ 水産海洋学

地球生態系



研究内容

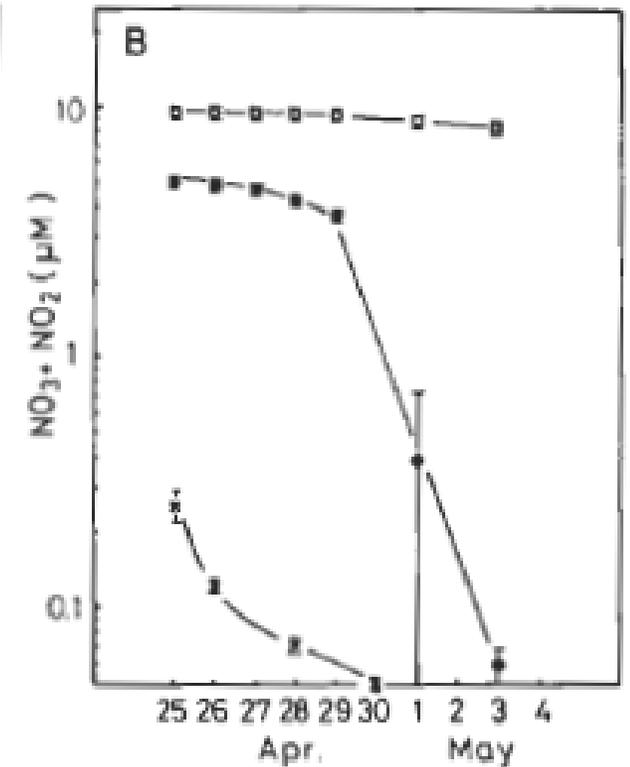
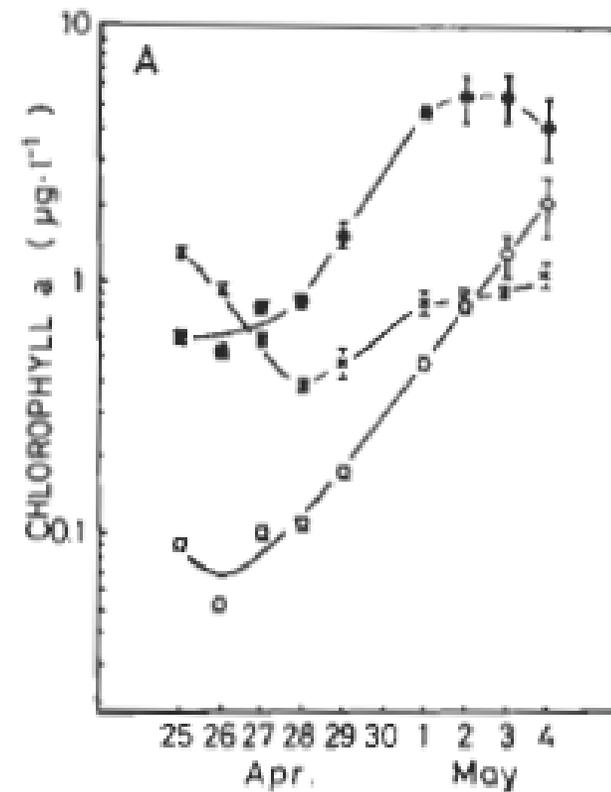
- ▶ **湧昇培養実験（卒論）**
- ▶ 伊豆沖湧昇観測（修論・通産省）
- ▶ 湾流湧昇モデル（D博）
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）

自然海水を用いた湧昇実験 (Ishizaka et al., MB-83)



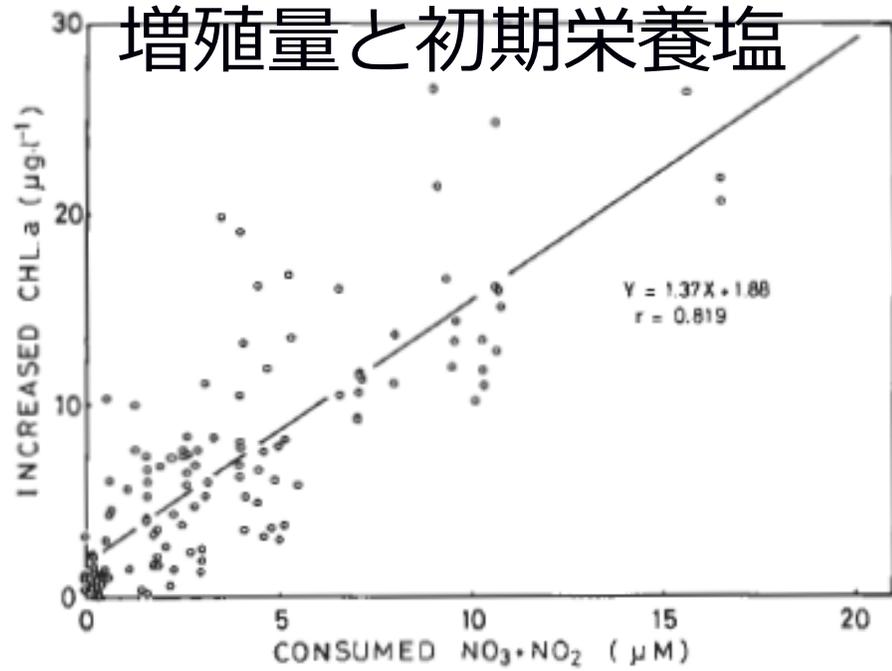
筑波大下田臨海実験センター
つくば

Culture Arrangement			Sampling Depth			
			Surface	Subsurface		
			0 m	50 m	100 m	200 m
Original Water			○	○	○	○
Mixture	Surface Subsurface	4 1	—	○	○	○
		1 1	—	○	○	○
		1 4	—	○	○	○
	Filtered Surface Subsurface	1 1	—	○	○	○
	Surface Filtered Subsurface	1 1	—	○	○	○



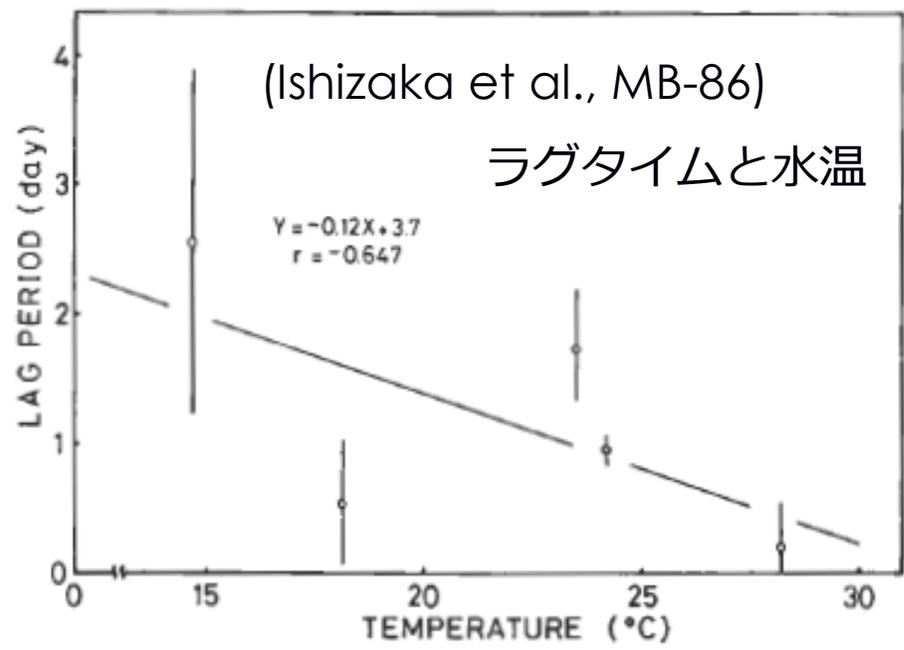
(実験生態学)

増殖量と初期栄養塩



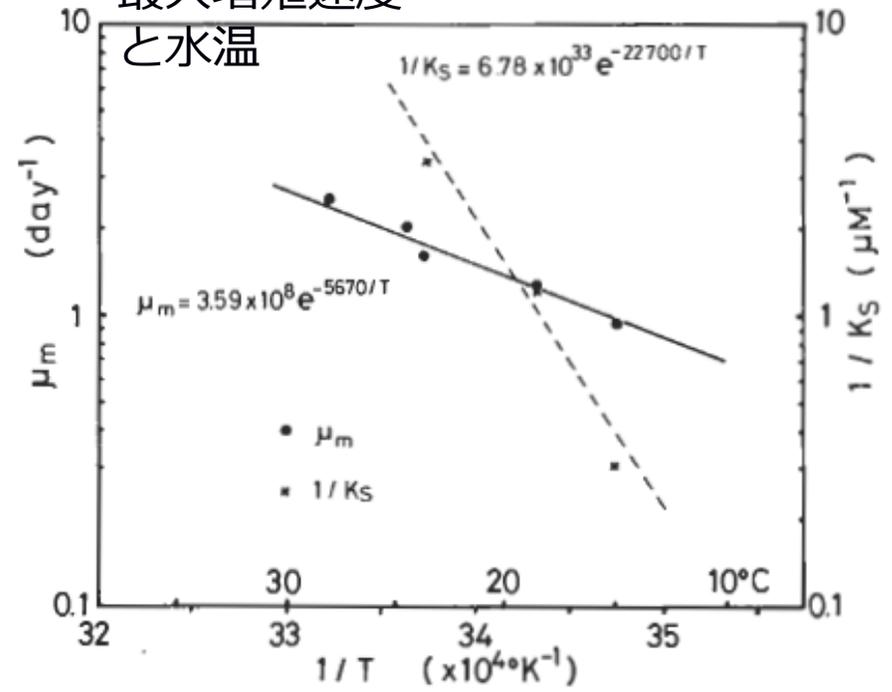
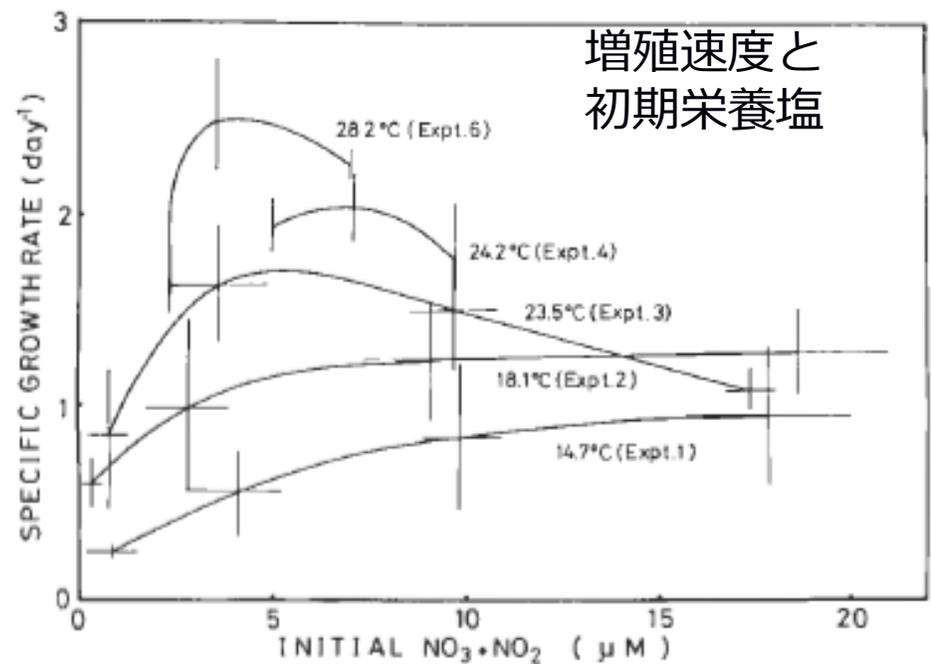
(Ishizaka et al., MB-86)

ラグタイムと水温

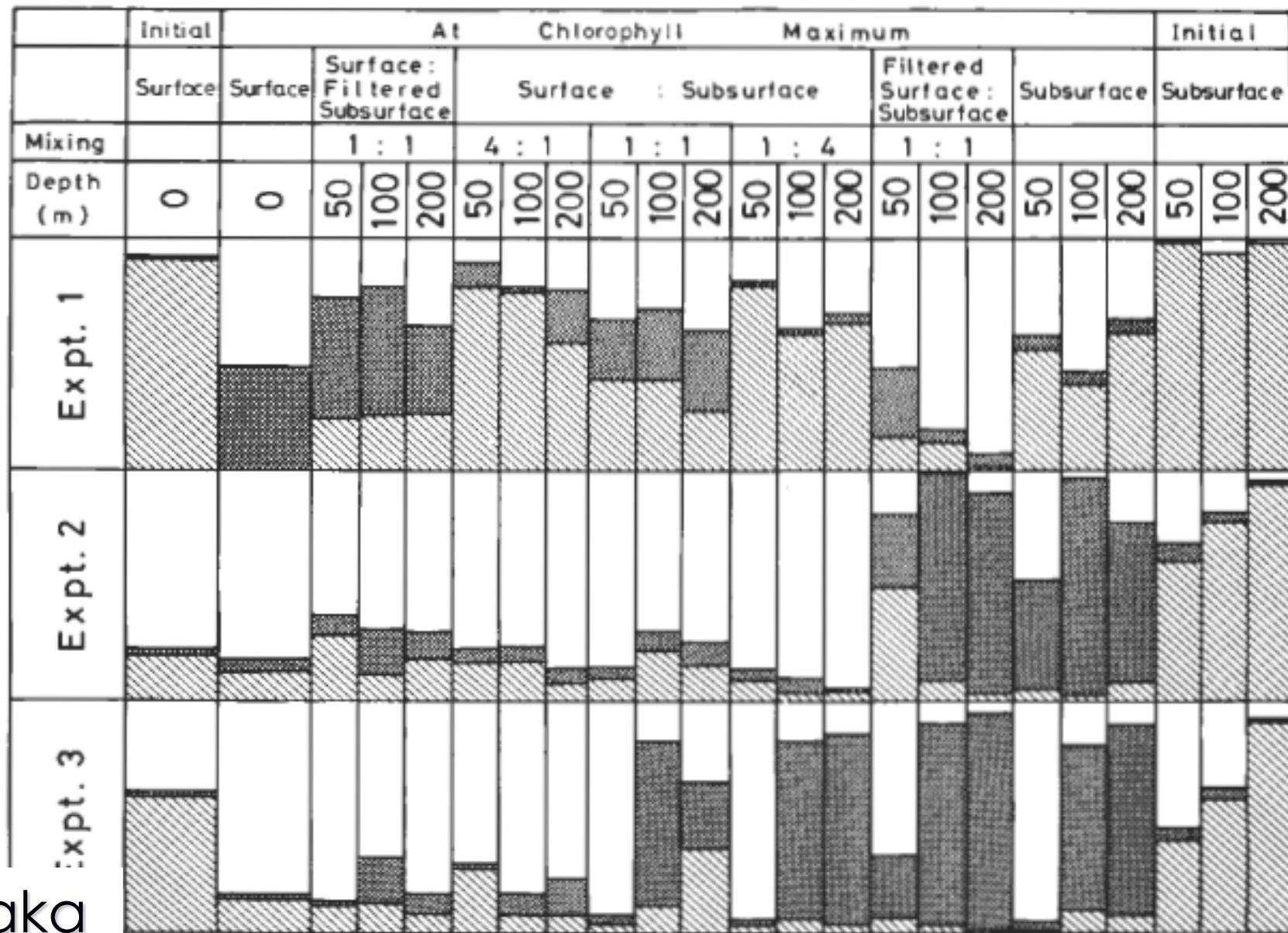


最大増殖速度

と水温



群集 構造 変化



(Ishizaka et al., MB-86)

CENTRIC DIATOMS
 PENNATE DIATOMS
 FLAGELLATES AND MONADS

研究内容

- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ **伊豆沖湧昇観測（修論・通産省）**
- ▶ 湾流湧昇モデル（D博）
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）

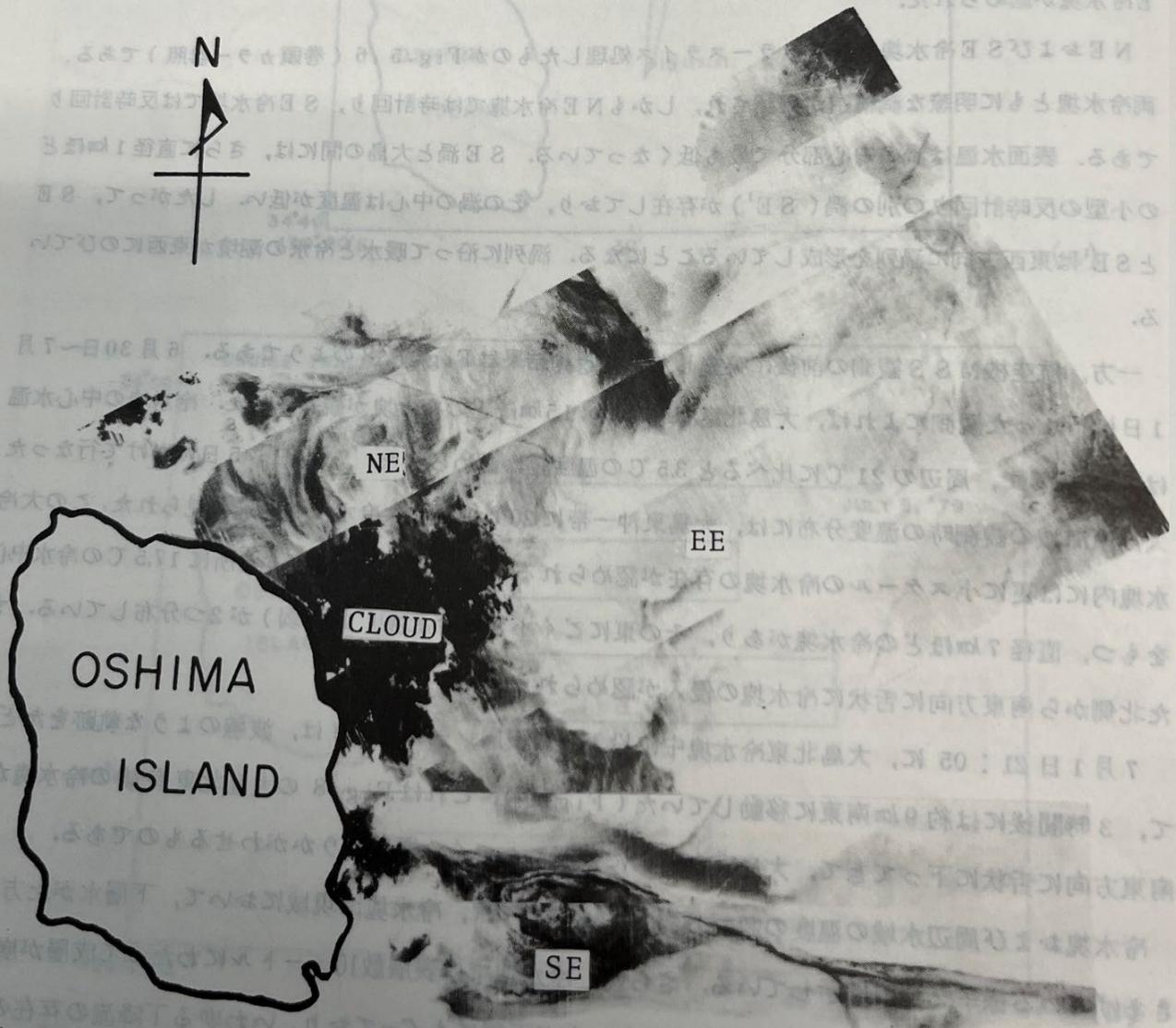


Fig. 4 Surface temperature distribution measured by the MSS off the Oshima Island. Black tone indicates cold water and white tone warm water.

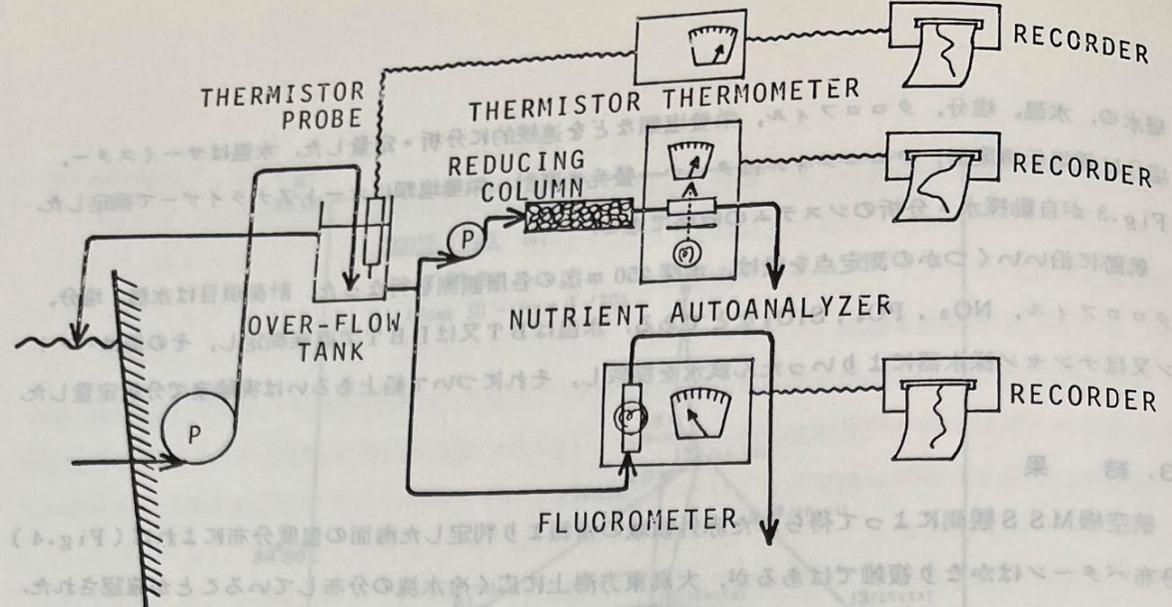
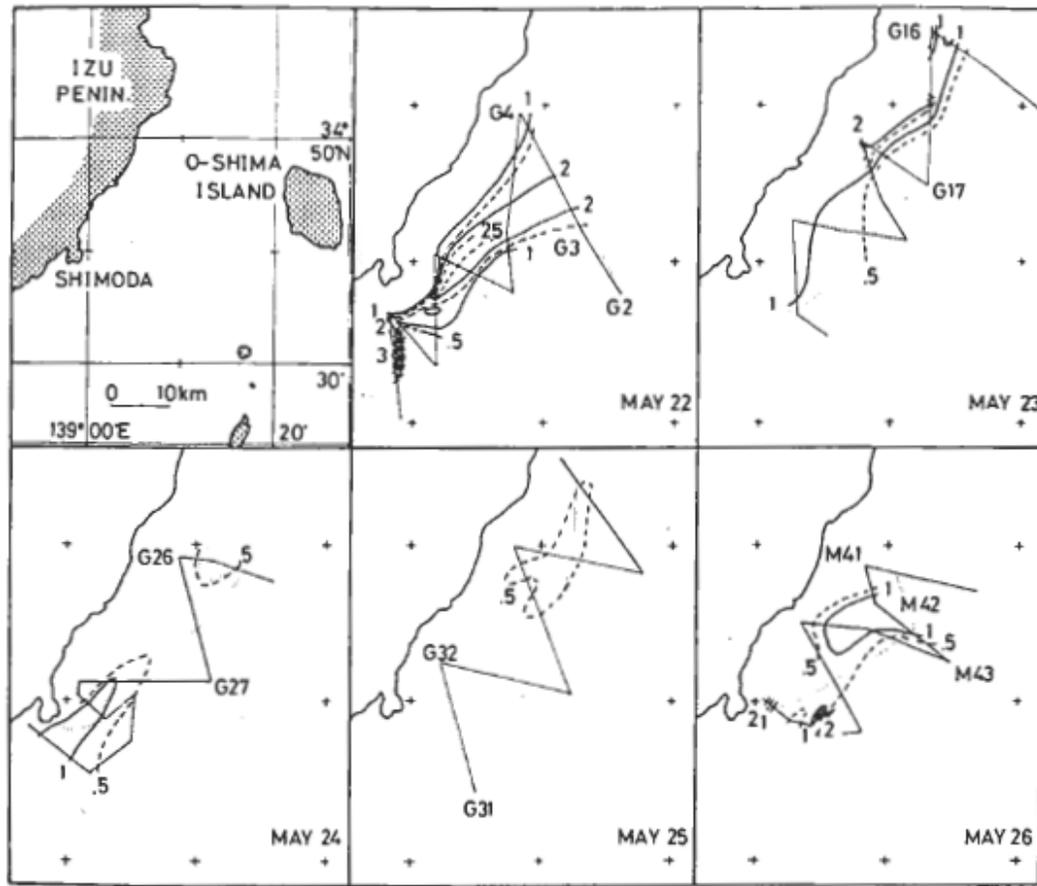


Fig. 3 Automatic continuous measuring system for surface temperature, chlorophyll and nutrients.

(高橋ら、1980)

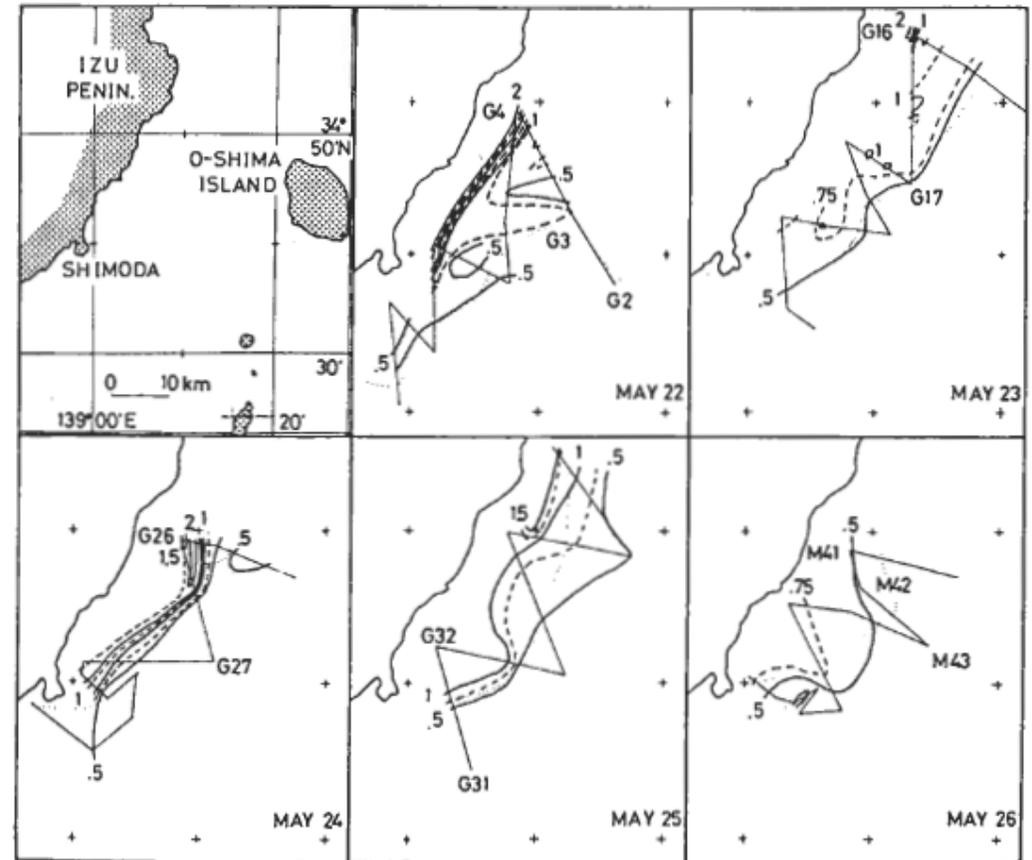
伊豆沖の湧昇の 表層クロロフィルと栄養塩の変化 (Takahashi et al., JPR-86)

船舶（連続）観測



May 22-26, 1982

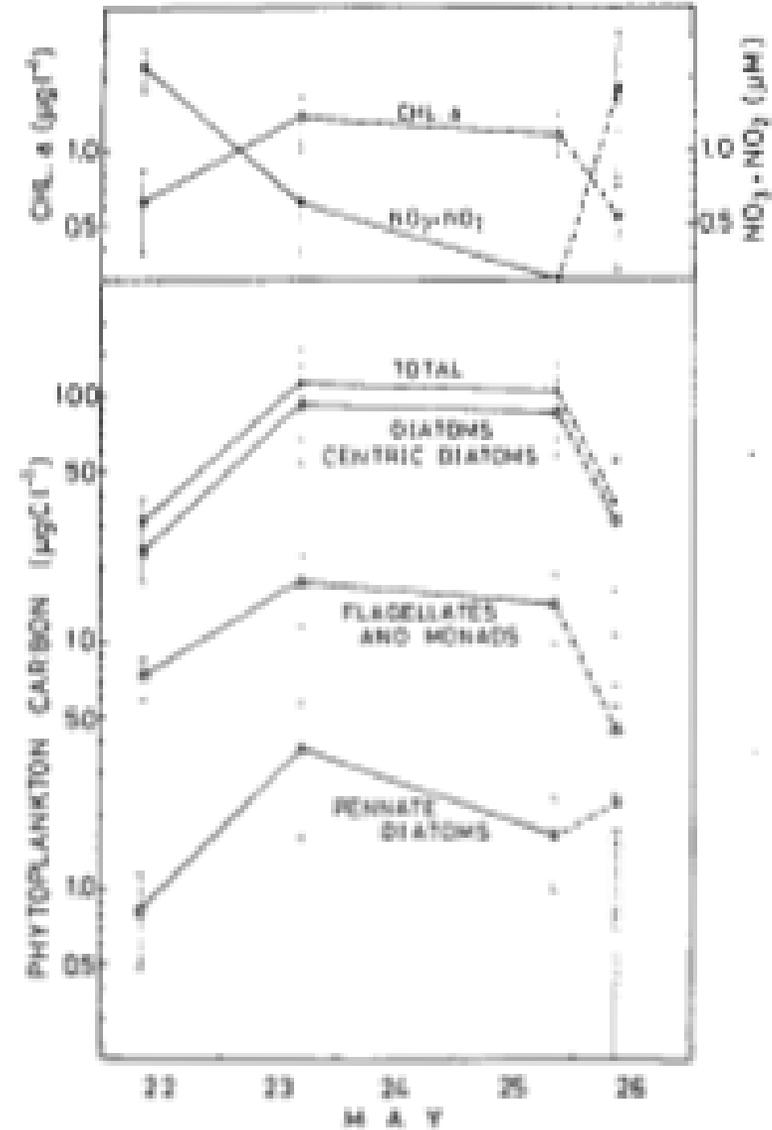
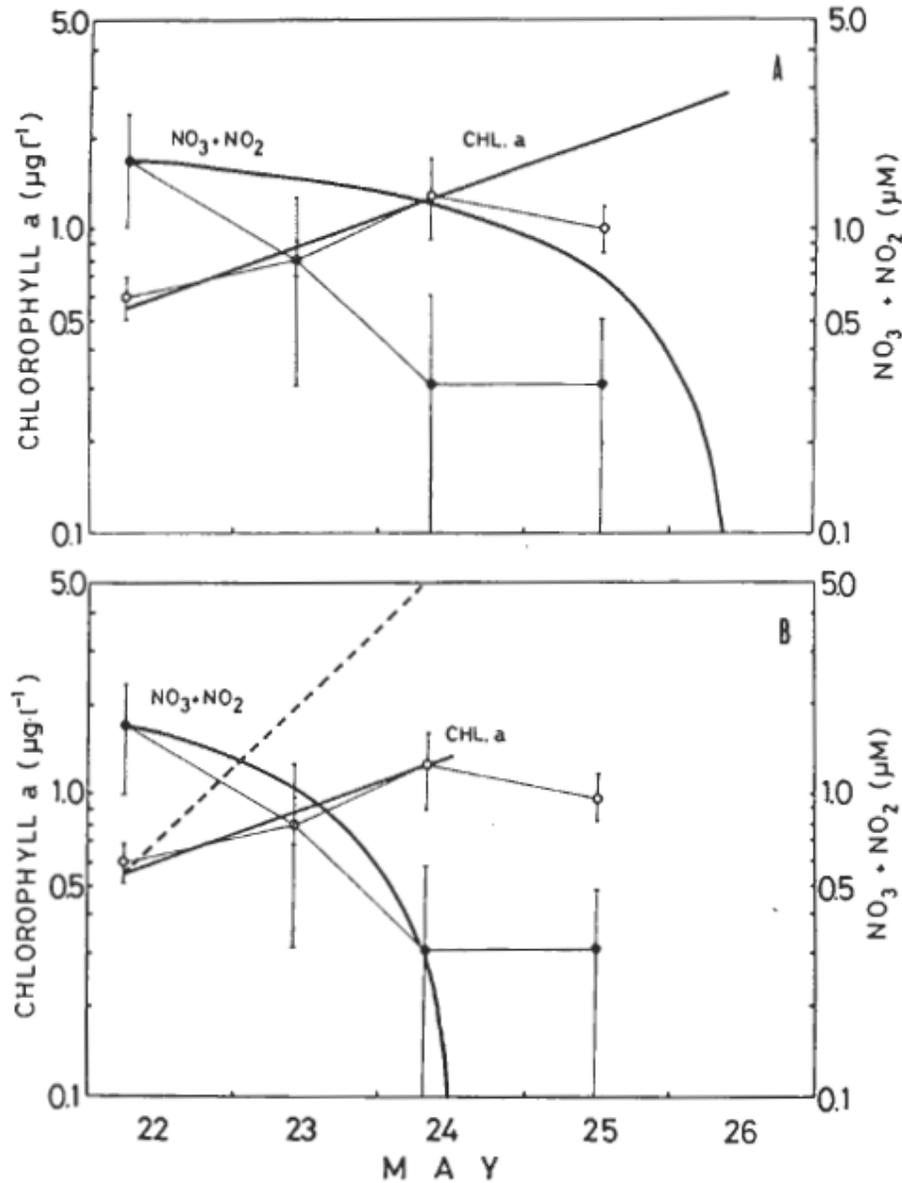
0 10 km

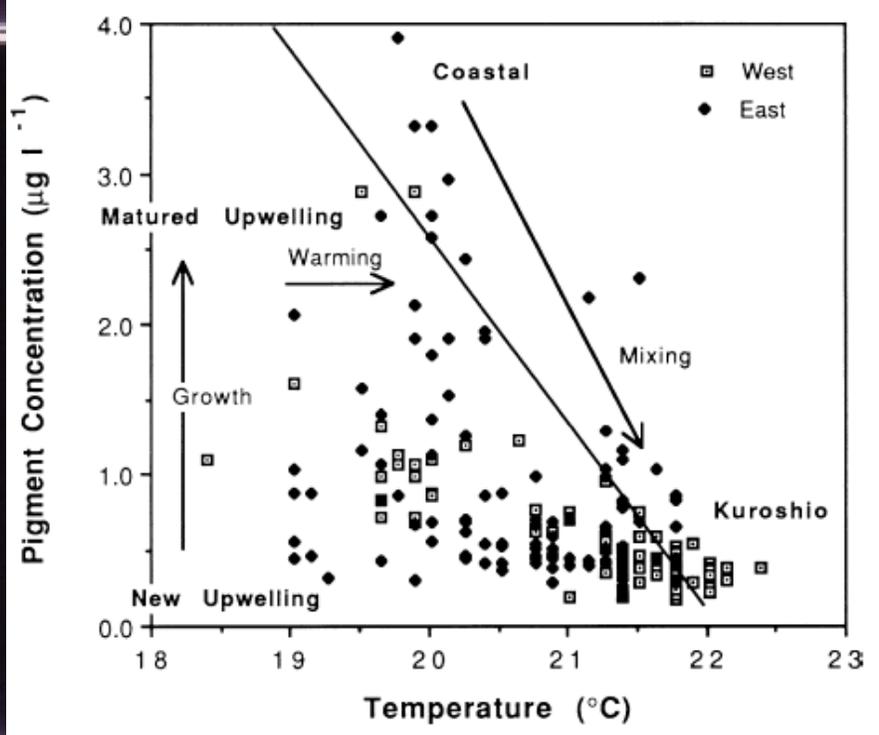
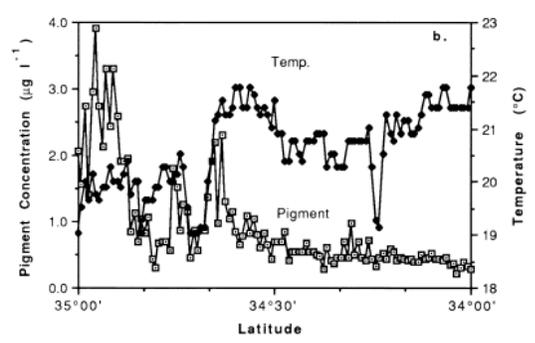
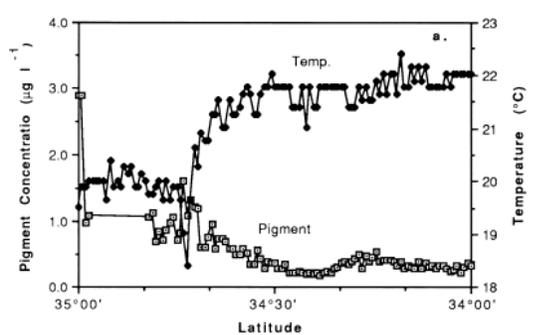
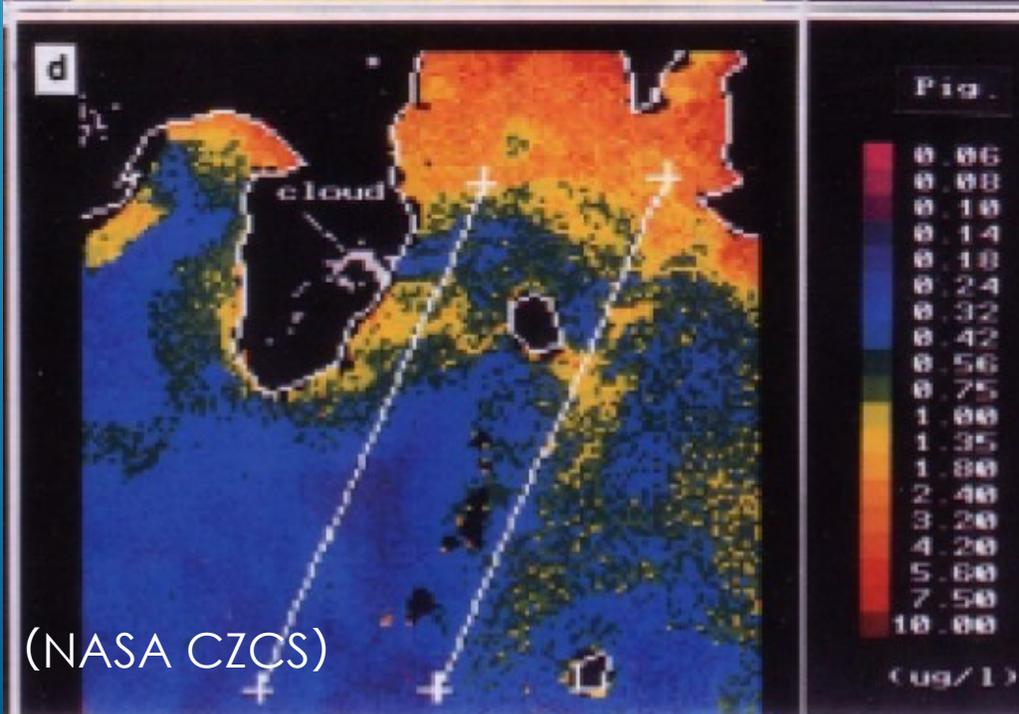
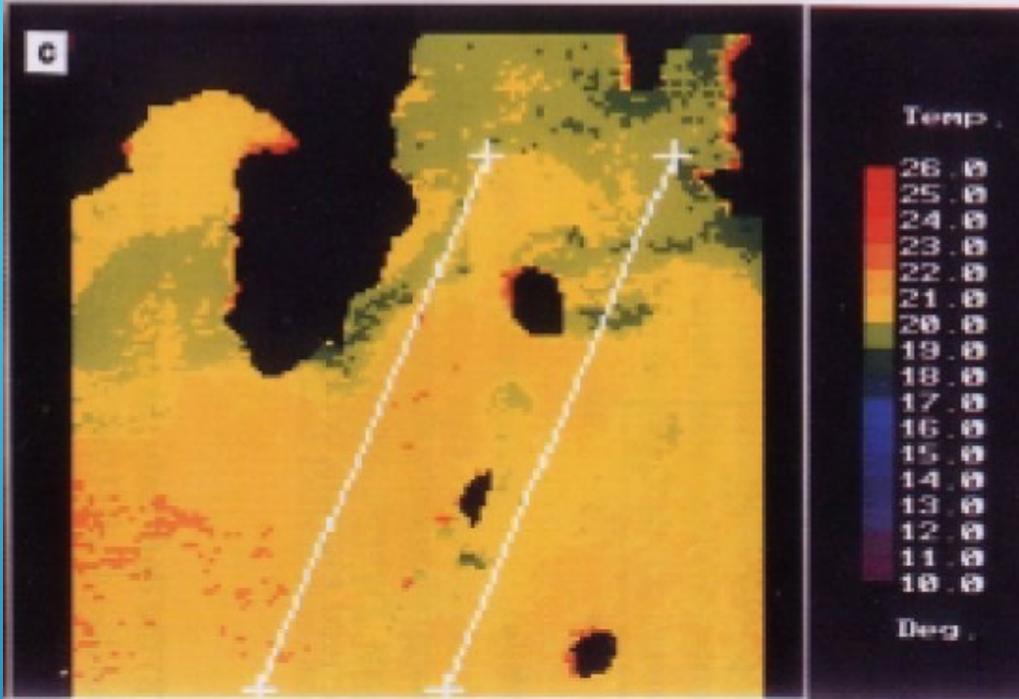


東大大気海洋研初代淡青丸



伊豆沖湧昇のクロロフィル、栄養塩、群集構造変化 (Takahashi et al. JPR-86) (Ishizaka et al. JPR-86)





1982年
伊豆沖湧昇の
衛星画像
(Ishizaka et al. JO-92)

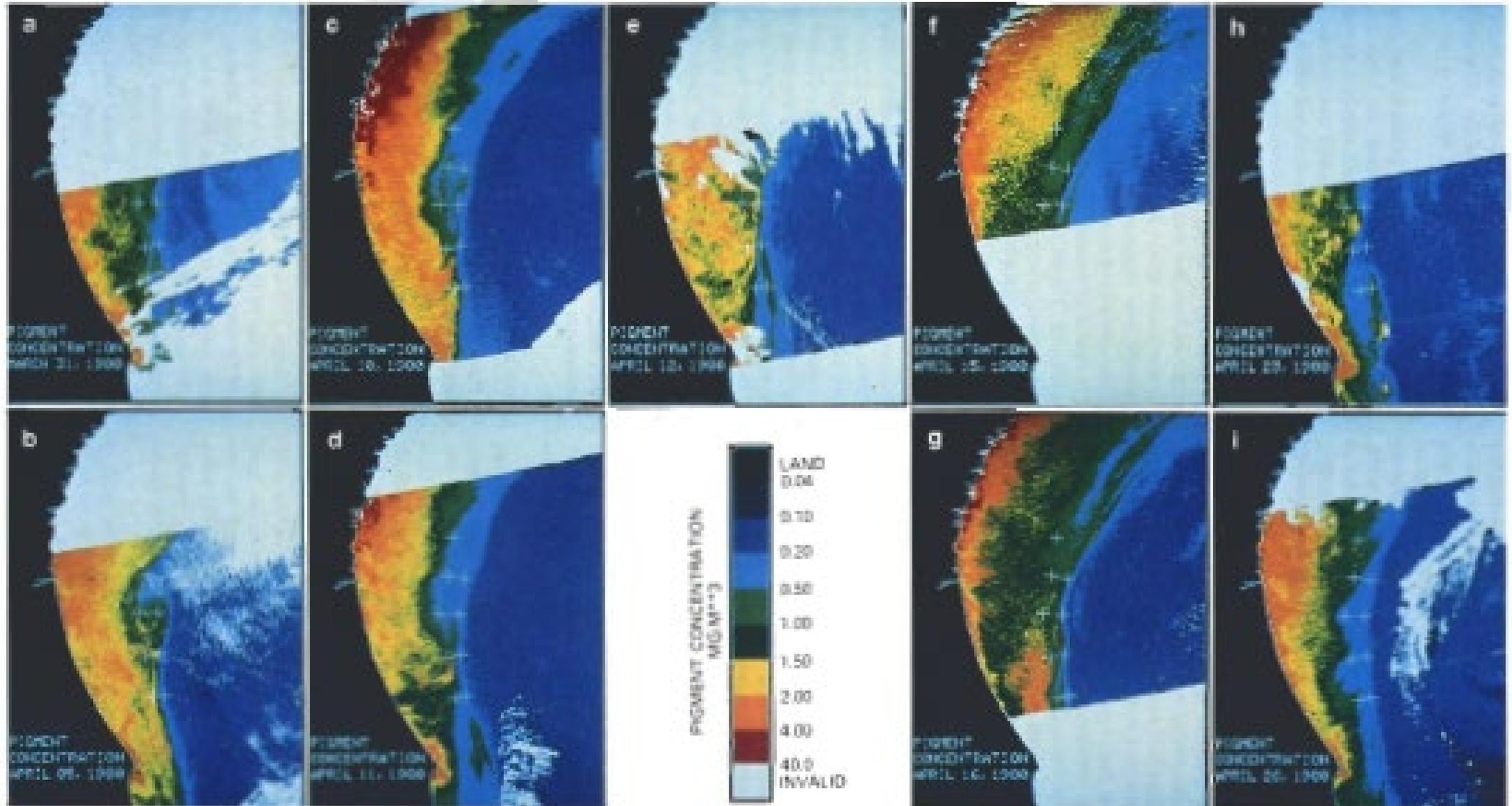
(NASA CZCS)

日高論文賞

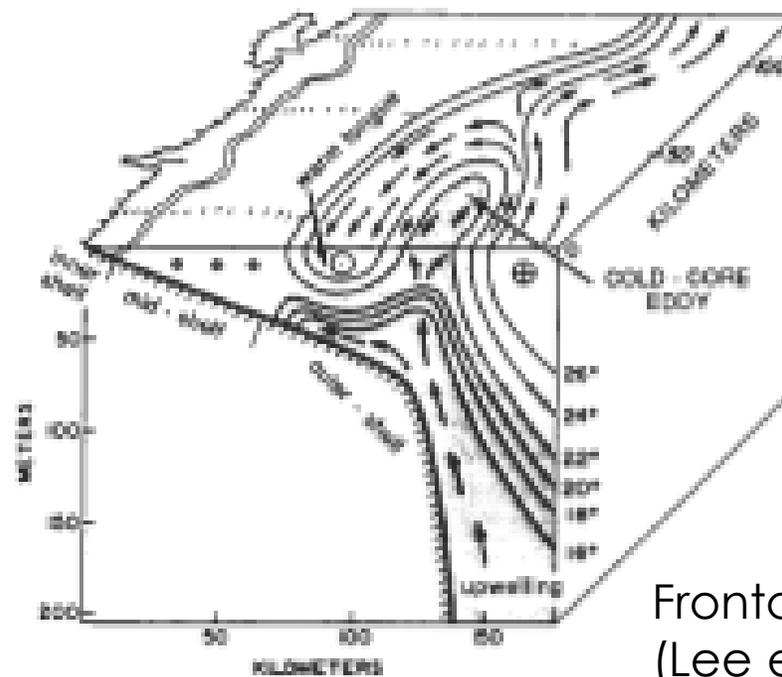
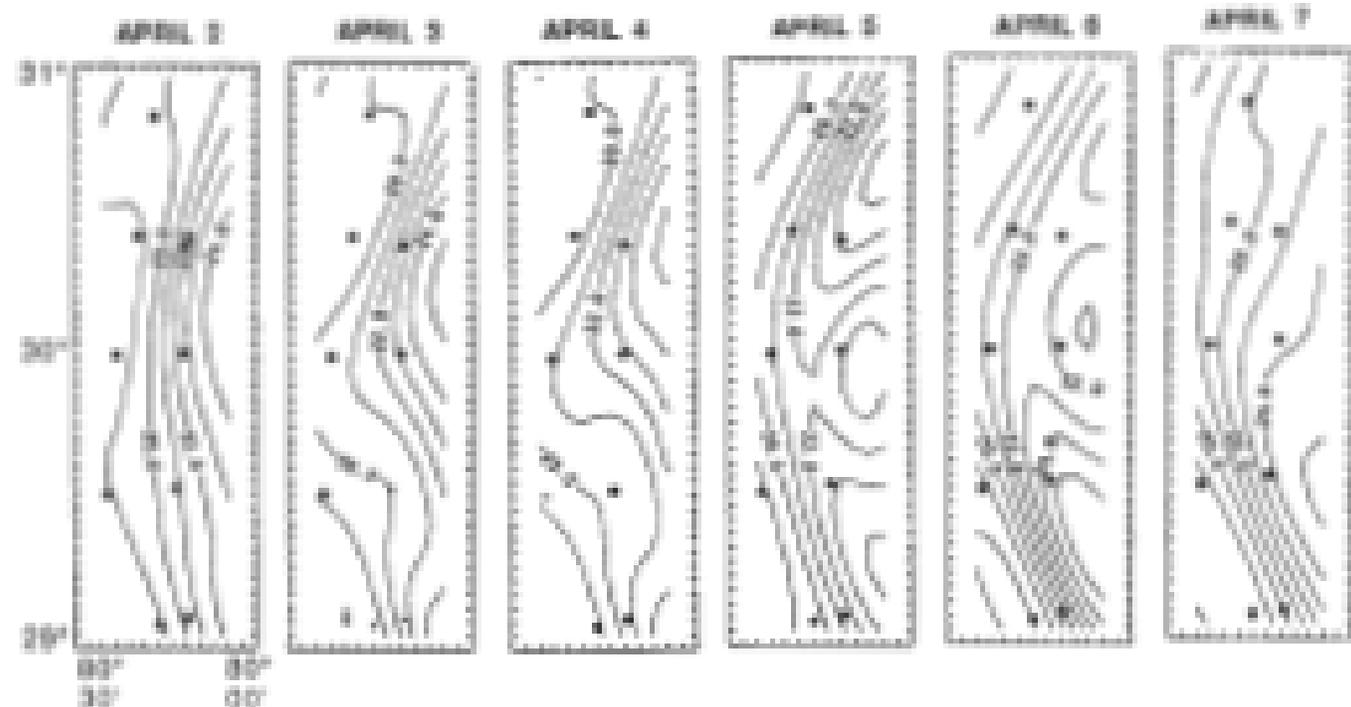
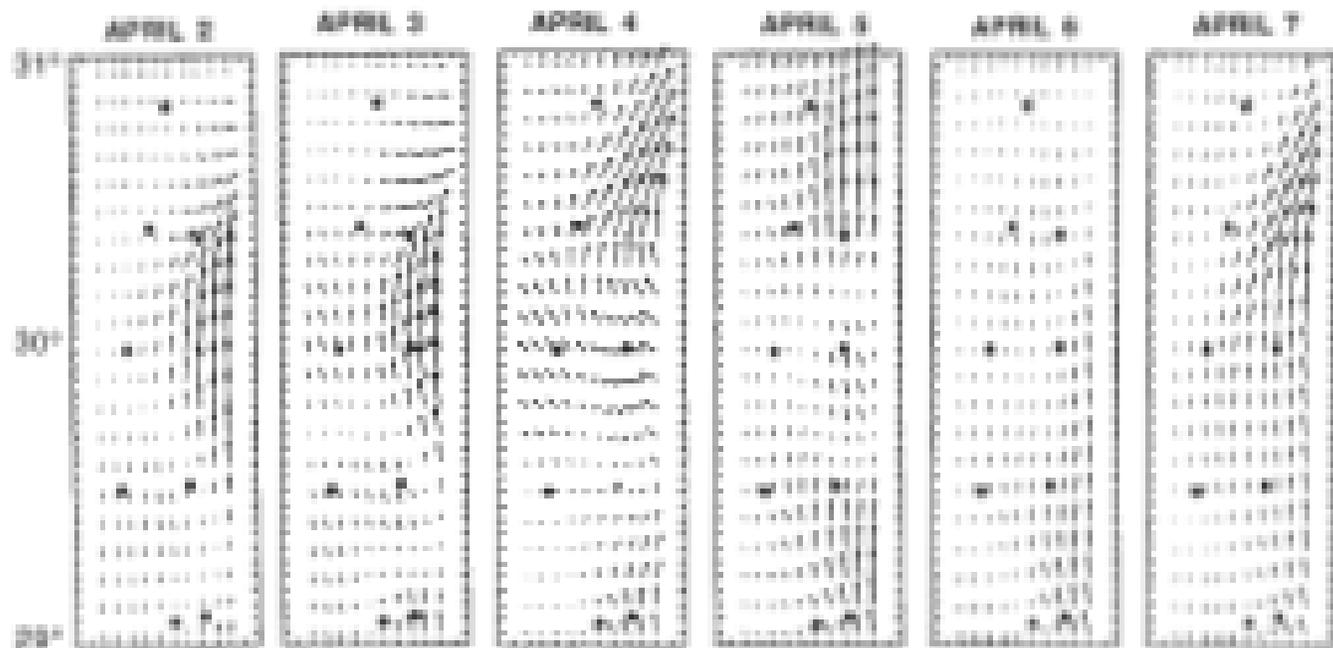
研究内容

- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ 伊豆沖湧昇（修論・通産省）
- ▶ **湾流湧昇（D博）**
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）

Gulf Stream Front (Ishizaka, JGR-90a)

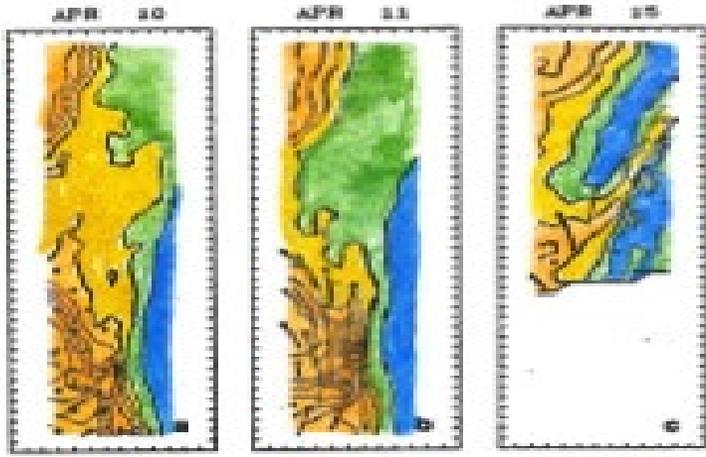


Optimal Interpolated Flow and Temperature Field (Ishizaka and Hofmann, JMR-88 Ishizaka, JGR-90a)

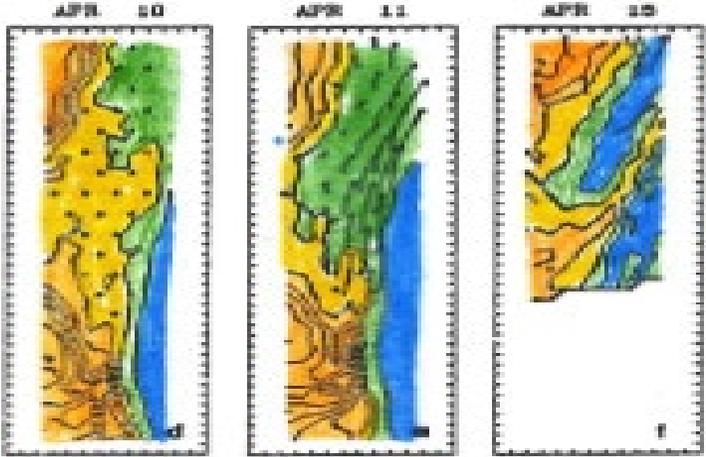


Frontal Eddy
(Lee et al., 1981)

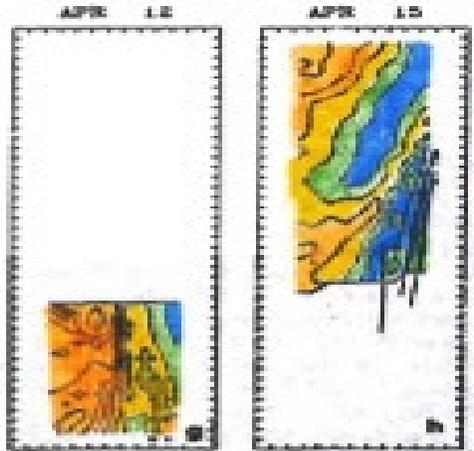
Experiment 1



Experiment 2



Experiment 3

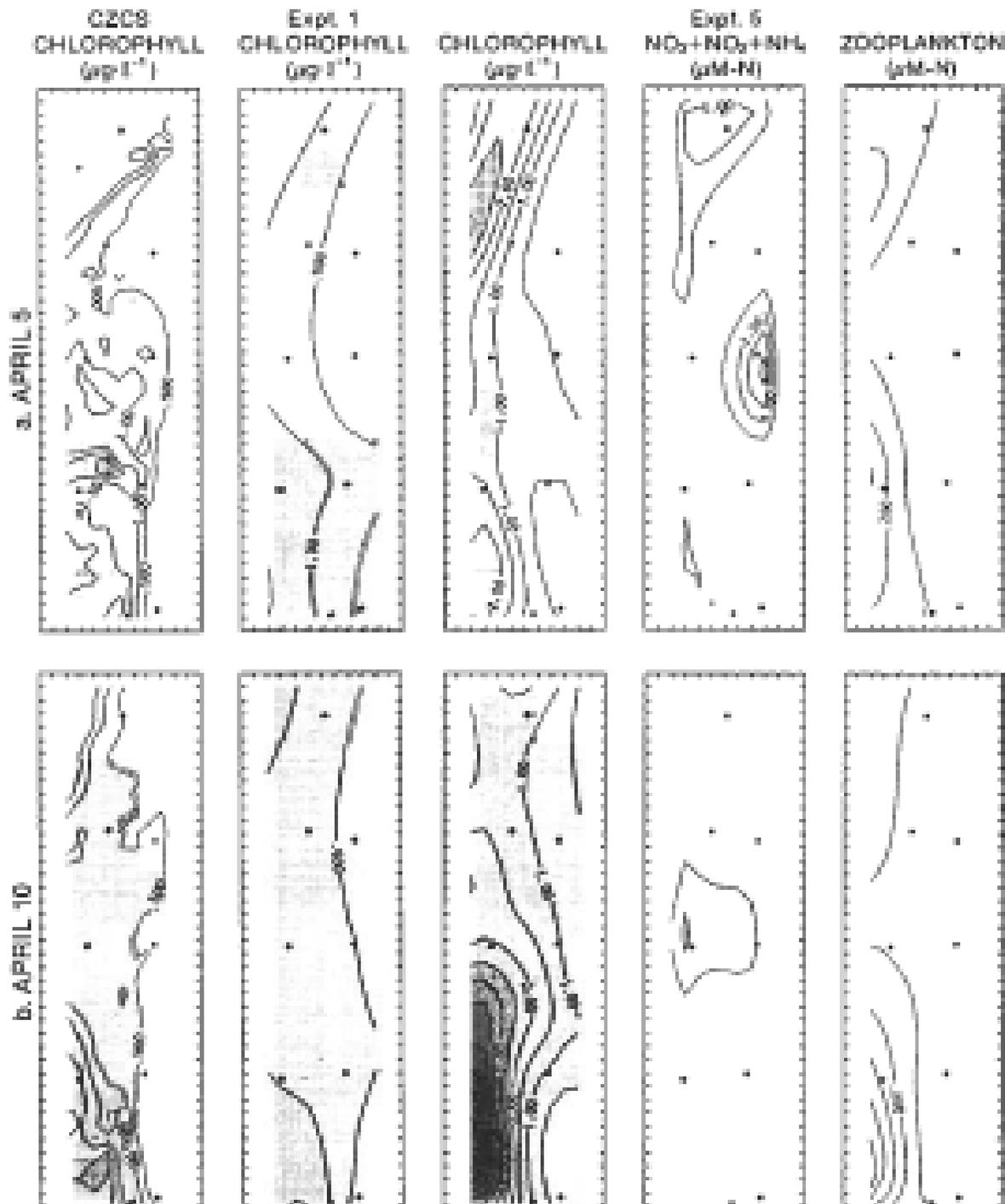


Lagrangian Particle Tracing Experiment (Ishizaka, JGR-90a)

$$X_{\text{new}} = X_{\text{old}} + u\Delta t$$

$$Y_{\text{new}} = Y_{\text{old}} + v\Delta t$$

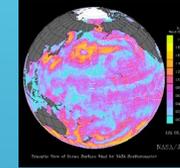
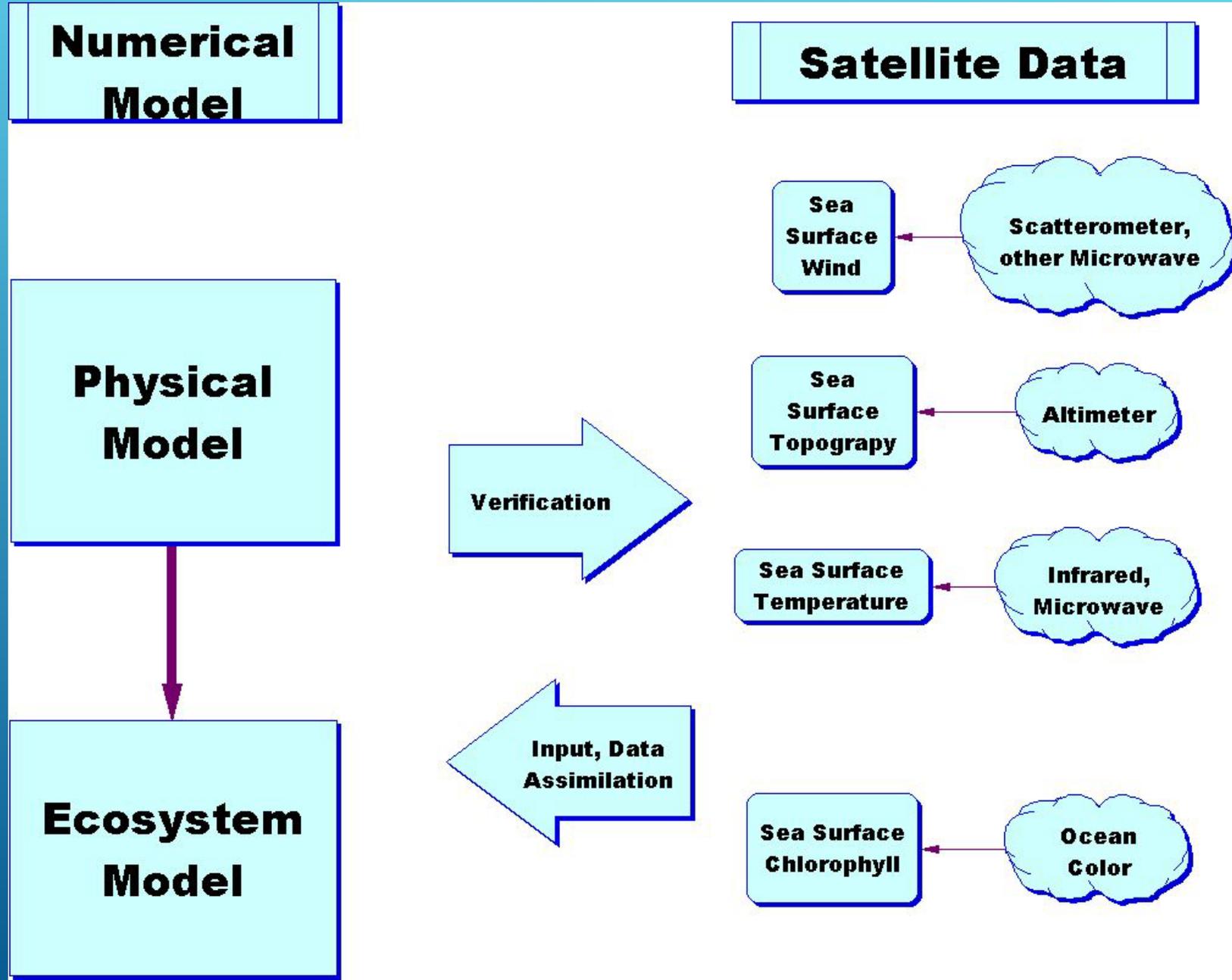
Ecosystem Model and Satellite Data (Ishizaka, JGR-90b,c)



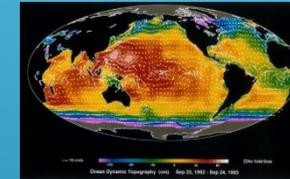
Nutrient
Phytoplankton
Zooplankton
(N-P-Z) Model

Data Assimilation

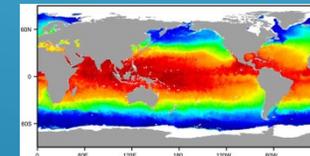
数値モデルへの応用 (同化・検証)



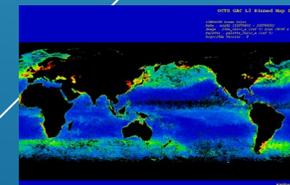
©NASA



©JPL



©JAXA



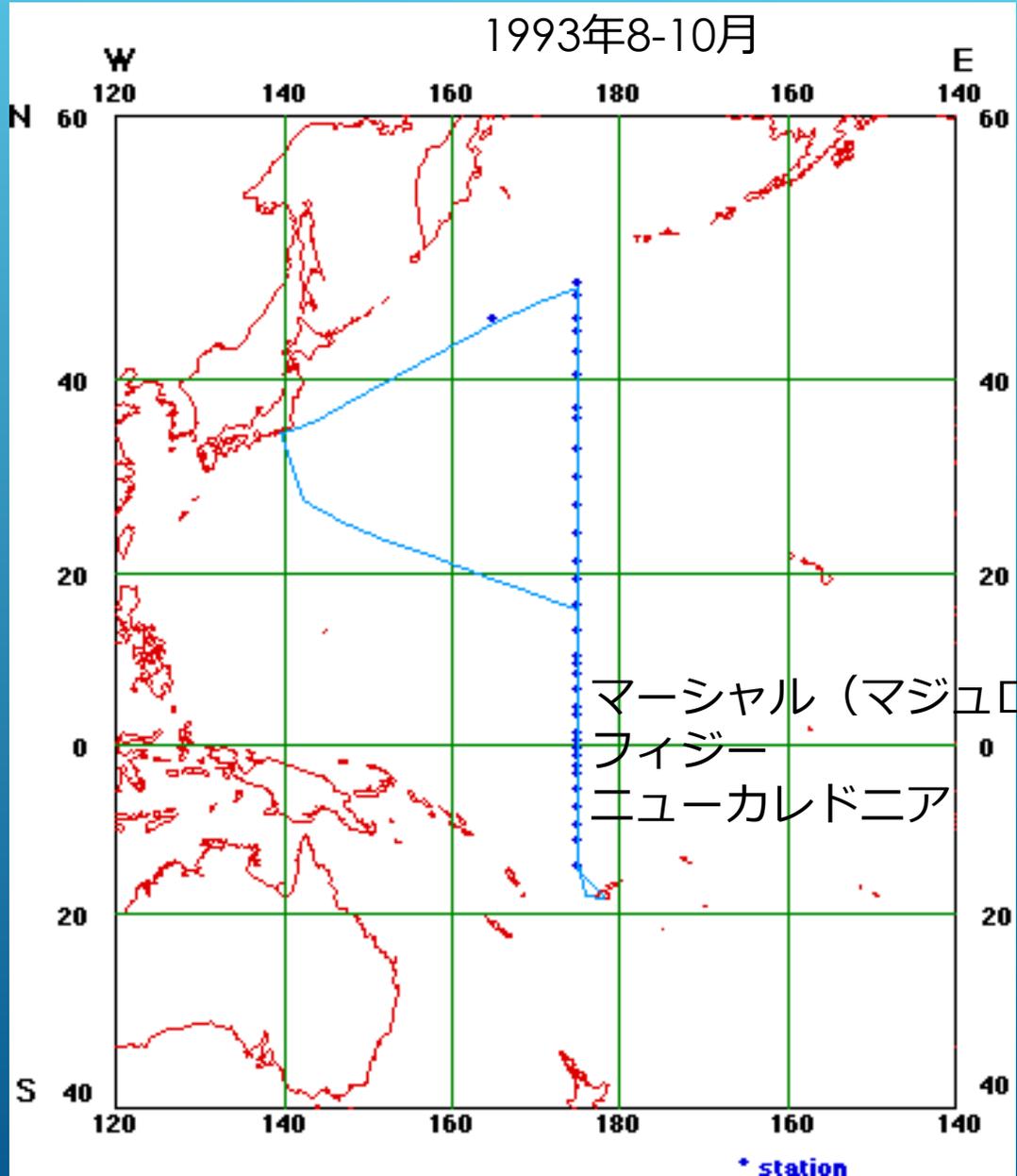
©JAXA

研究内容

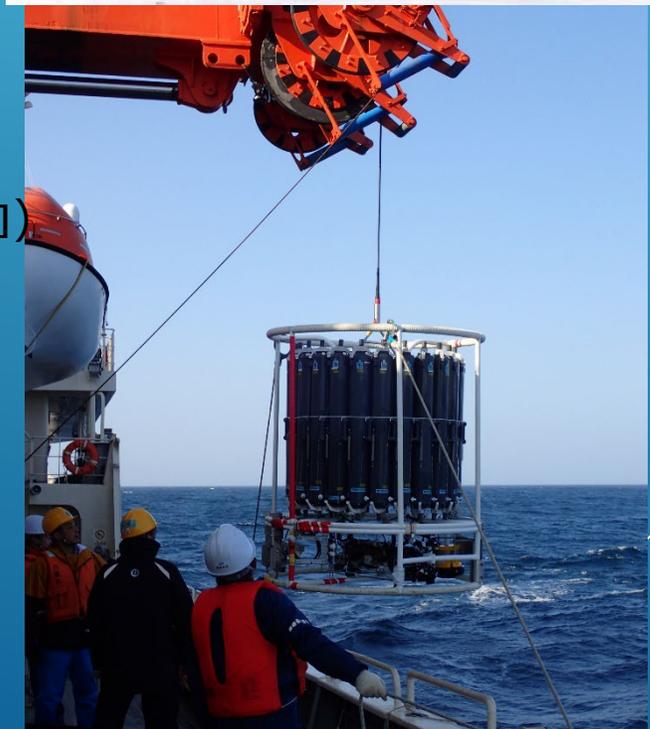
- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ 伊豆沖湧昇（修論・通産省）
- ▶ 湾流湧昇（D博）
- ▶ **西部北太平洋観測（通産省）**
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）

NOPACCS 海洋観測 (3か月)

1990
-
1996

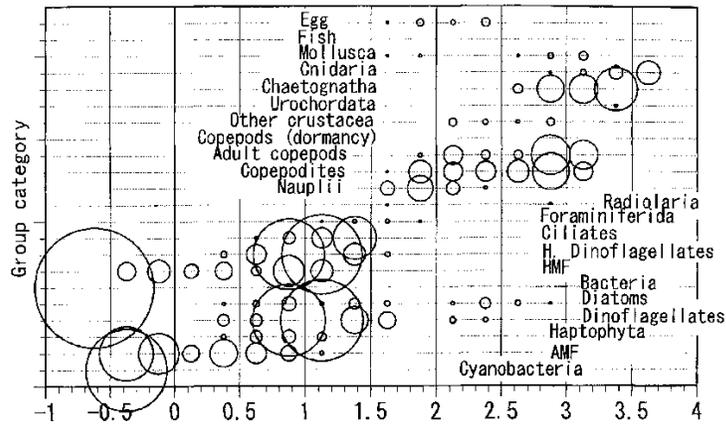


金属鉱業事業団パンフレットより

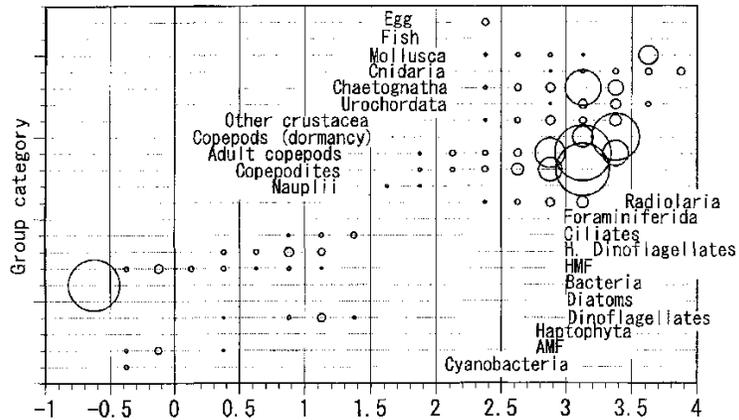
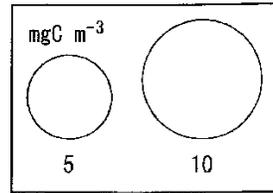


CTD-Rosett
採水作業
(写真は
白鳳丸)

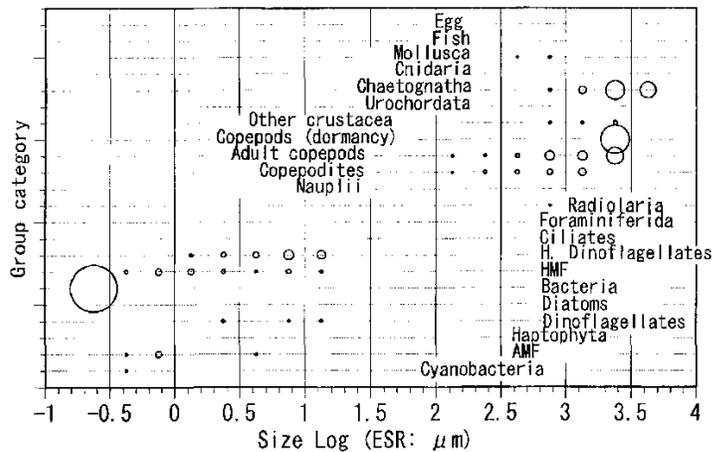
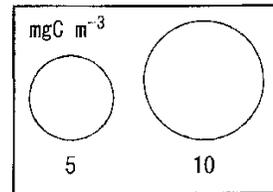
44° N, 155° E, 19-21 August (daytime) 1998



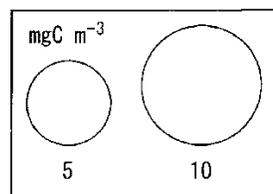
Epipelagic
(0-200 m)



Mesopelagic
(200-1000 m)



Bathypelagic
(1000-4000 m)

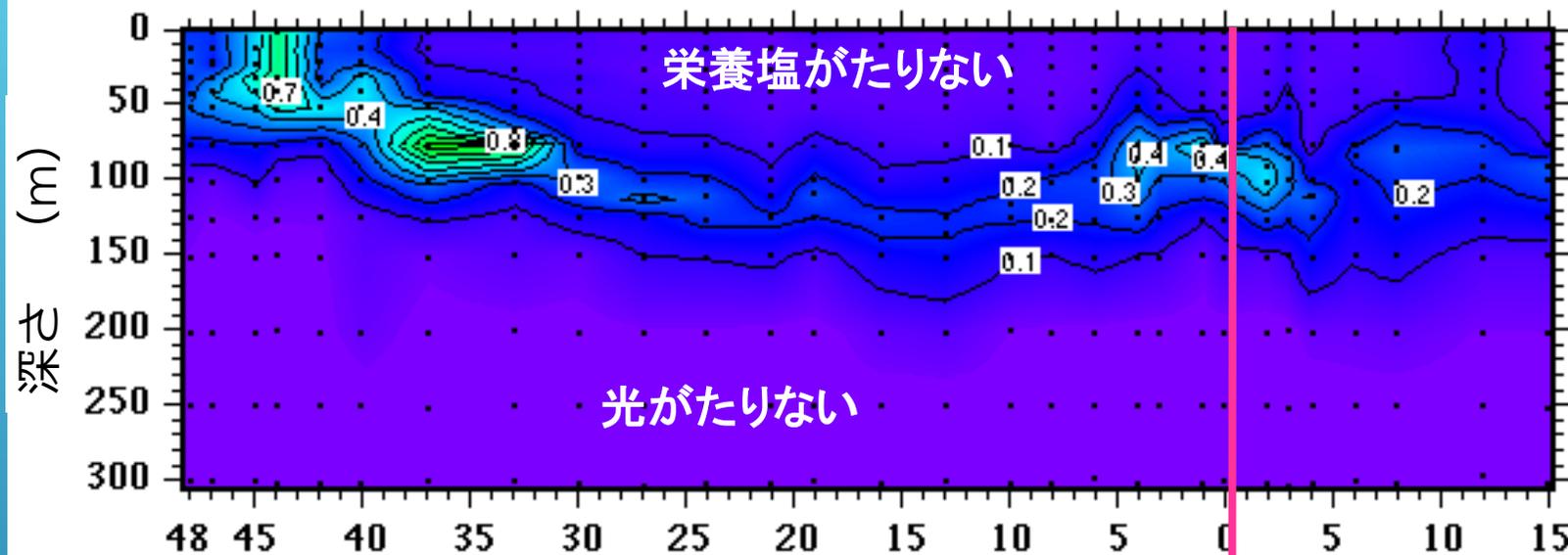


0.2 Pico 2 Nano 20 Micro 200 Meso 2000 20000
(ESD μm)

0-4000 m
プランクトン
グループ別
サイズ別
炭素態
現存量

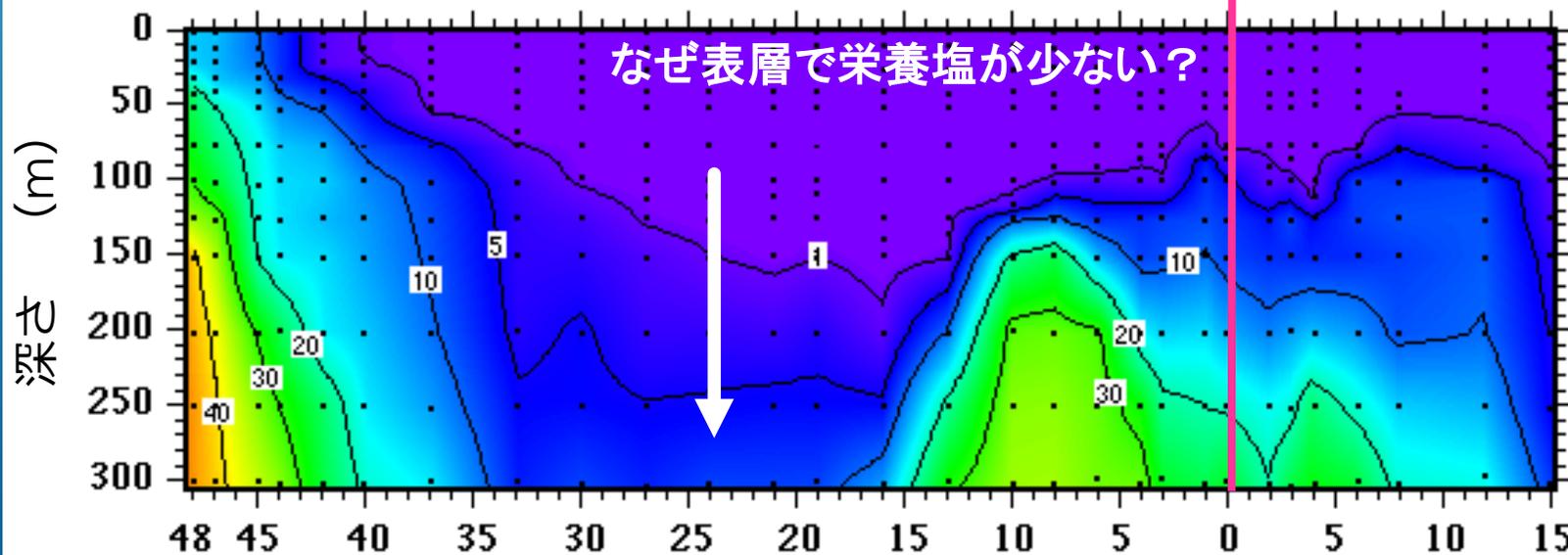
クロロフィルa 濃度 (mg m⁻³)

1993年8-10月



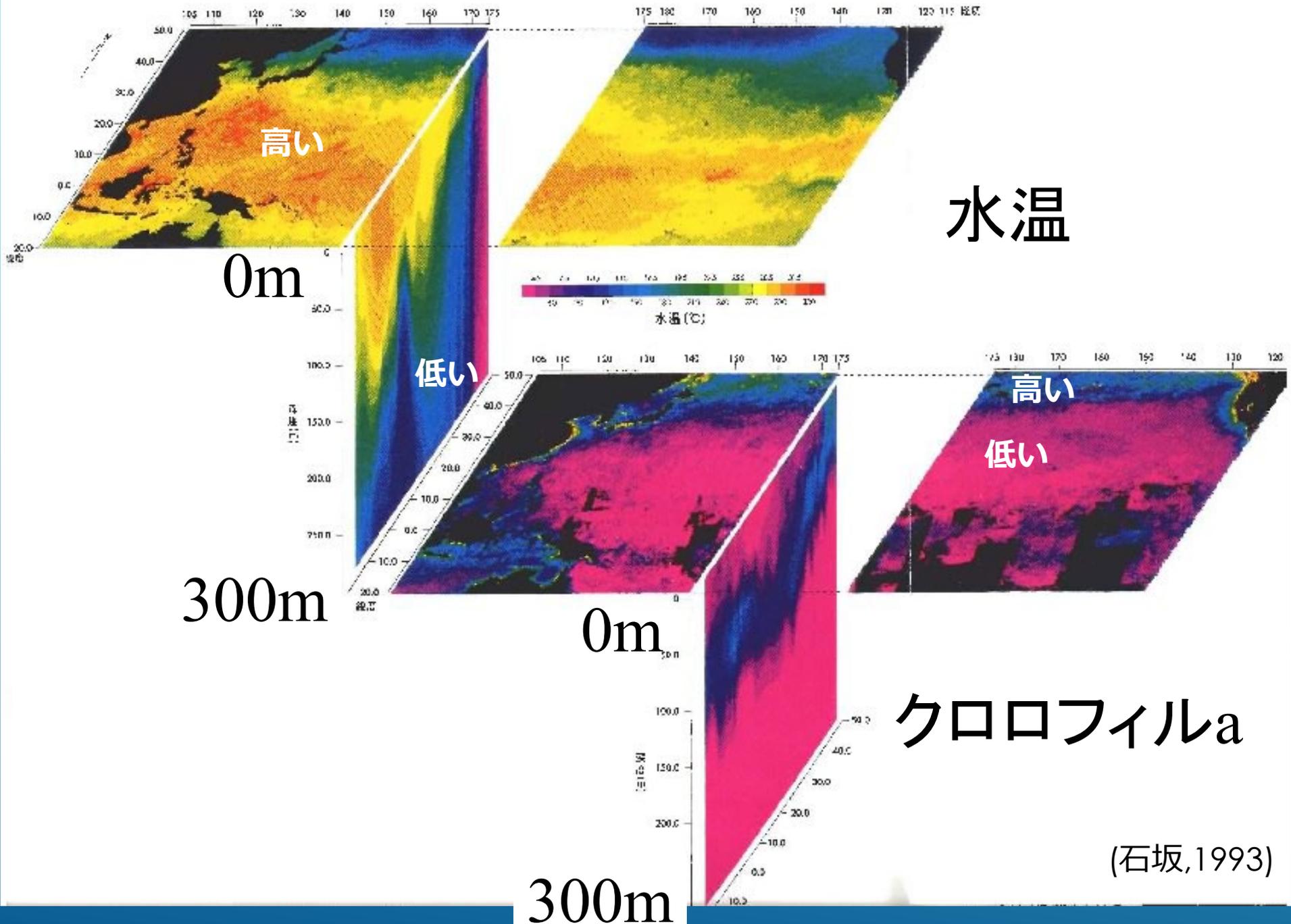
生物の死骸や糞は沈んで栄養分は下にたまる。

栄養塩濃度(NO3+NO2) (mg m⁻³)



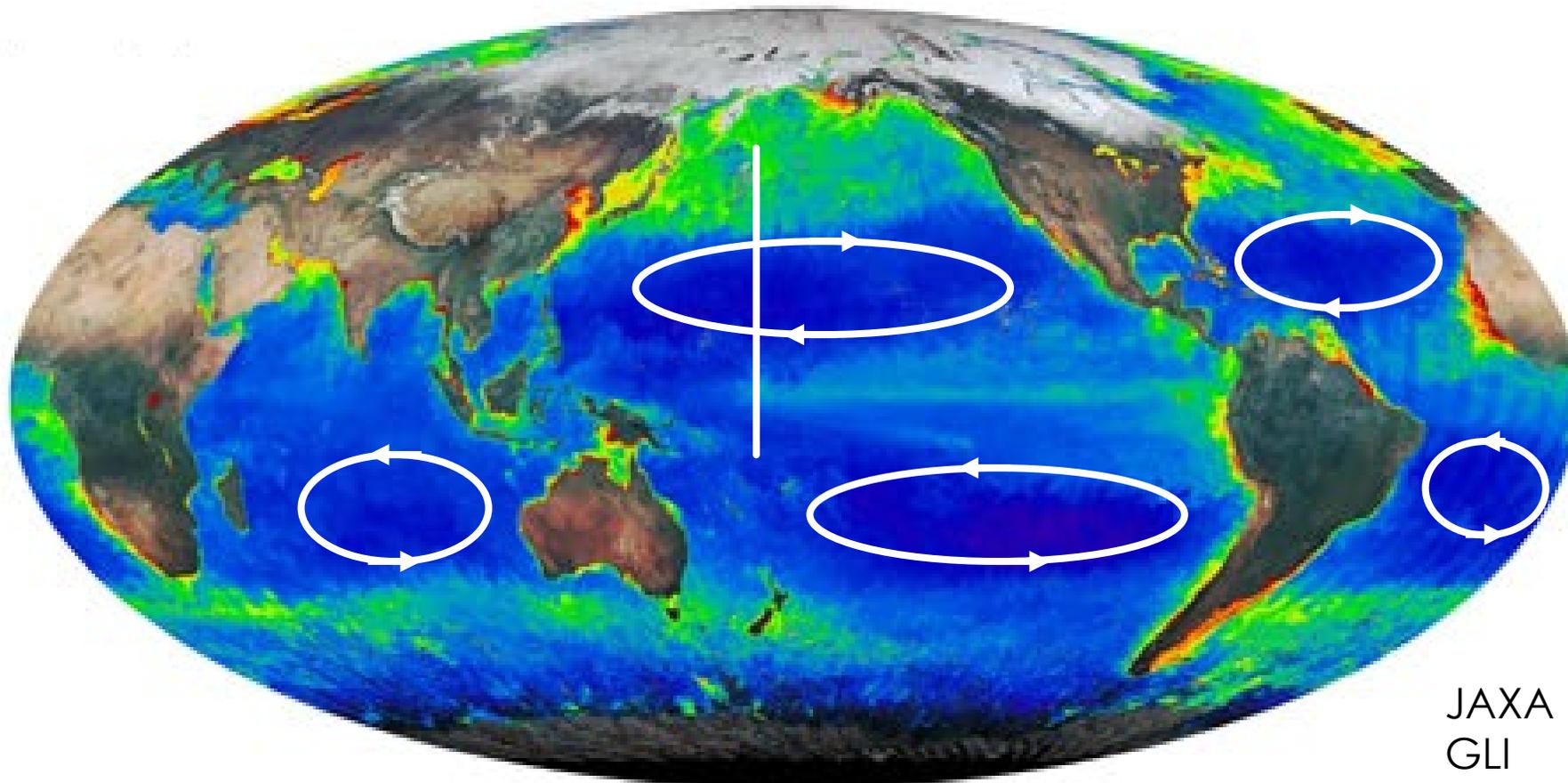
生物ポンプ

CO2の挙動を知るためにも大切



地球規模の植物プランクトンの分布 (クロロフィル-A)

海流



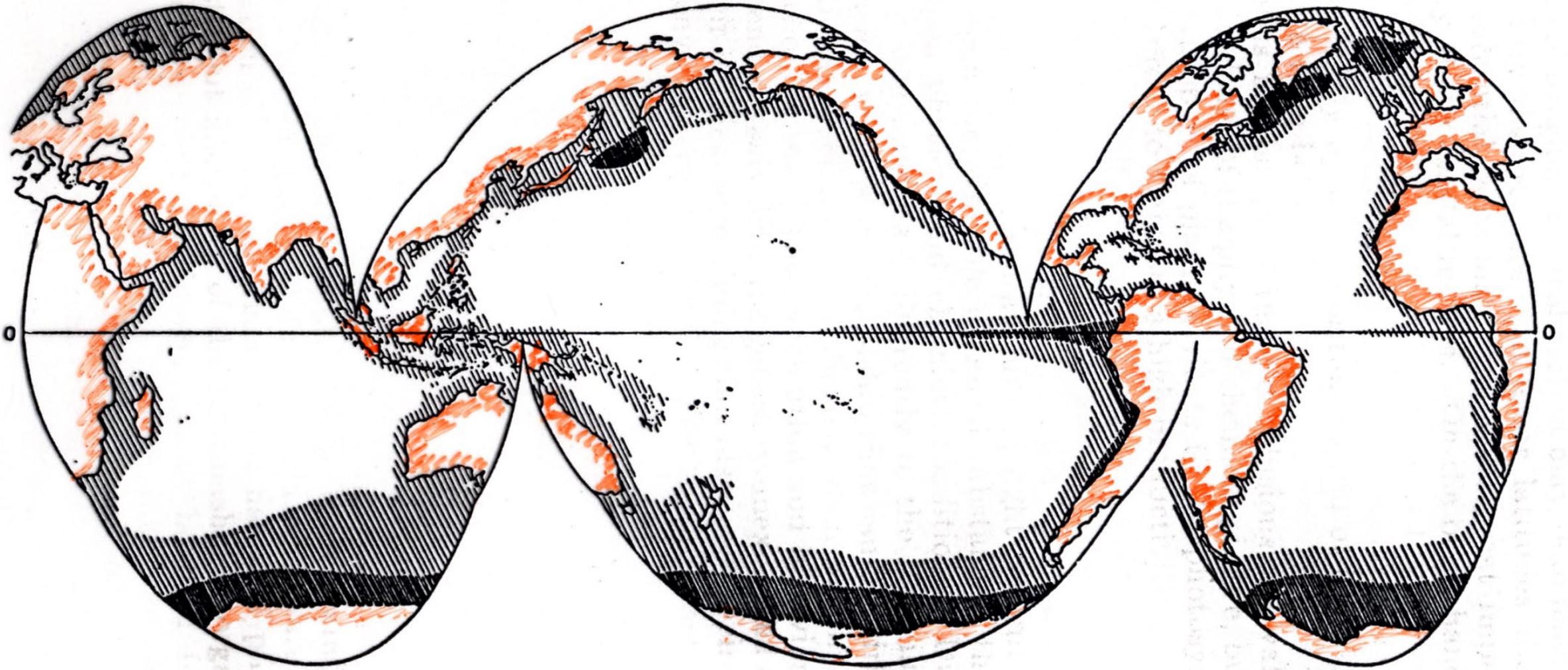
(B) Sea-surface temperature



(C) Photosynthetically available radiation

(D) Ocean primary productivity

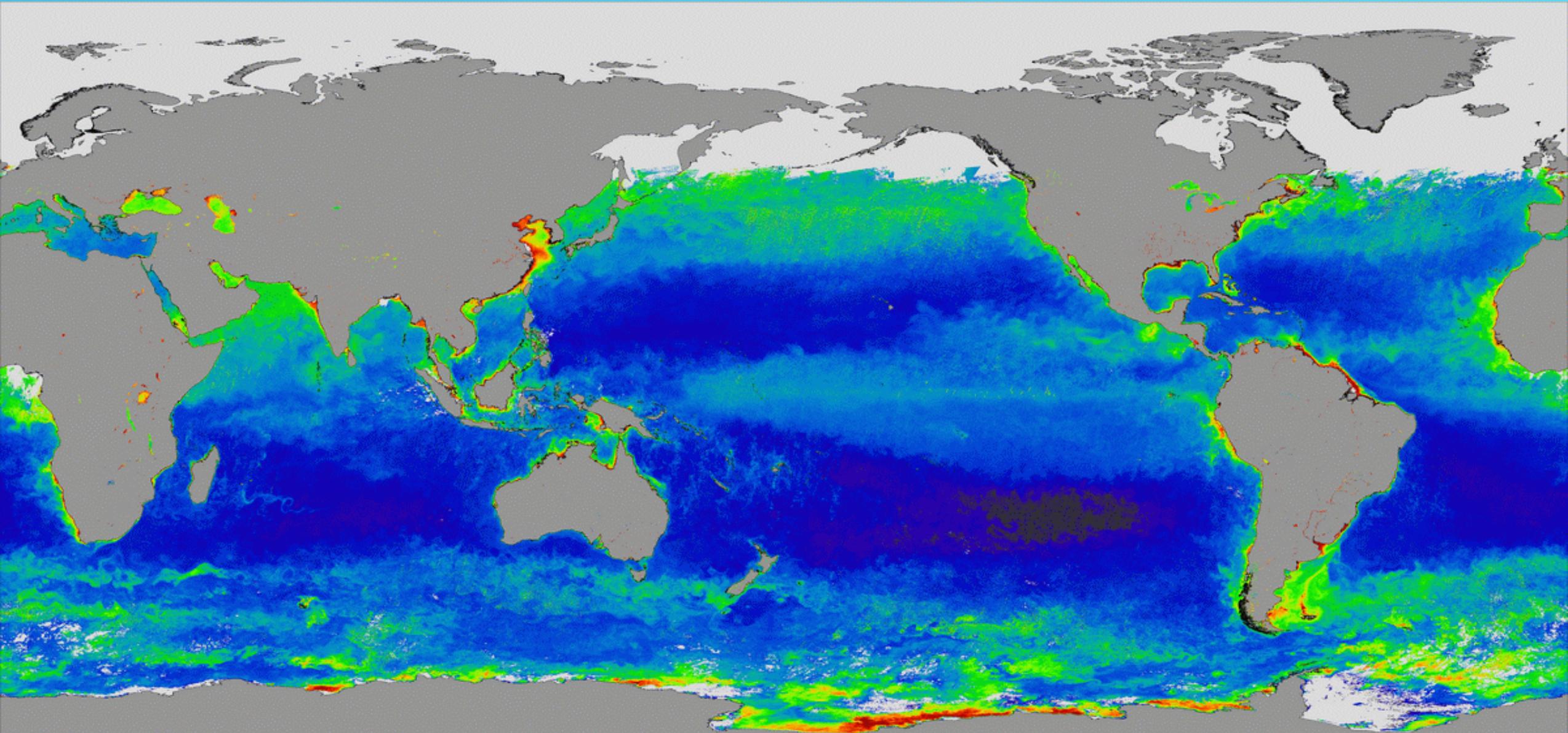
Sverdrup (1955) Place of Physical Oceanography in the Oceanographic Research

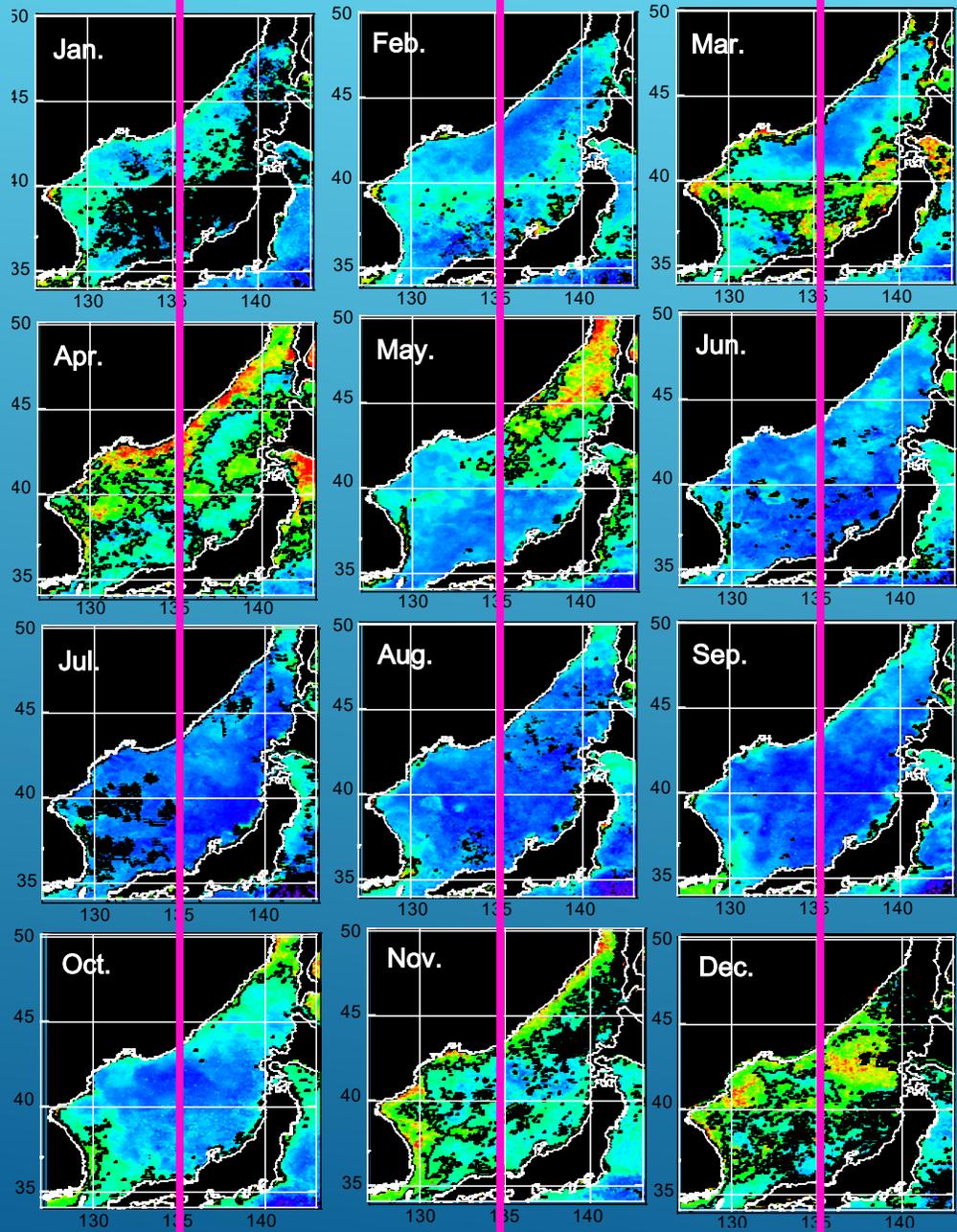


研究内容

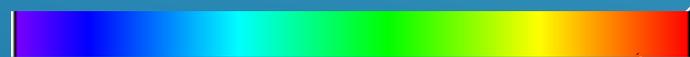
- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ 伊豆沖湧昇（修論・通産省）
- ▶ 湾流湧昇（D博）
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ **日本海季節変動（長崎大・名大）**
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）

SGLI MONTHLY CHL-A 2023



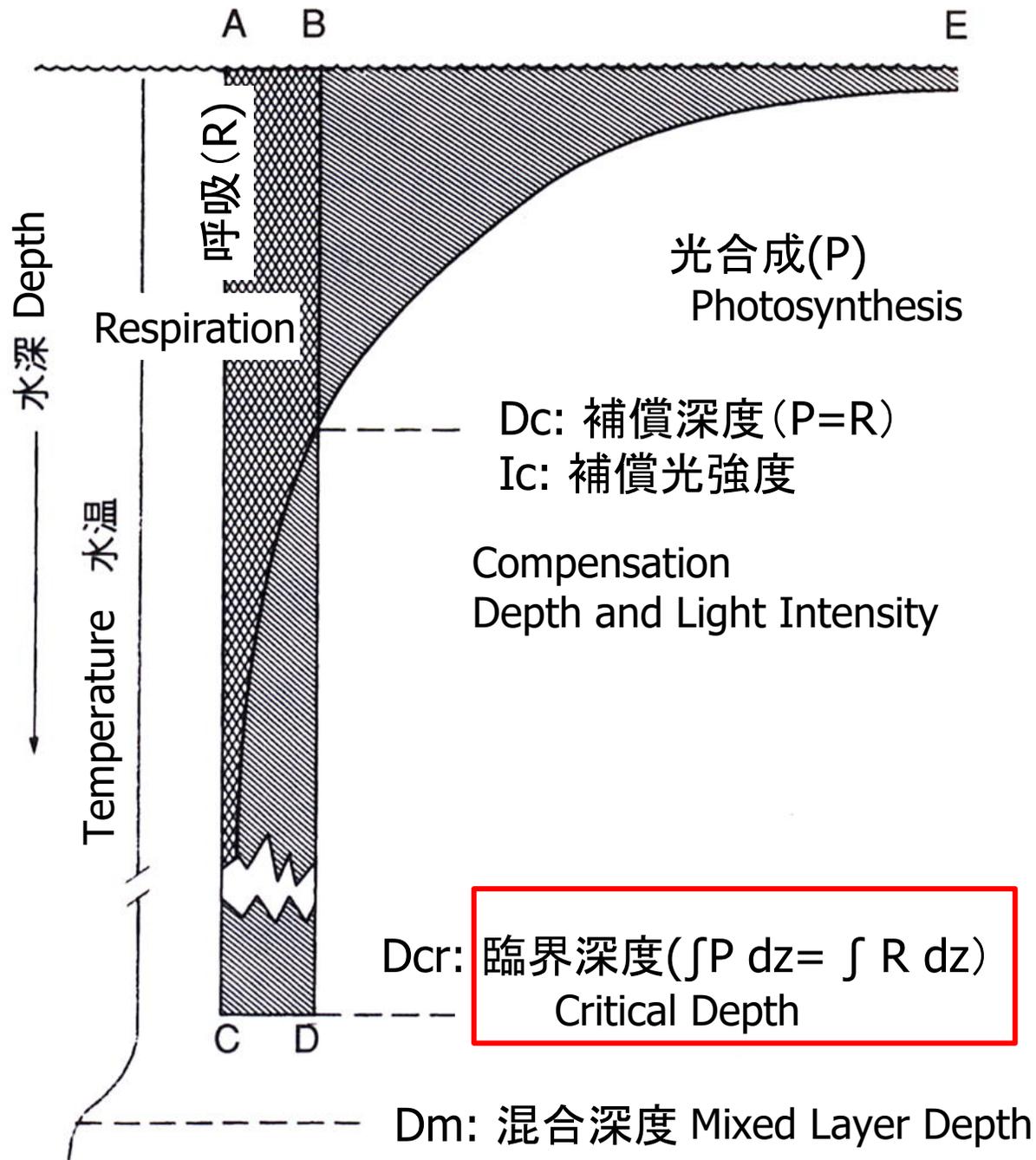


日本海の クロロフィルaの 季節変動 (1998)



0.1 1 10
Chlorophyll a ($\mu\text{g l}^{-1}$)

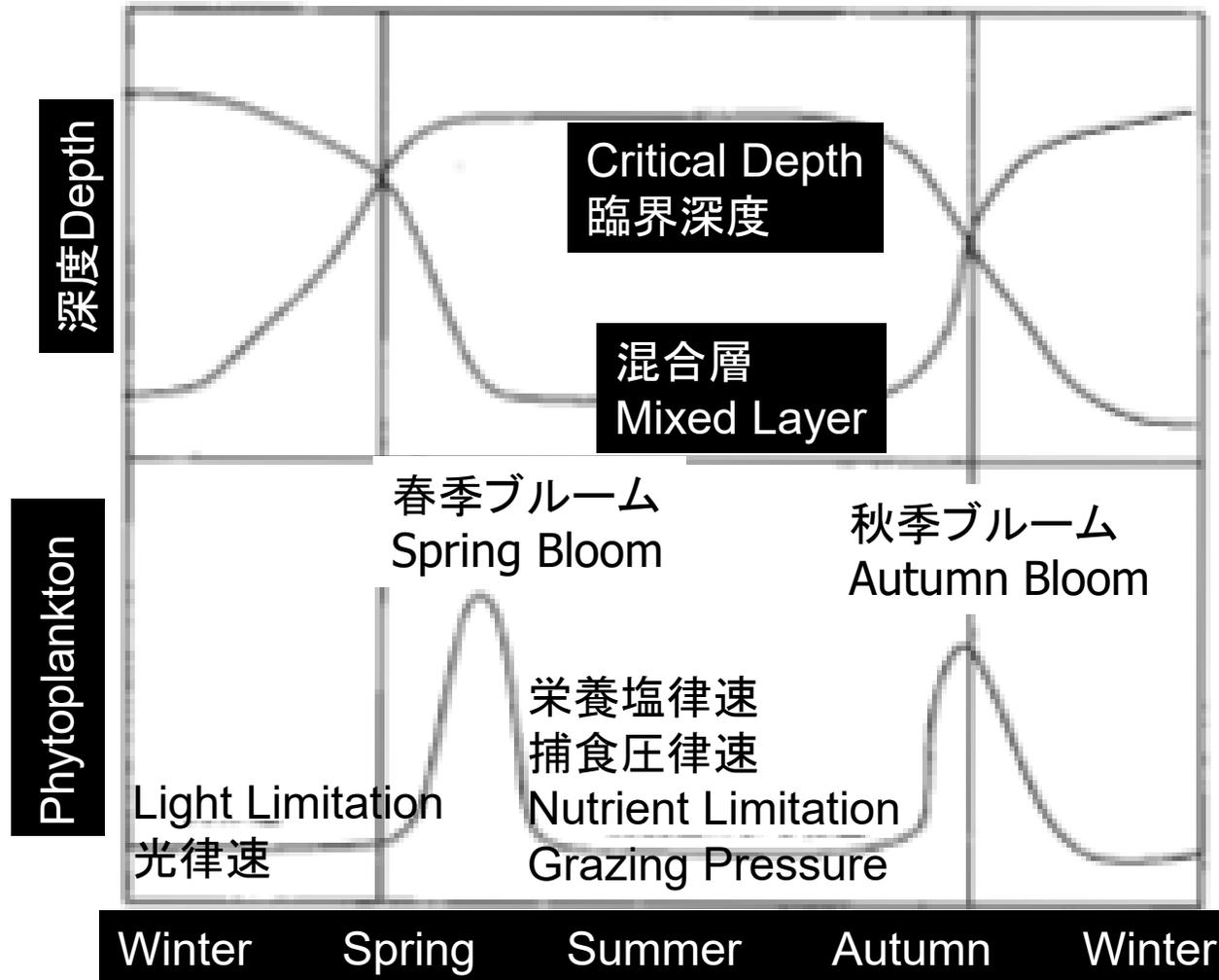
(Yamada et al., 2004)



補償深度・ 臨界深度・ 混合深度の 関係

臨界深度理論
Sveldrop, 1953

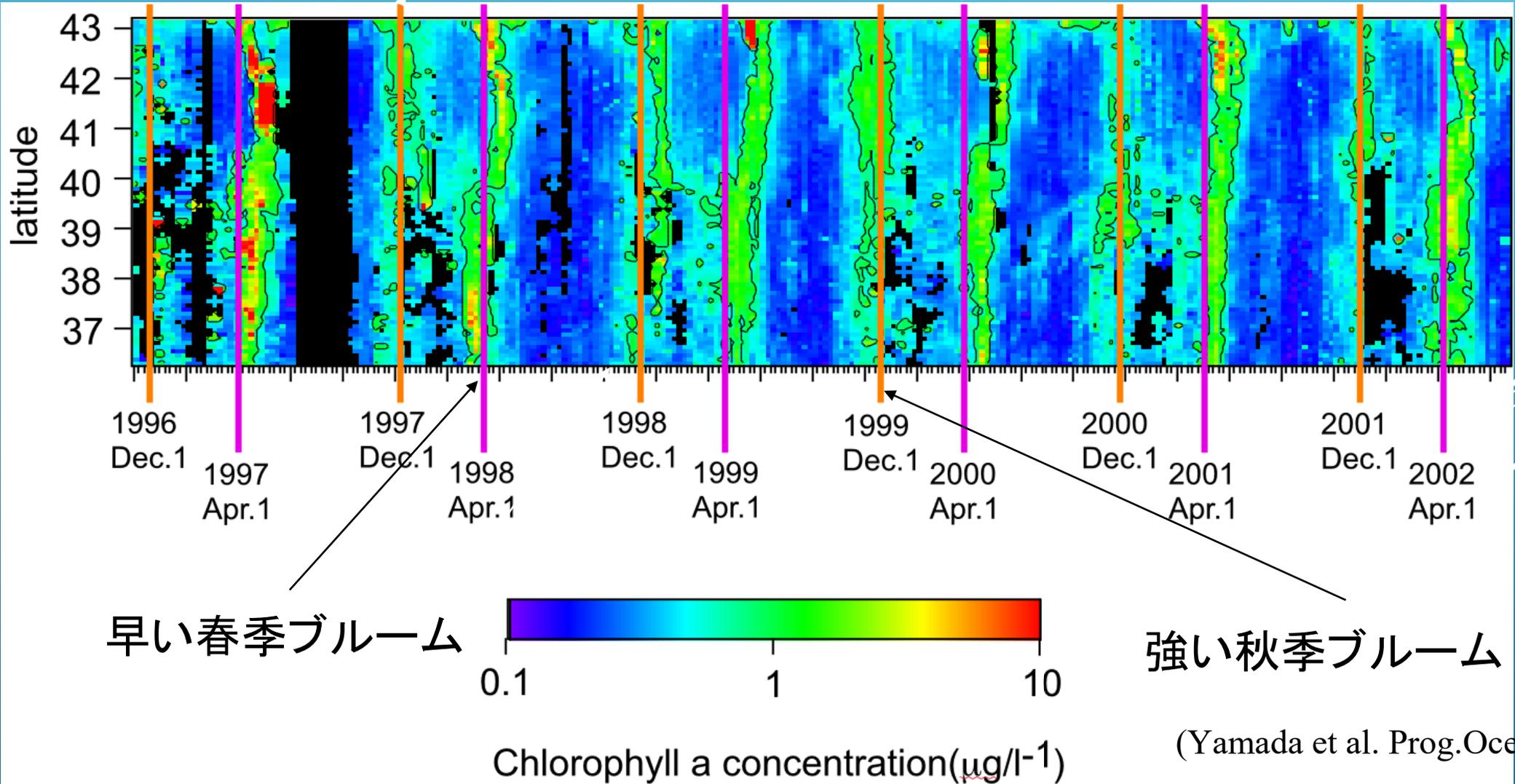
春季・秋季ブルームと 臨界深度・混合深度



日本海のクロロフィル a の経年変化

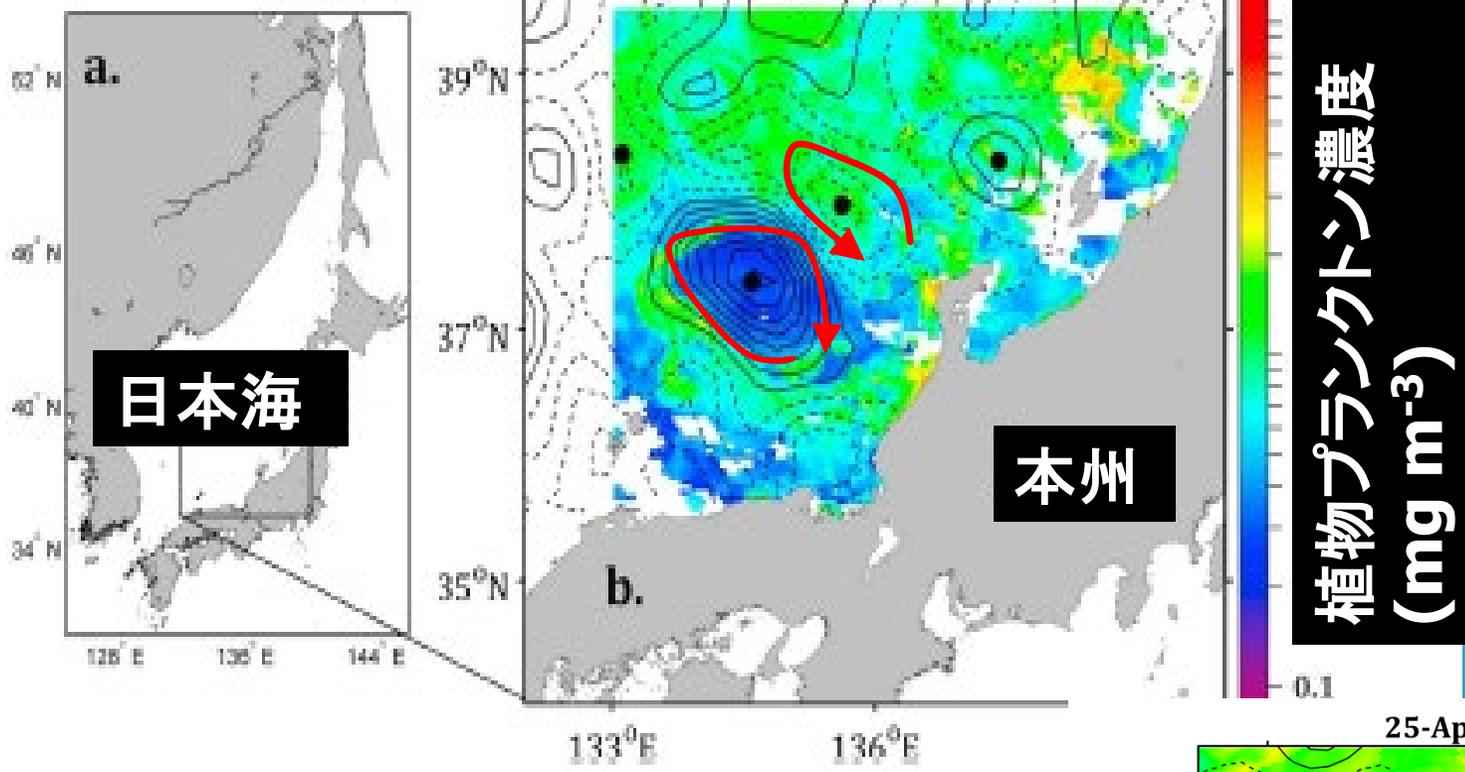
弱い秋季ブルーム

遅い秋季ブルーム

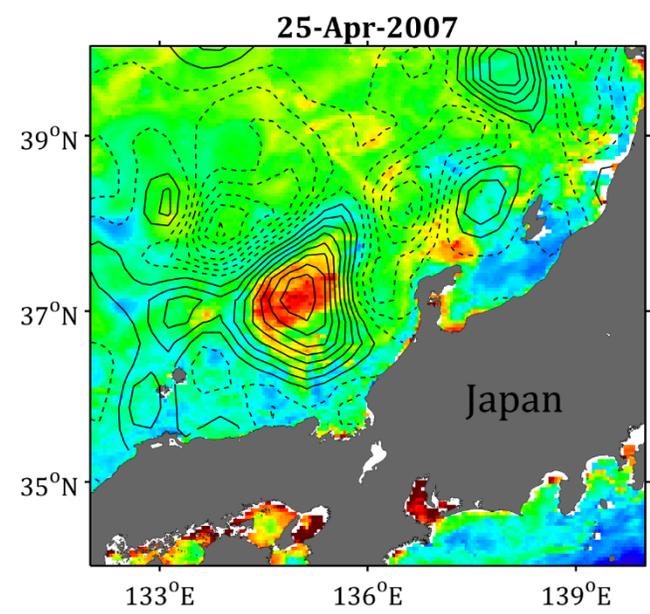


(Yamada et al. Prog.Ocean 2004)

2008年3月26日



春季ブルム
高気圧性渦で遅い
低気圧性渦で早い
(Maureら, GRL-17, JGR-18)



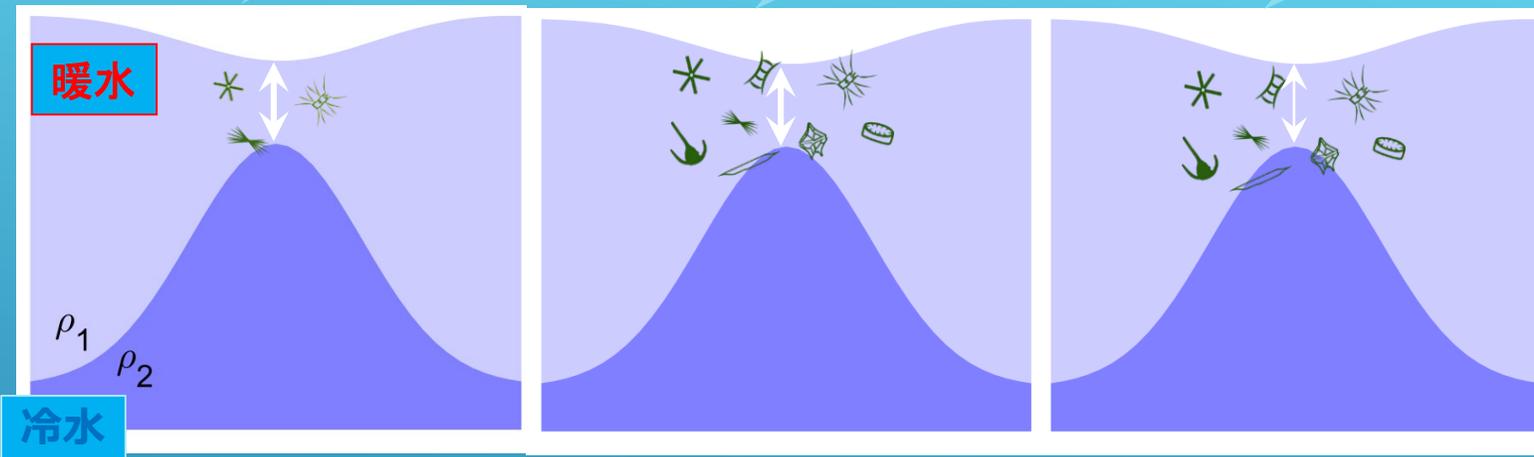
☀ 冬

☀ 早春

☀ 晩春

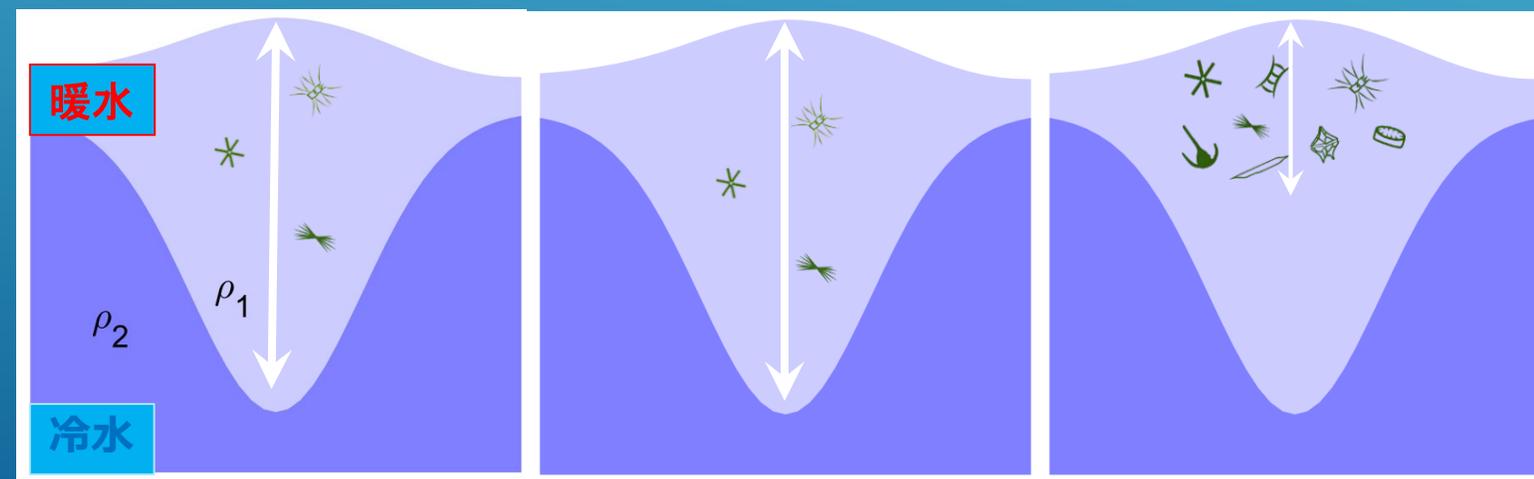
深さ ↓

反時計回り渦



深さ ↓

時計回り渦



強い冷却

冷却なし

(Maure
5, GRL-
17, JGR-
18)

研究内容

- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ 伊豆沖湧昇（修論・通産省）
- ▶ 湾流湧昇（D博）
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ **一次生産（長崎大・名大）**
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）



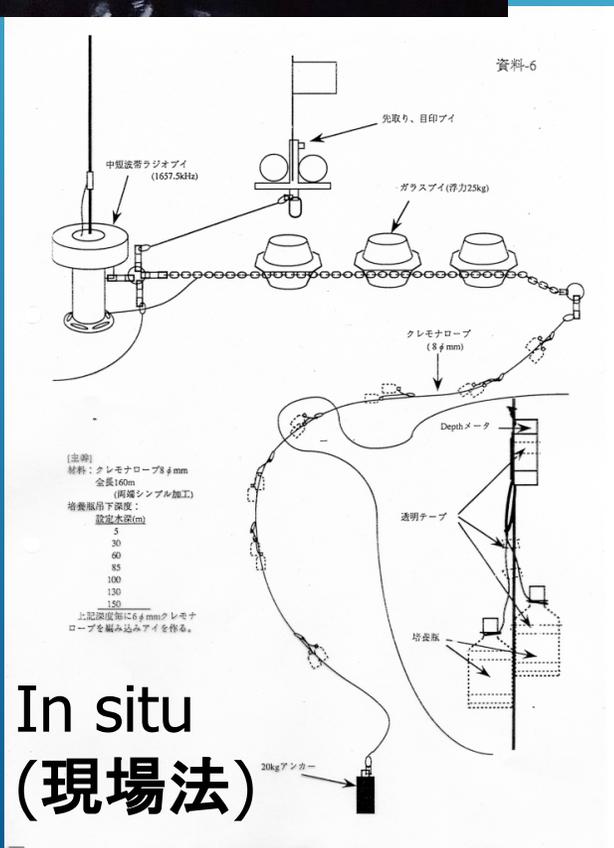
基礎生産の測定

^{14}C or ^{13}C HCO_3^- を添加した培養実験 (1955年~)

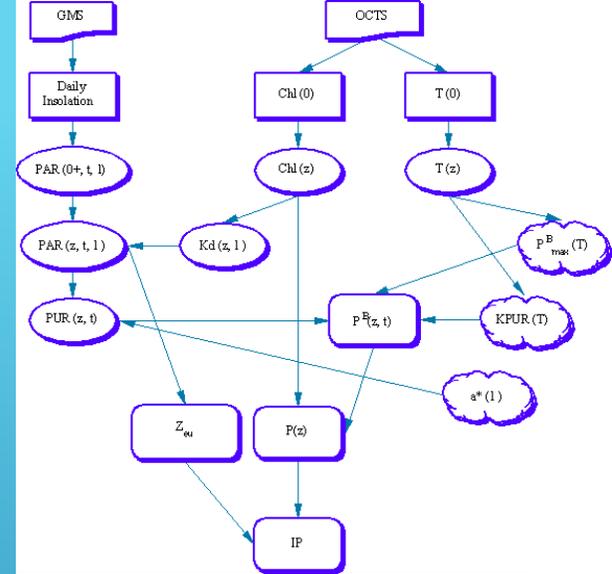
数時間から1日 現場に似た光 (温度) 条件

炭素の粒状化速度

Simulated In Situ
(擬似現場法)

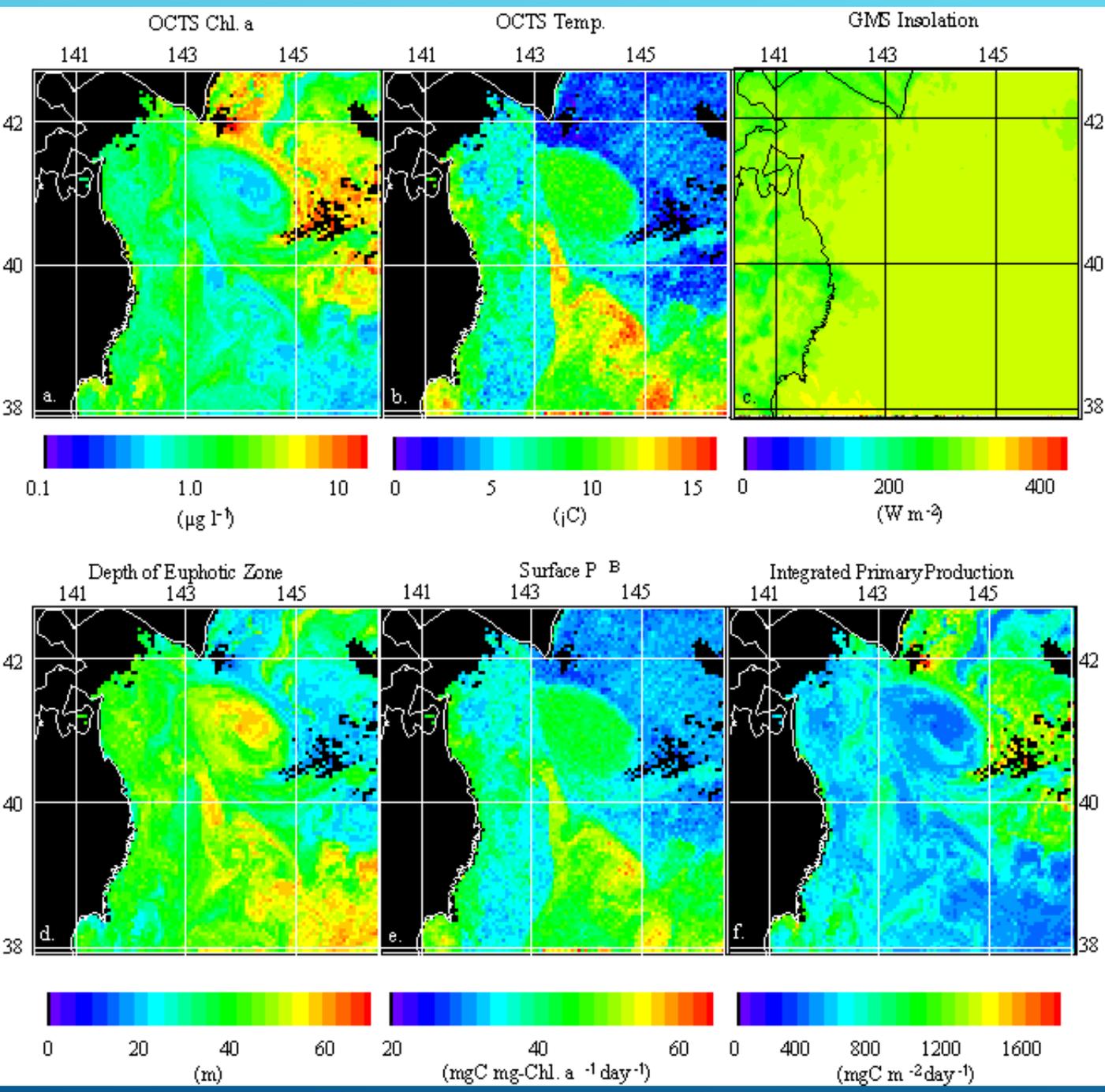


日本センサー OCTSによる 三陸沖 基礎生産推定



- ・ 時間
 - ・ 水深
 - ・ 波長
- を考慮した
複雑なモデル
(Morel, 1991)

Primary Production
Estimation by OCTS
off Sanriku, Japan
(Ishizaka, 1998)



Two-Phytoplankton Model (Kameda & Ishizaka, 2005)

$$PP_{eu} = 0.66125 P_{opt}^B [E_0 / (E_0 + 4.1)] Z_{eu} C_{z0} D_{irr}$$

$$P_{opt}^B = f(SST)$$

- ・波長
- ・水深
- ・時間

を積分した単純なモデル

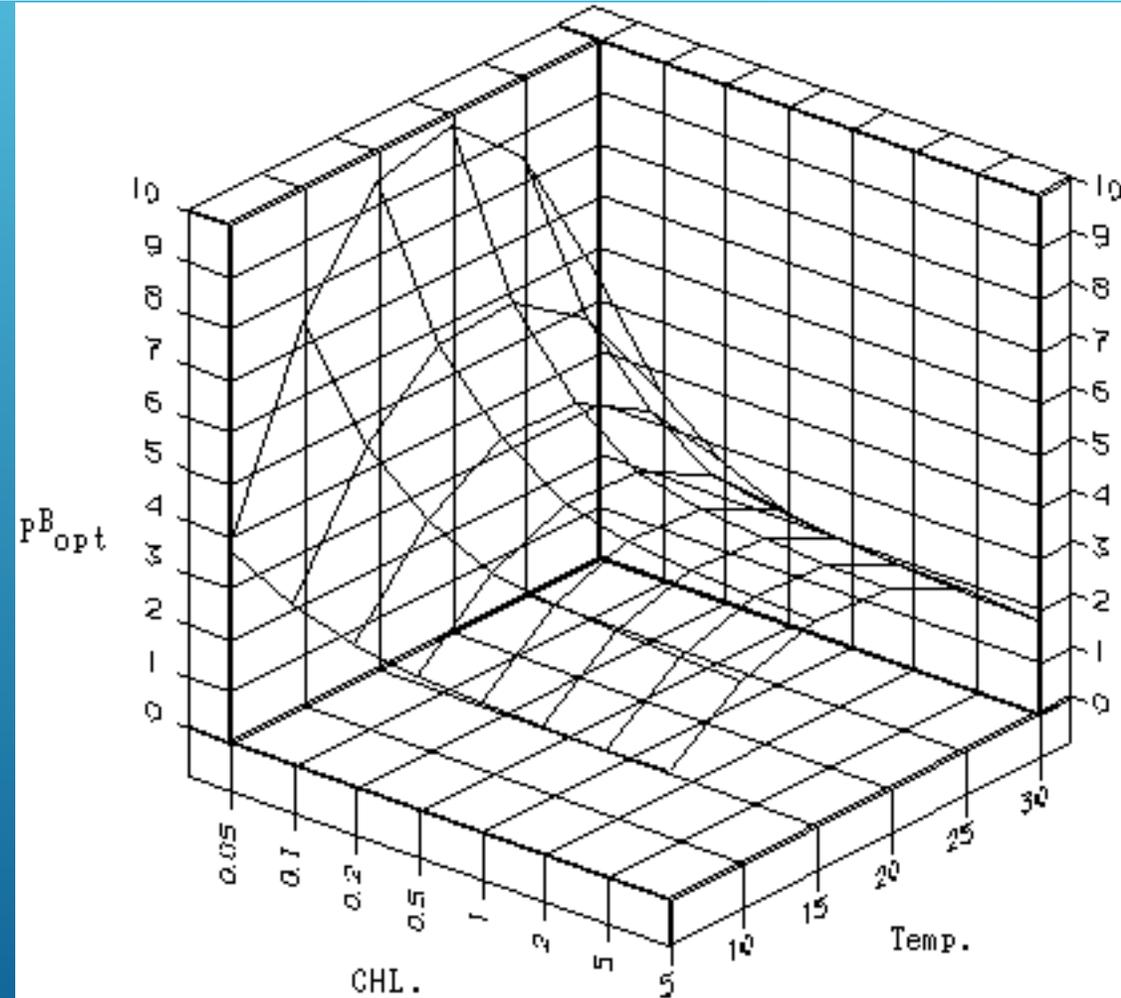
(Behrenfeld and Falkowski, 1997)

$$P_{opt}^B = (0.071 T - 3.2E^{-3} \times T^2 + 3.0E^{-5} \times T^3) / \text{Chl} + (1.0 + 0.17 T - 2.5E^{-5} \times T^2 - 8.0E^{-5} \times T^3)$$

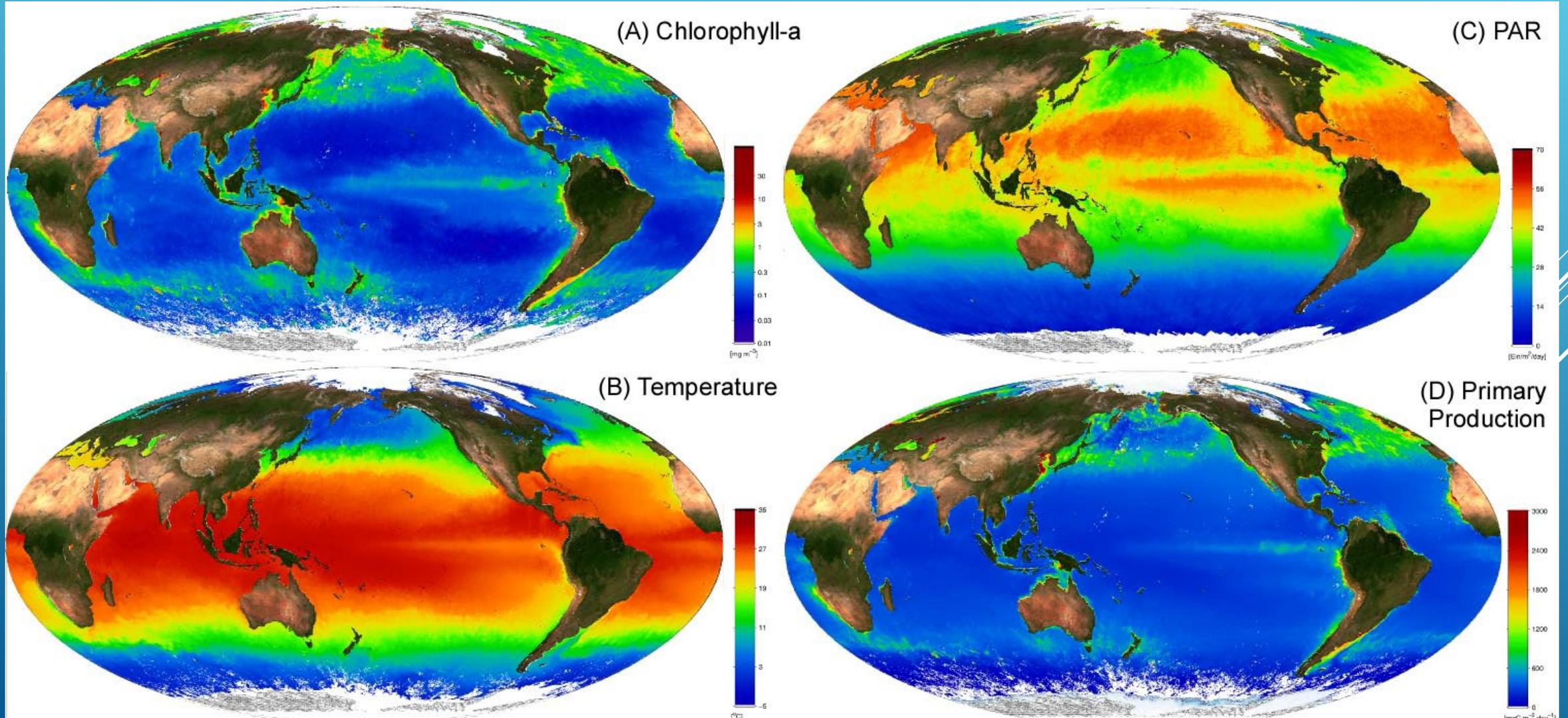
$$P_{opt}^B = f(SST, \text{Chl-a})$$

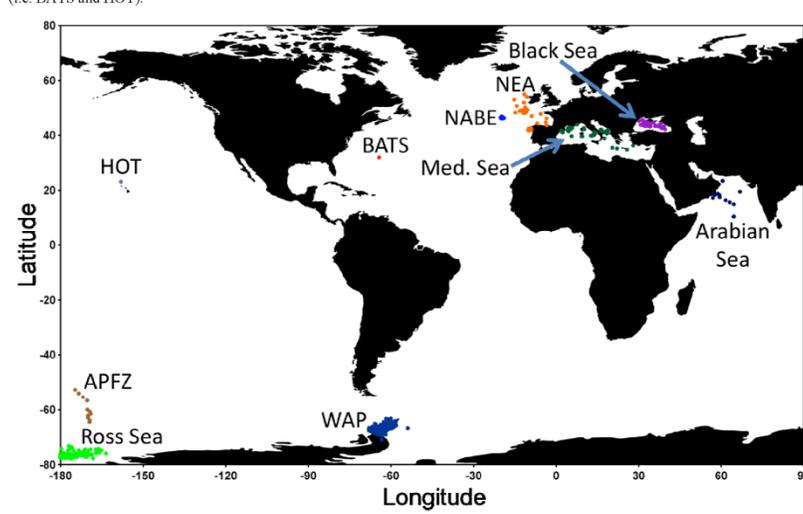
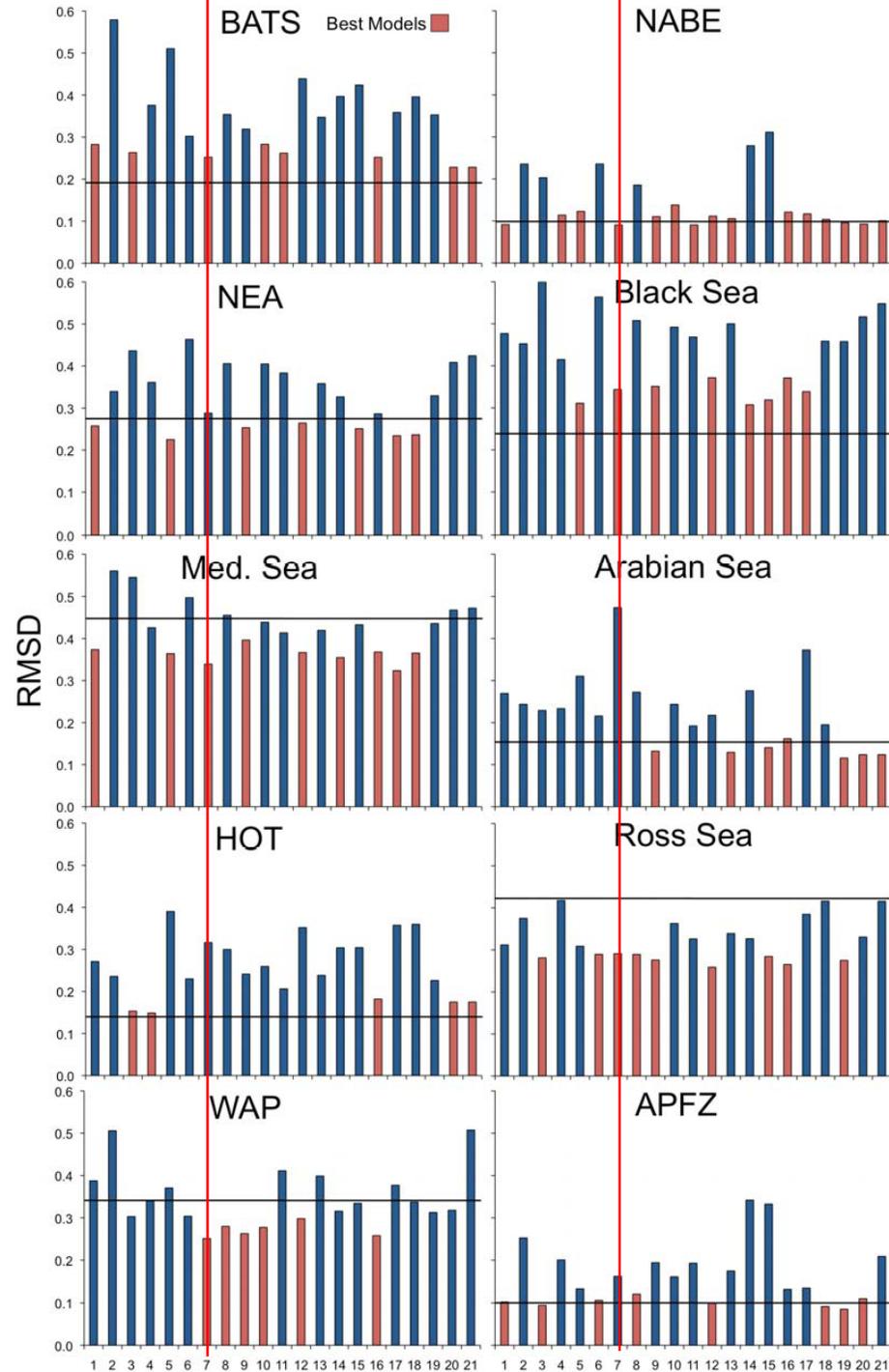
大小のプランクトン群集

高いクロロフィルa - 大型多
低いクロロフィルa - 小型多



April-June 2004 GLI/ADEOS-II-JAXA (Kameda & Ishizaka model)





Estimating marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe:

An evaluation of satellite-based ocean color models

Biogeoscience-2011

V.S. Saba, M/ A. M. Friedrichs, D. Antoine, R.A. Armstrong, I. Asanuma, M.J. Behrenfeld, A.M. Ciotti, M. Dowell, N. Hoepffner, K. J. W. Hyde, J. Ishizaka, T. Kameda, J. Marra, F. Mélin, A. Morel, J. O'Reilly, M. Scardi, W.O. Smith Jr., T.J. Smyth, S. Tang, J. Uitz, K. Waters, T. K. Westberry

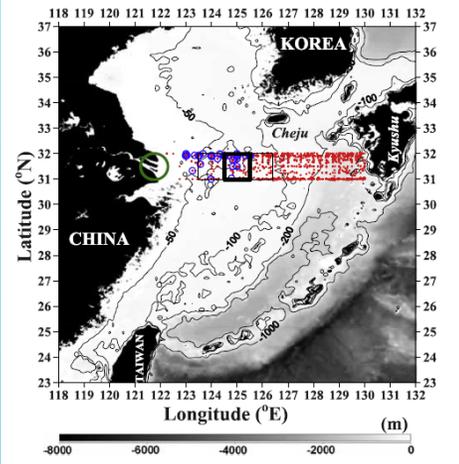
研究内容

- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ 伊豆沖湧昇（修論・通産省）
- ▶ 湾流湧昇（D博）
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ **東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）**
- ▶ 群集構造・赤潮（名大）

東シナ海の変化

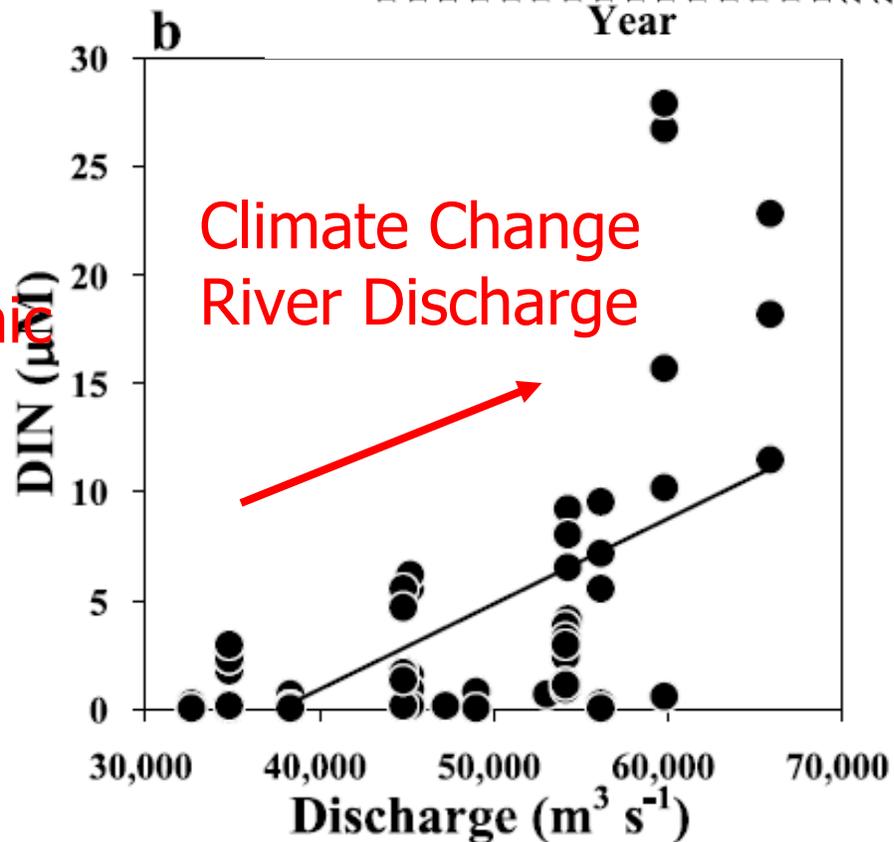
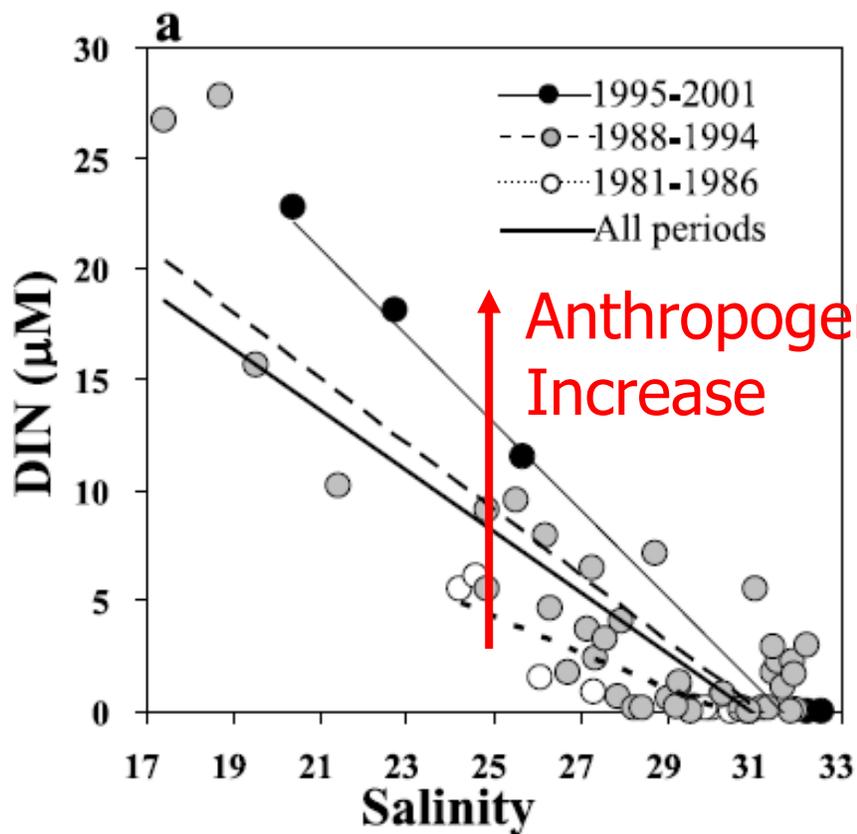
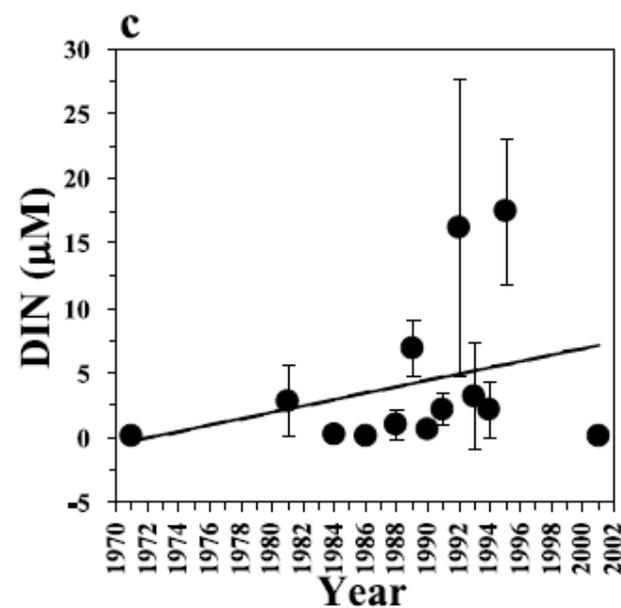
この画像は
著作権の都合により
削除しました

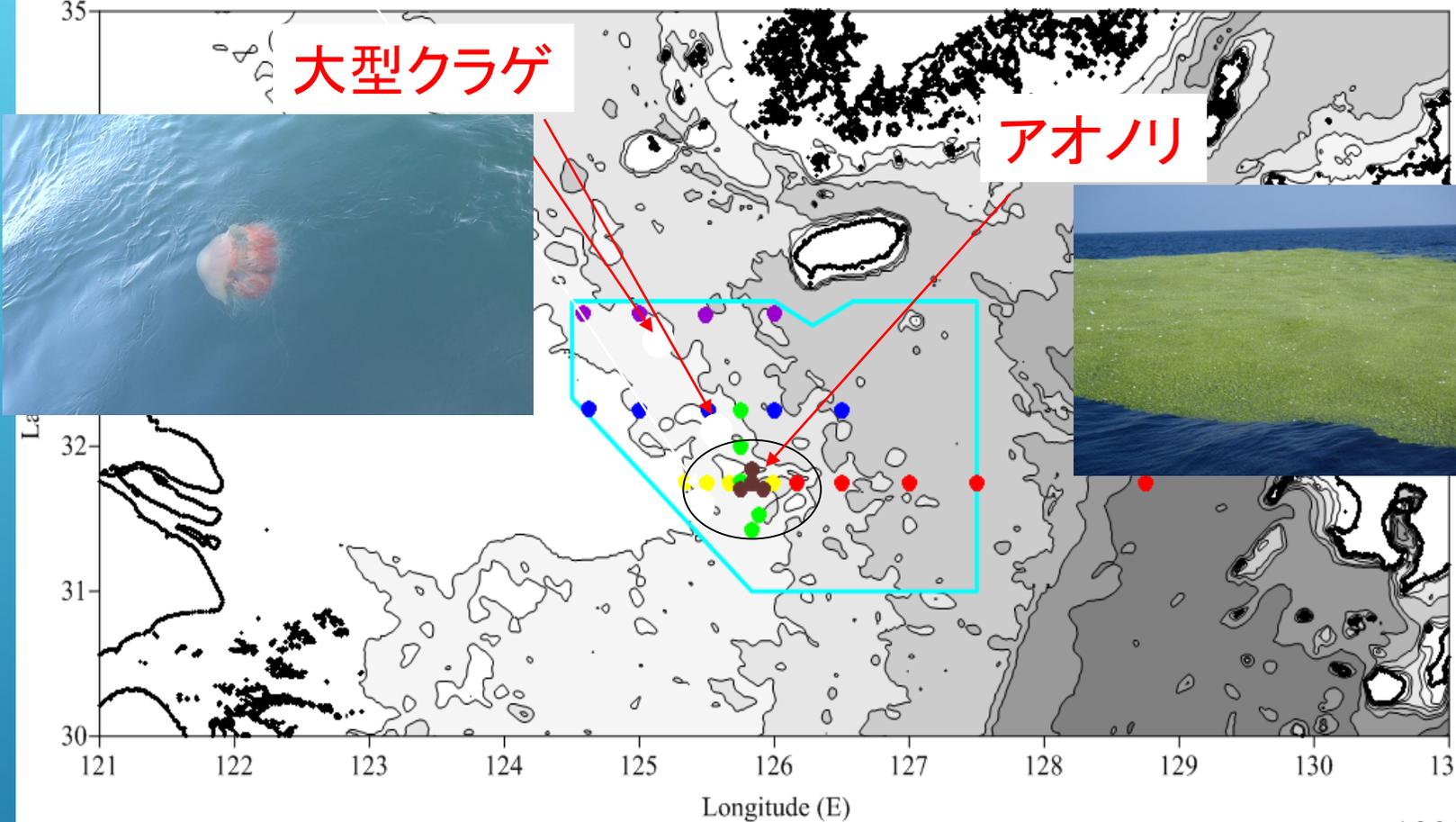




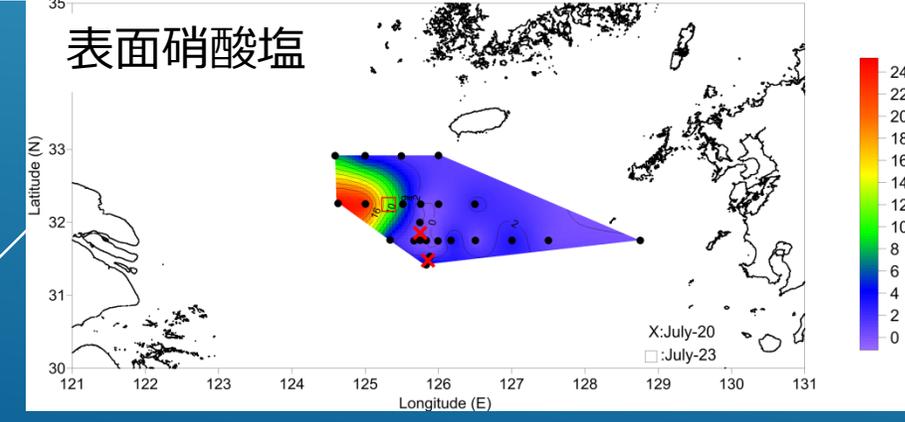
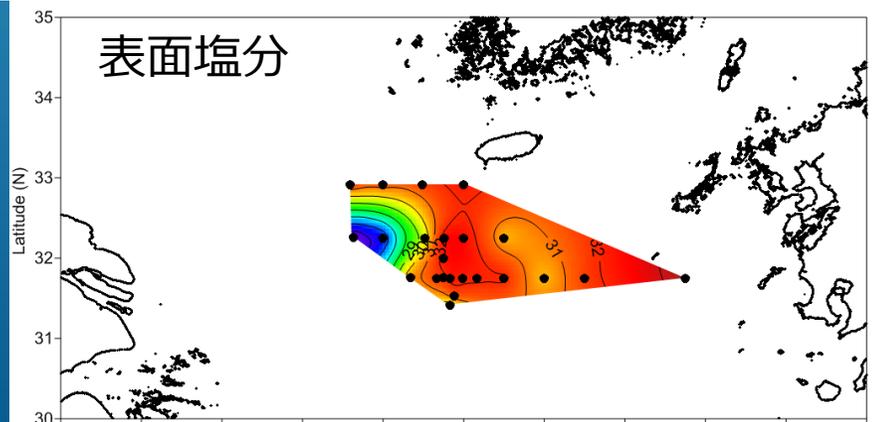
Nutrient Change in the East China Sea

(Siswanto et al., 2008)



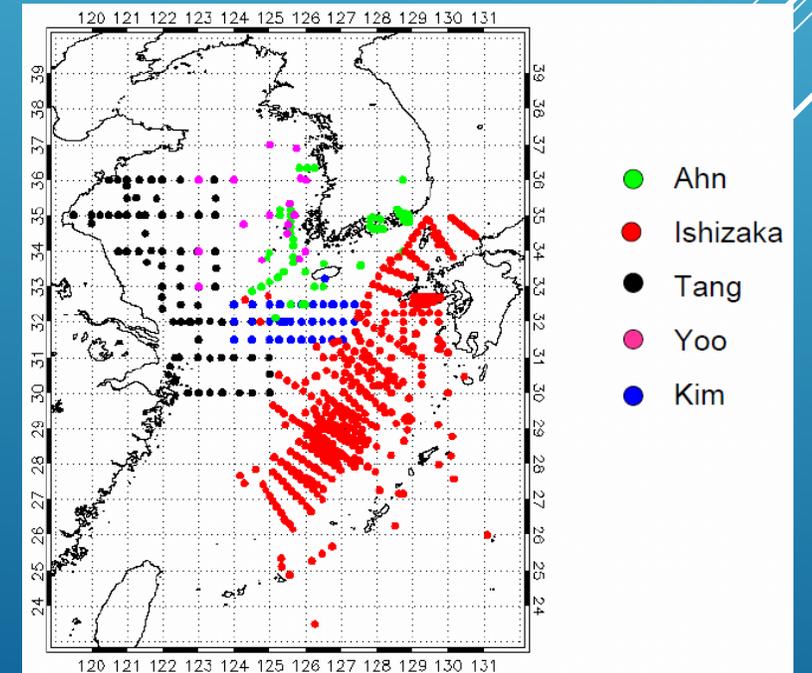
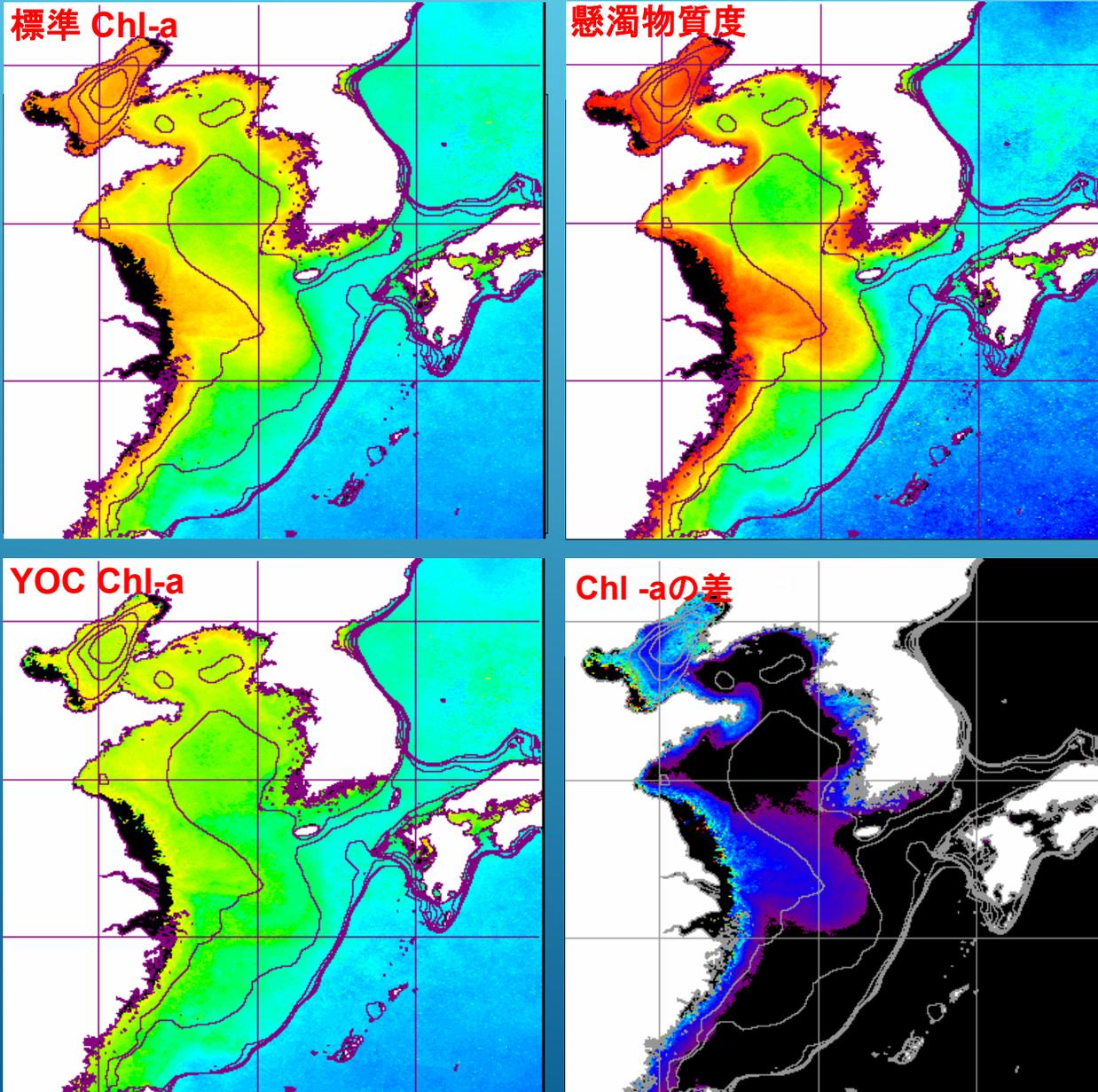


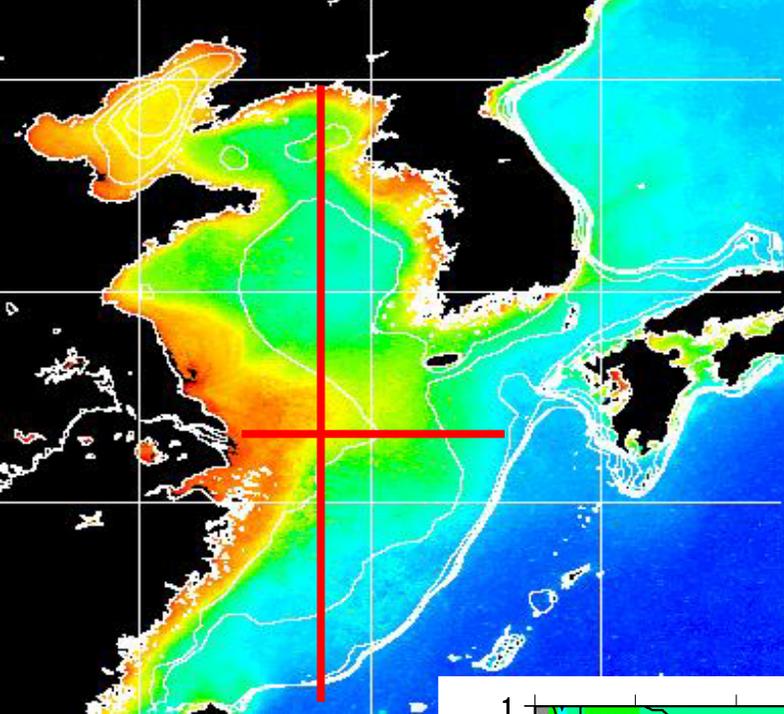
2011年
7月15-25日
長崎大学
長崎丸
日中韓
共同航海



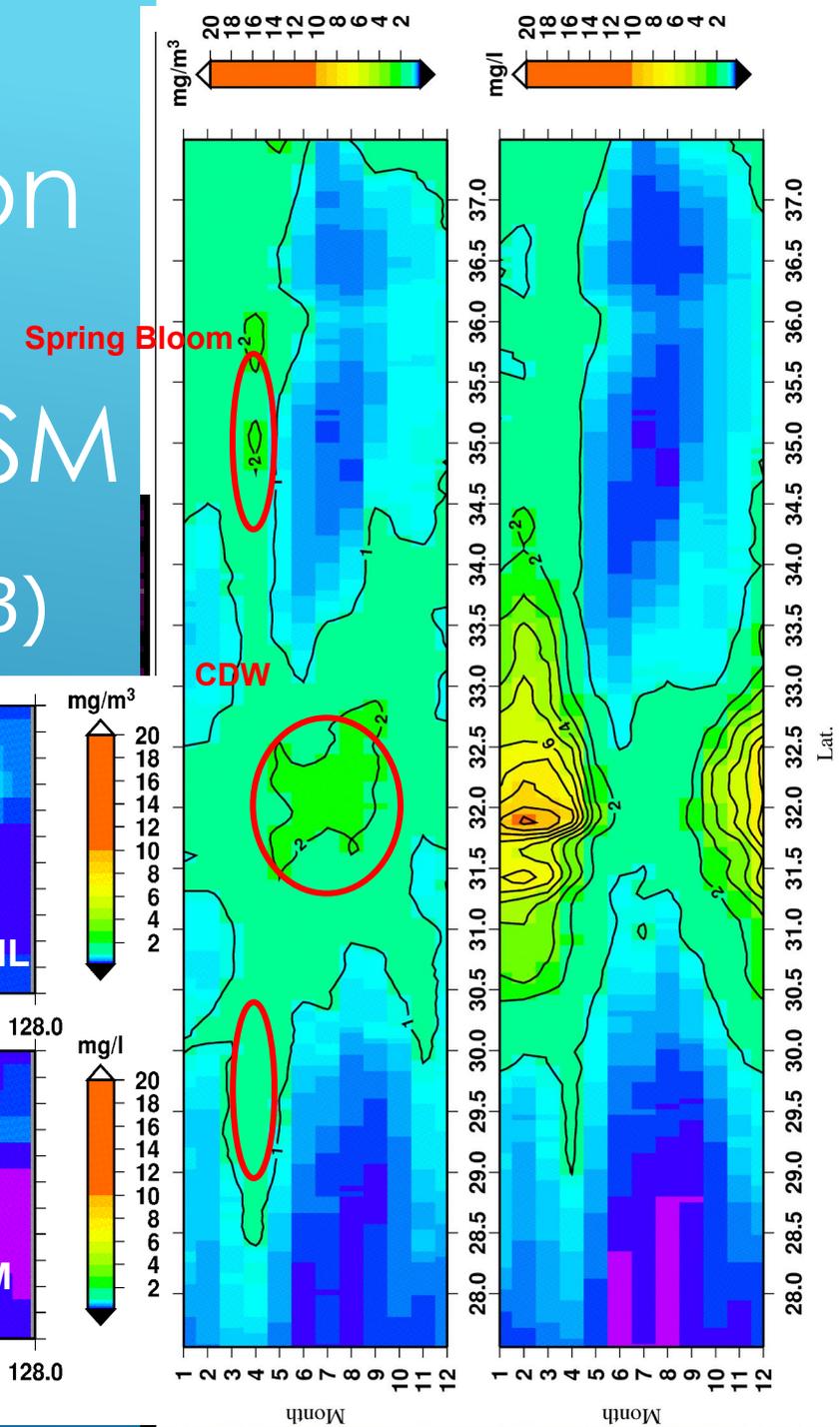
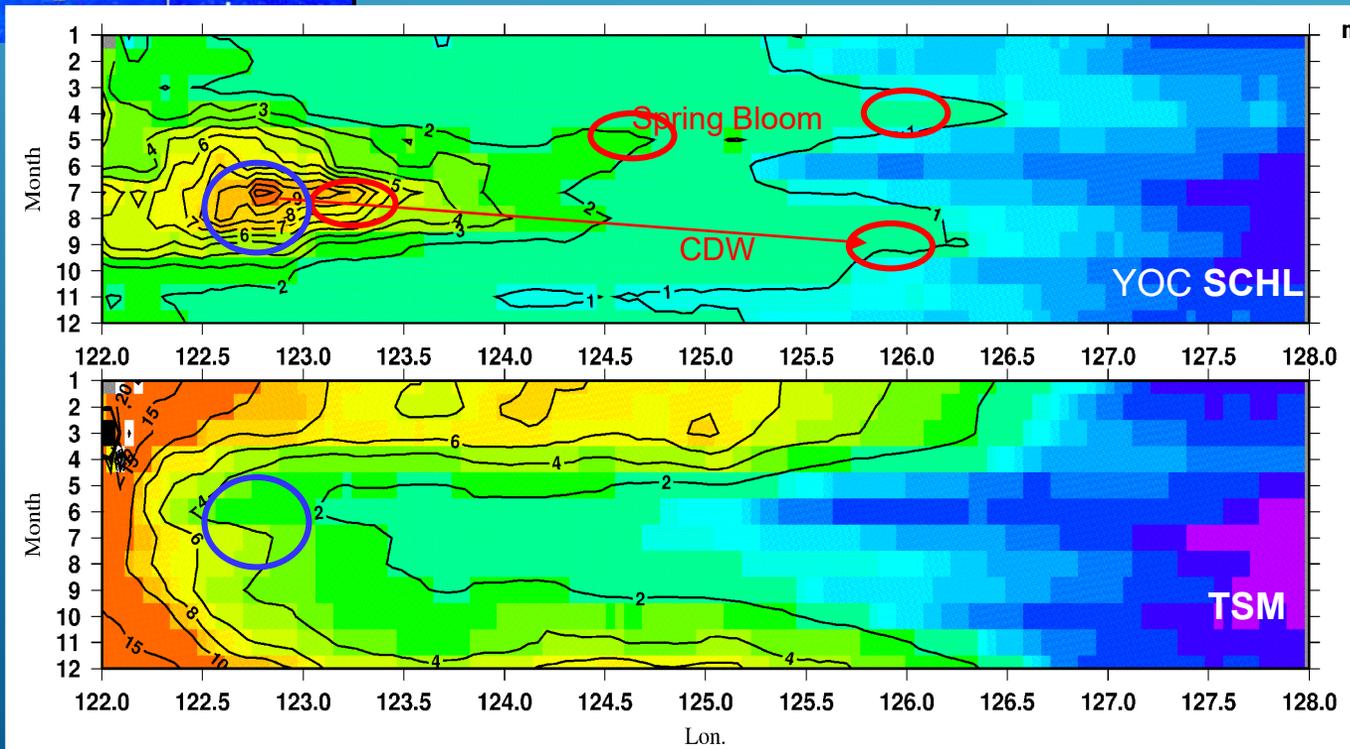
(Siswanto et al, JO-11,
Yamaguchi et al. CSR-13)

Development of New Chl-a Algorithm with Collaboration of Japan-Korea-China

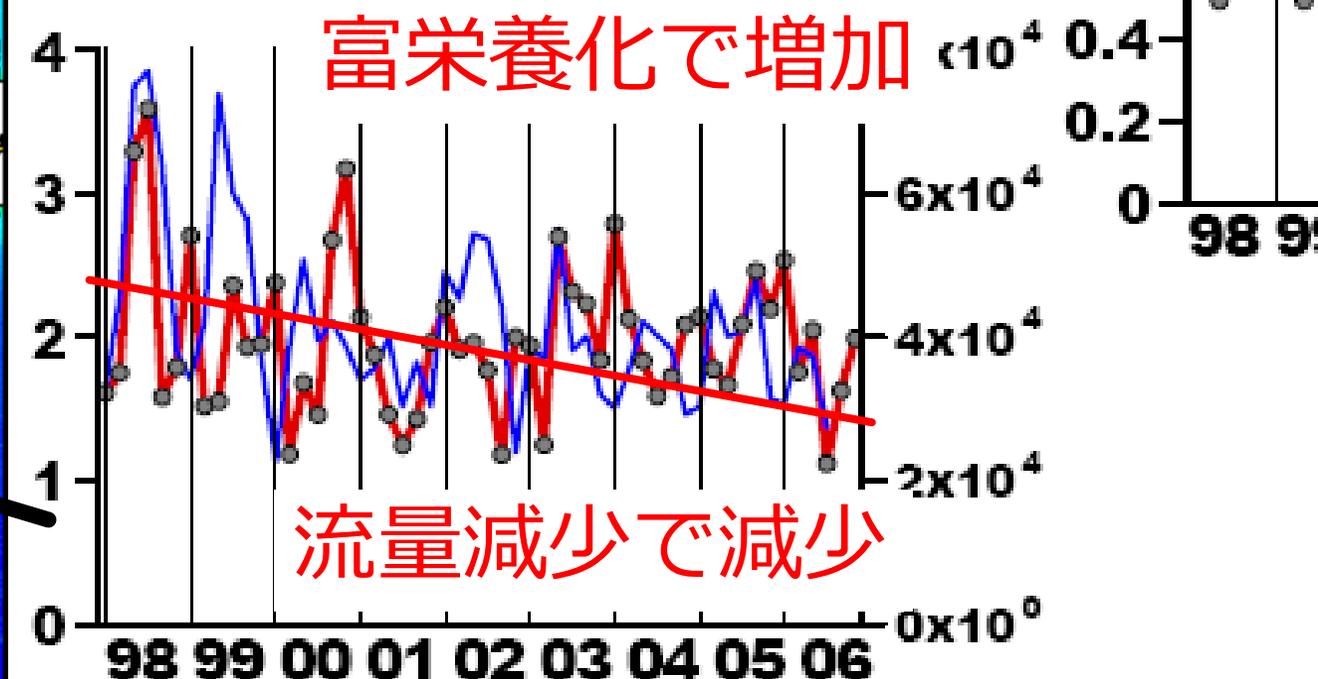
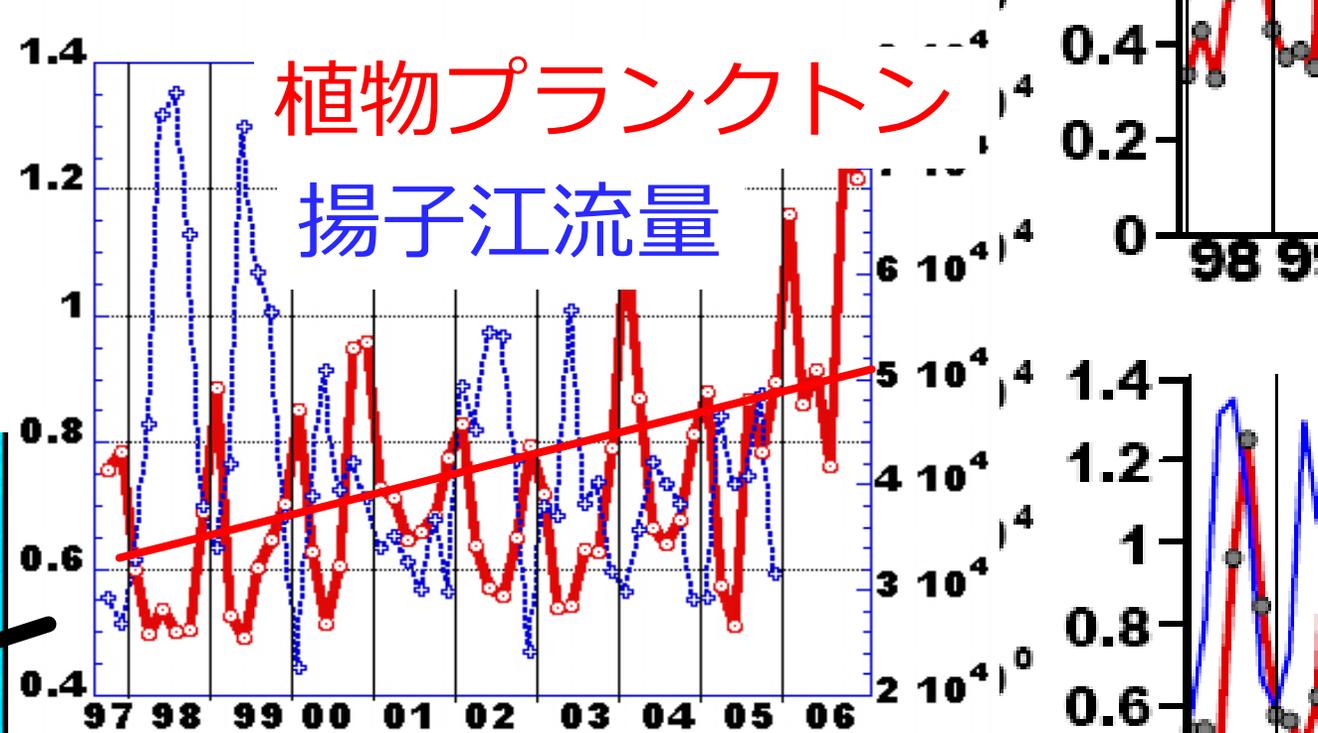
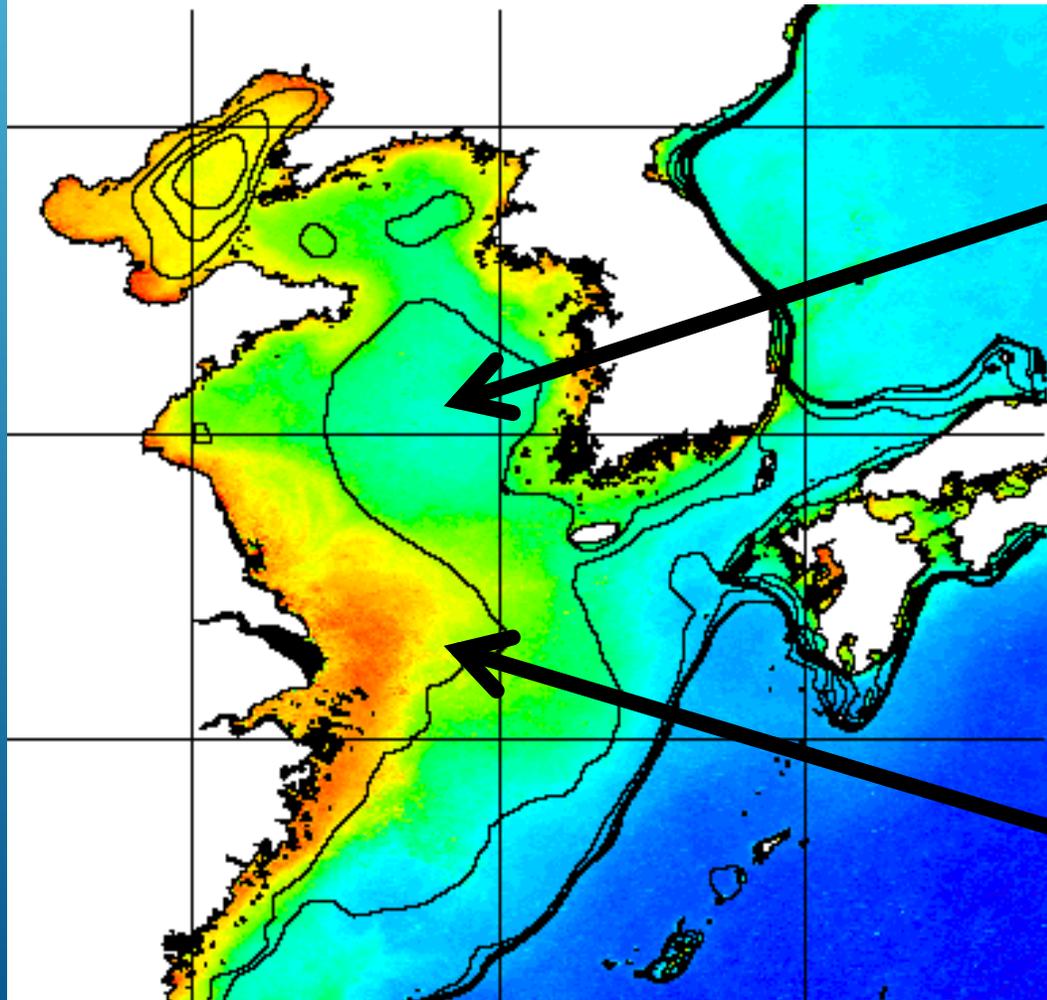




Seasonal Variation of YOC SCHL and TSM (Yamaguchi et al. CSR-13)



夏の揚子江流量と植物プランクトン量 (1997-2006) (Yamaguchi et al., 2012)



衛星を利用した 富栄養化の 予備評価

(Terauchi
et al. 2019)

国連環境計画
(UNEP)
北西太平洋
地域海
行動計画
(NOWPAP)

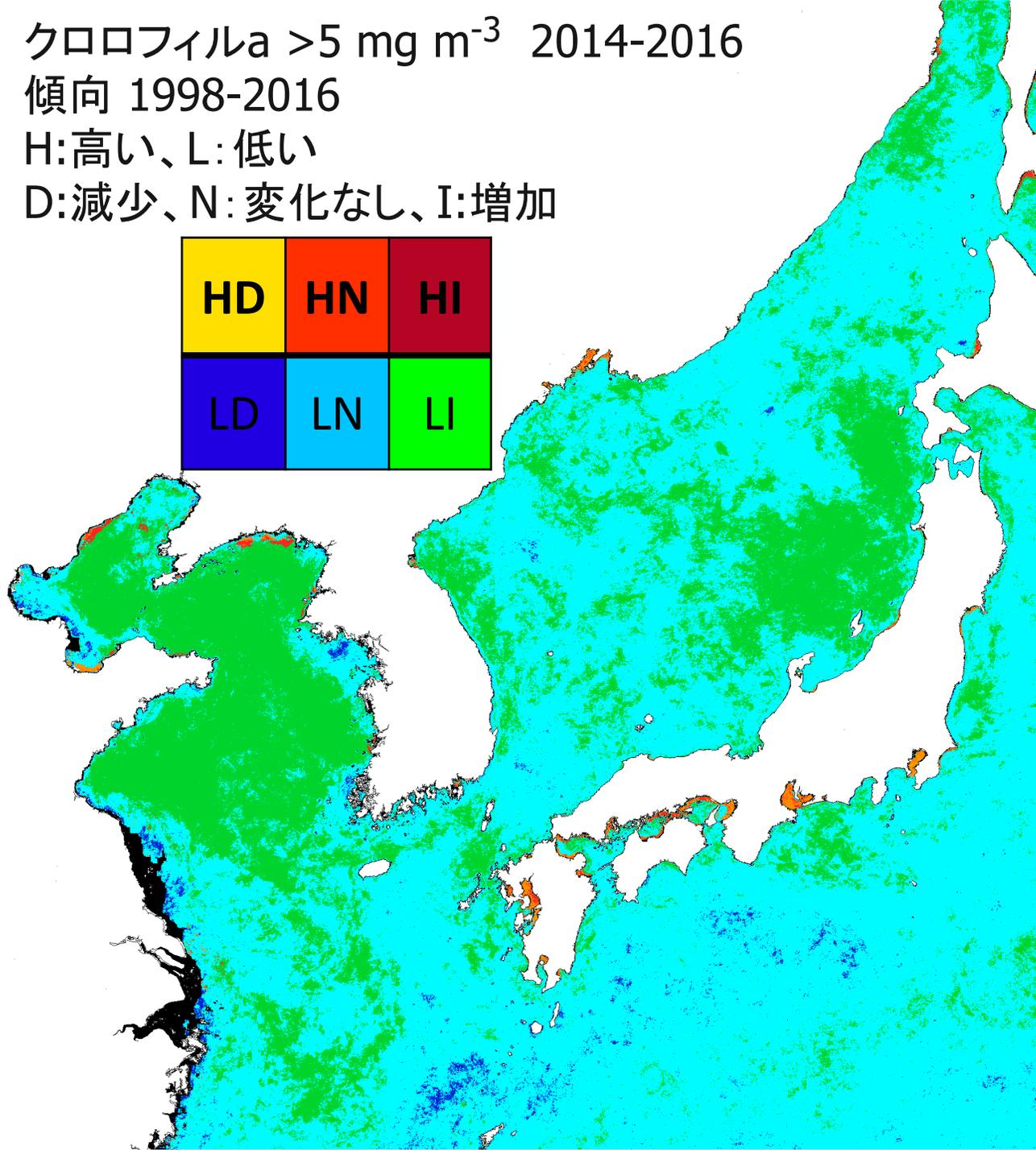
クロロフィルa $>5 \text{ mg m}^{-3}$ 2014-2016

傾向 1998-2016

H:高い、L:低い

D:減少、N:変化なし、I:増加

HD	HN	HI
LD	LN	LI



GLOBAL EUTROPHICATION WATCH

Maure et al. Nature Com. 2021

Earth Engine Apps Experimental

Search places

Global Eutrophication Watch

Dataset Specification

Data Selection (MODIS Standard or Regional in Northwest Pacific)

Trend Duration 2003- (Standard MODIS)
1998- (Regional SeaWiFS-MODIS)

Threshold of Chl-a Average Time Duration And Concentration

Select cutoff level: 5 [mg/m³]

Layers 地図 航空写真

Time Series of Specific Location

Color	Label
Purple	LD
Blue	LN
Cyan	LI
Yellow	HD
Orange	HN
Red	HI

The Global Eutrophication Watch is designed to allow users to perform a preliminary screening of coastal eutrophication using satellite-derived chlorophyll (CHL) data. A default MODIS/Aqua-derived CHL product is bundled with the App. However, users can also provide a link to their own asset of monthly CHL. In addition to that, the YOC CHL product (a regional dataset in the Northwest Pacific region) is also provided with the App.

The article for this app, accessible from the link: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26391-9>, introduces the terms eutrophic potential, eutrophication potential, and oligotrophication potential for waters with high CHL levels (HD, HN, and HI), with increasing CHL trends (LI and HI), and with decreasing CHL trends (LD and HD), respectively. LI and HI are of a particular interest as they indicate waters in a process of becoming eutrophic (LI) or a progression of an already eutrophic (HI) water body.

Google

キーボードショートカット 画像 ©2021 NASA, TerraMetrics 1000 km 利用規約

研究内容

- ▶ 湧昇培養実験（卒論）
- ▶ 伊豆沖湧昇（修論・通産省）
- ▶ 湾流湧昇（D博）
- ▶ 西部北太平洋観測（通産省）
- ▶ 日本海季節変動（長崎大・名大）
- ▶ 一次生産（長崎大・名大）
- ▶ 東シナ海・富栄養化（長崎大・名大）
- ▶ **赤潮・群集構造（長崎大・名大）**

朝日 01/11/6

諫早湾でまず赤潮

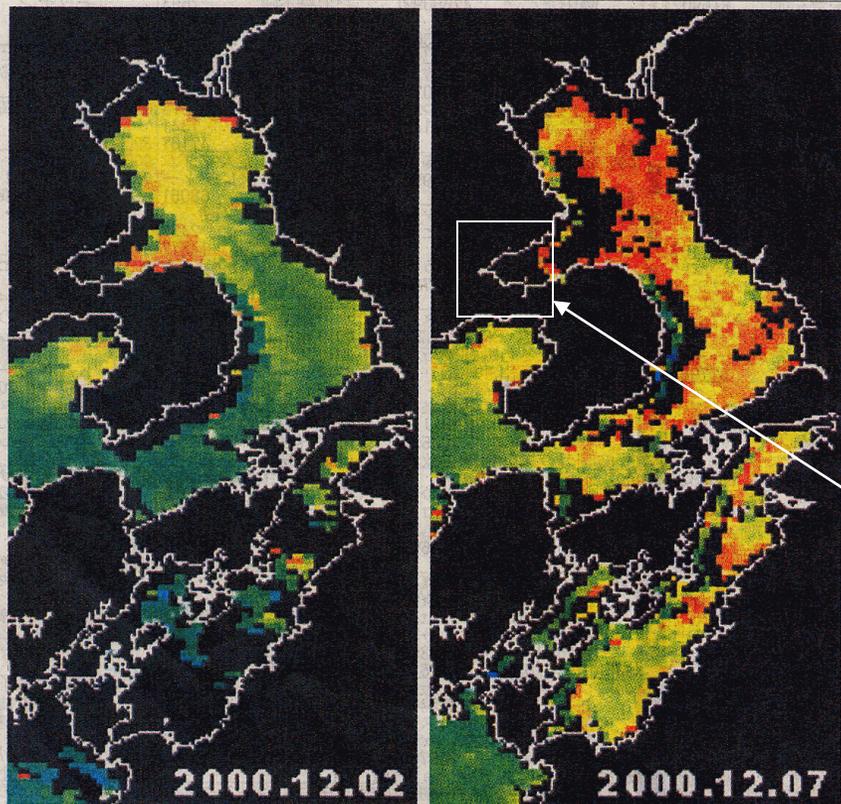
有明海でノリの色落ち被害が広がった昨冬の赤潮について、長崎大水産学部の石坂丞二教授(生物海洋学)と宇宙開発事業団は5日、海色観測衛星が観測した情報の解析画像を発表した。昨年11月から今年3月にかけてのデータから、赤潮は12月初めに諫早湾付近で始まったことが分かった。その後、数日うちに有明海全域で発生していた。

石坂教授は米国防空宇宙局が打ち上げ、米国の宇宙関連会社オーブジェー社と共同運用している衛星のデータを使用。海の反射光から葉緑素の濃度を分析することで、赤潮の原因となる植物プランクトンの分布を推定した。

昨年11月の画像ではほとんど赤潮がみられないが、12月2日には、諫早湾内でプランクトンの濃度が高くなっていた。7

衛星で分析

数日の間に有明全域で



日の画像では濃度の高い一り、今年3月初旬まで北沿岸域では、水の濁りな現地での調査と合わせて部分が有明海全体に広がると中心に続いていた。と精度は低くなるが、赤潮発生の実態に近いこ

赤潮は海水の富栄養などが原因で、主に植物プランクトンが増えることで発生漁獲の減少などの被害を引き起こす。

昨年12月2日の分布。有明海が濃度の高い赤色にしている提供。いずち石坂丞二長崎大教授

石坂教授は「広域カ月続いた状況からと、諫早湾のものが」と言っており、有明海全域で発生しやすかったのだらう。た諫早湾で最初に発生しているのは何らかのメズムが動いていること聞かない」と話している。

今後は96年以降のデータの解析を進め原因の手がかりにしたいと。

画像が国会で利用

諫早湾干拓地

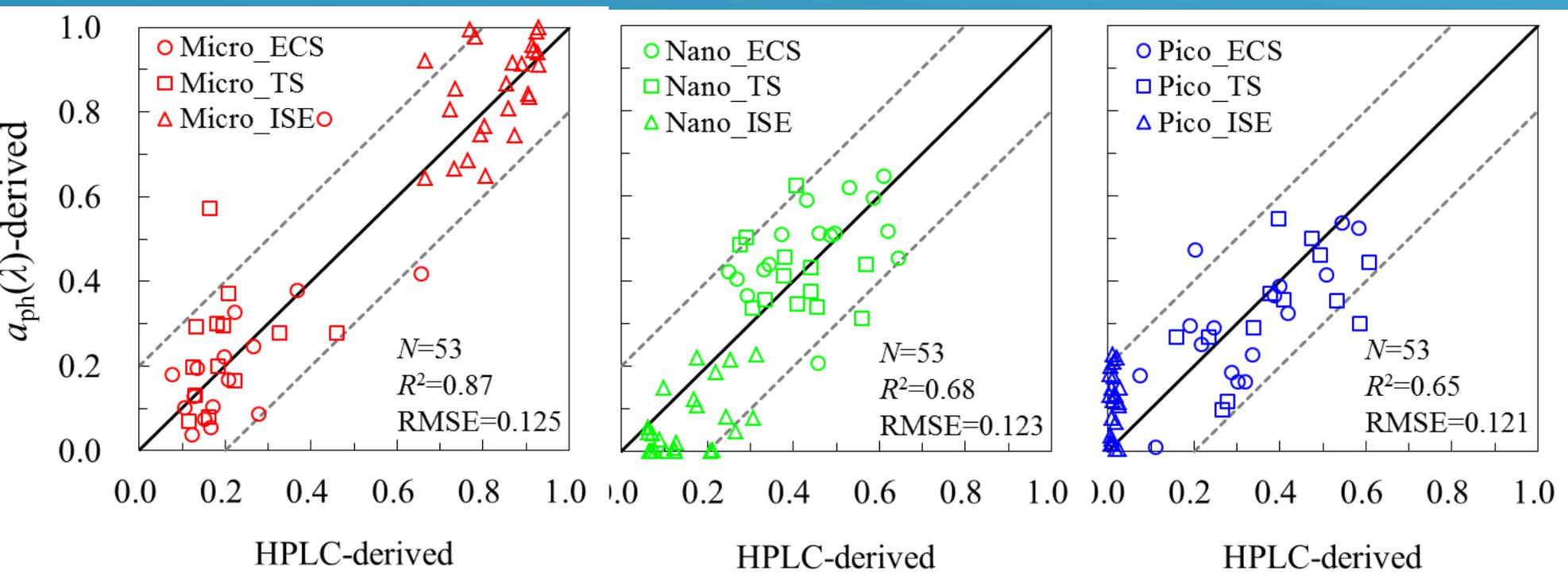
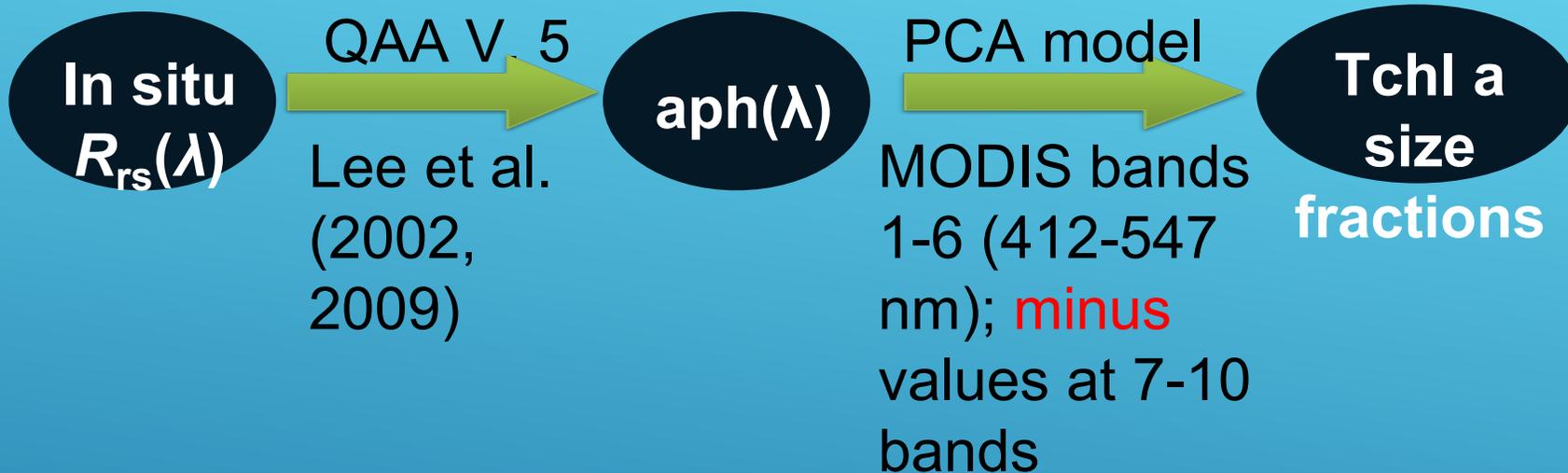
(Ishizaka et al. 2006)

朝日新聞
2001.11.6



有明海
佐賀タワー
AERONET-OC

Model validation in the ECS, TS and Ise Bay using *in-situ* $R_{rs}(\lambda)$ and HPLC

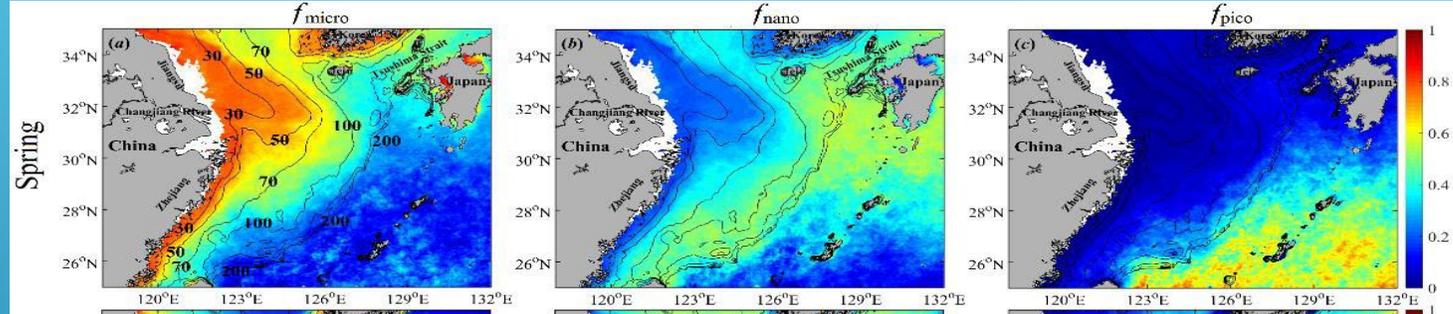


(Wang et al., 2014)

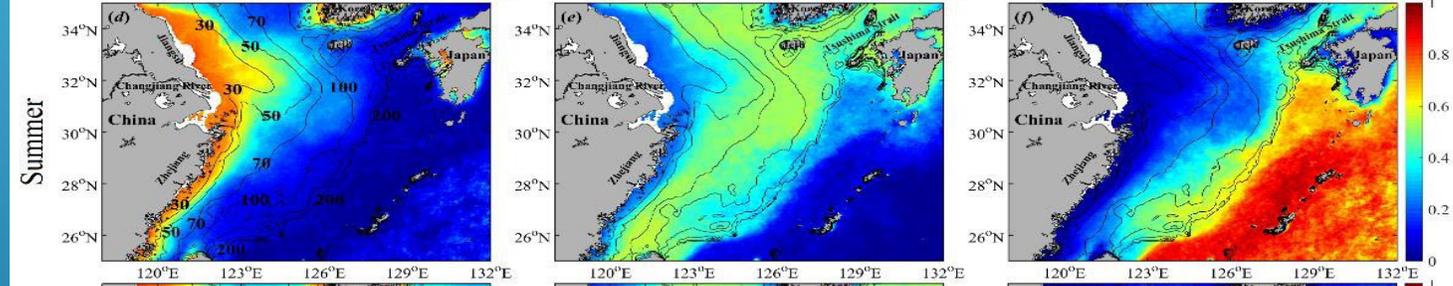
Phytoplankton Size in the East China Sea

Size Micro (大) > Nano (中) > Pico (小)

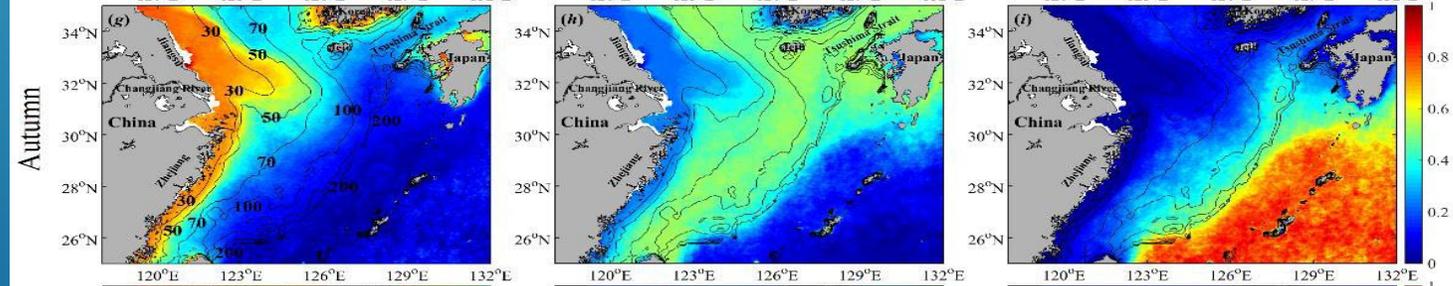
春



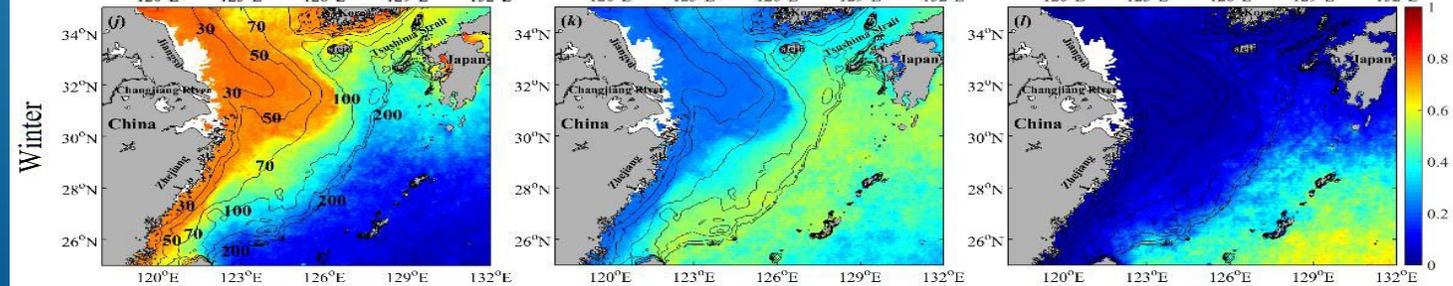
夏



秋



冬



(Zhang et al., 2018)

タイ 緑夜光虫

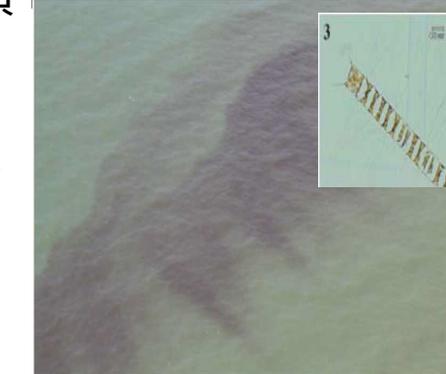
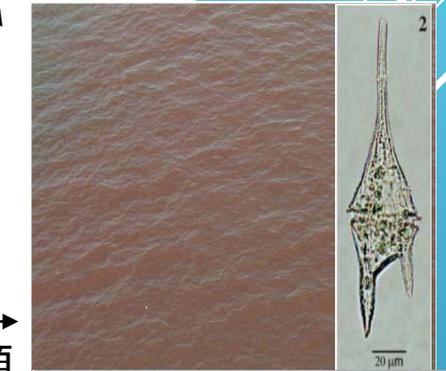
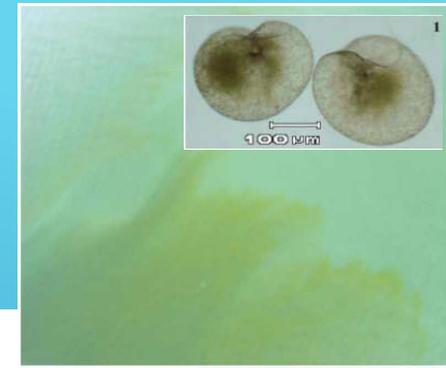
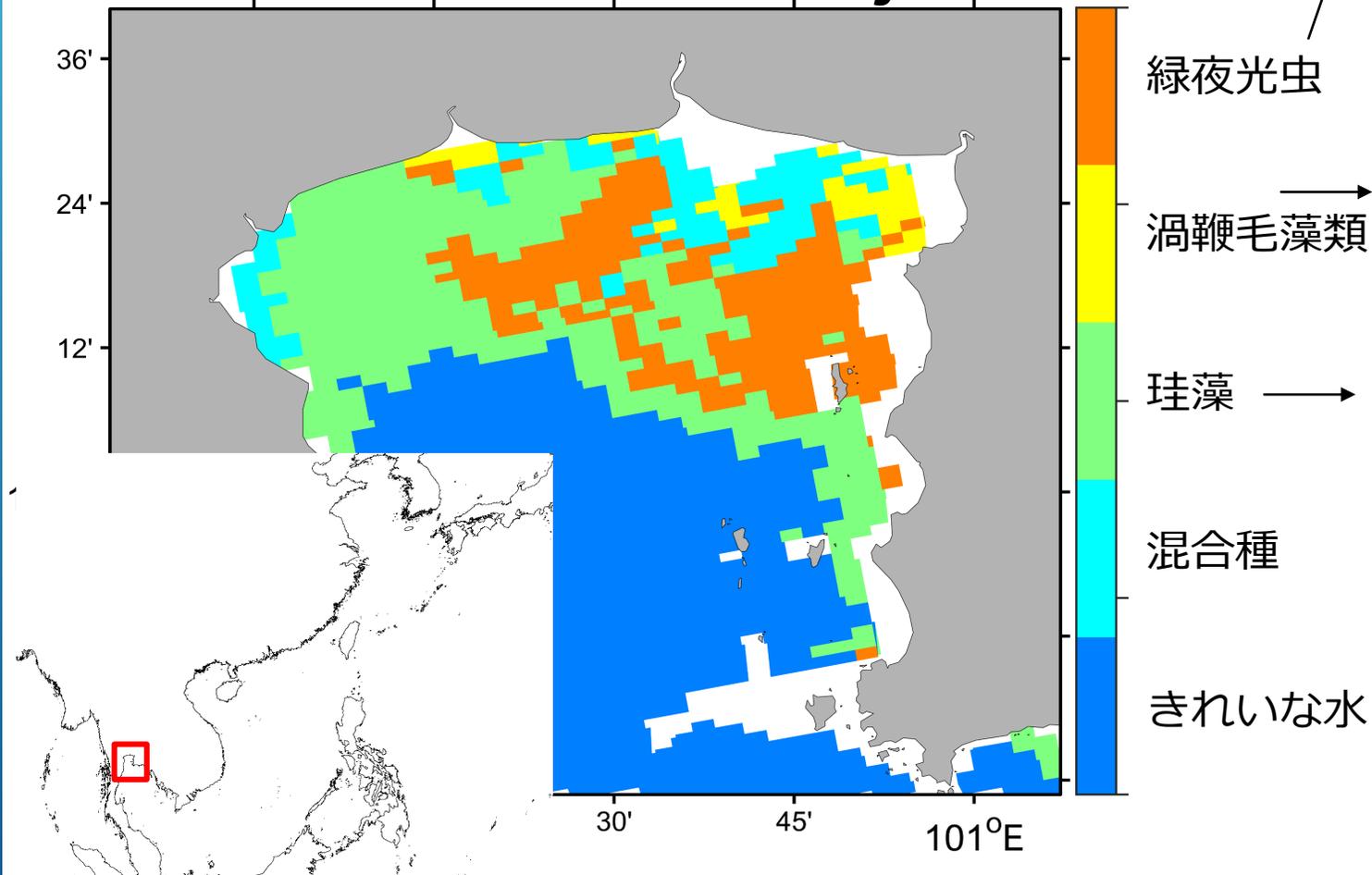


カセサート大学
カセサート II



台湾 赤潮判別

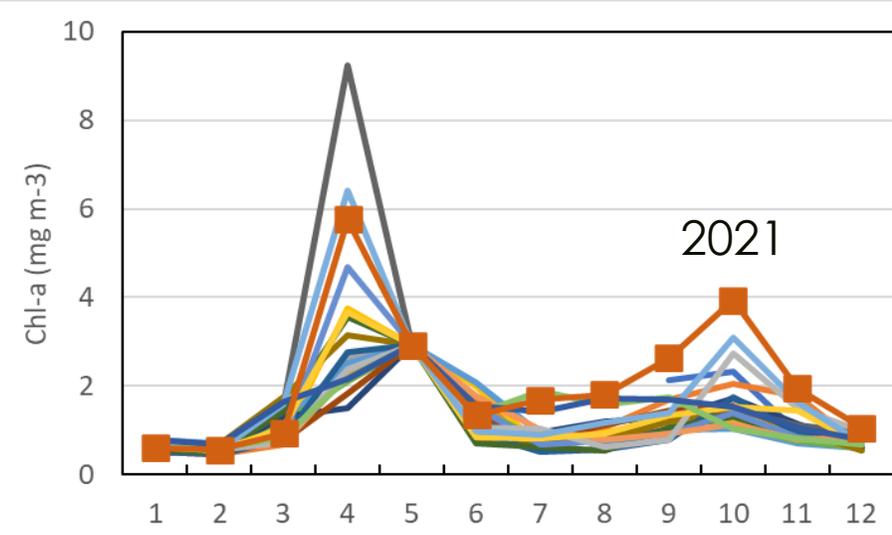
Level-2 MODISA: 17th July 2016



(Jutarak et al.
FMS-2023)

北海道沖

2018-2021年9・10月
SGLI 平均Chl-a

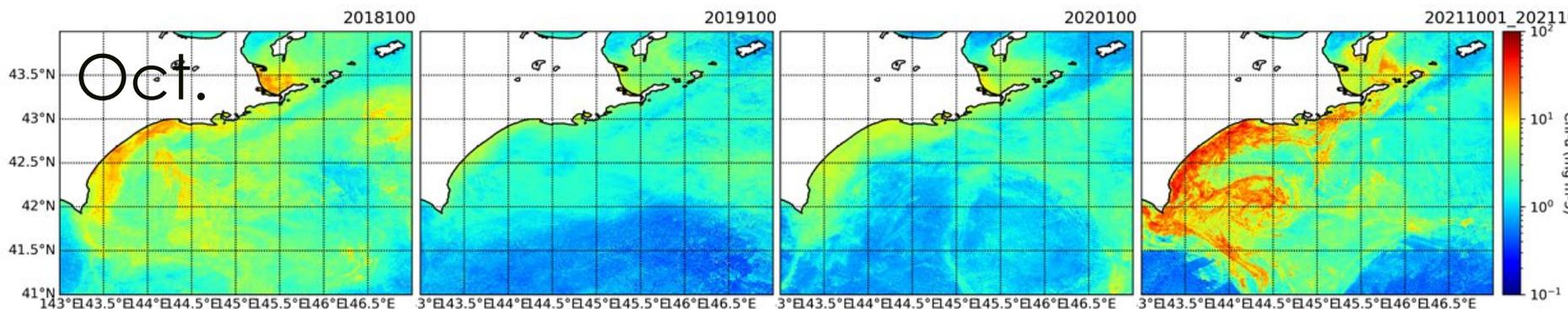
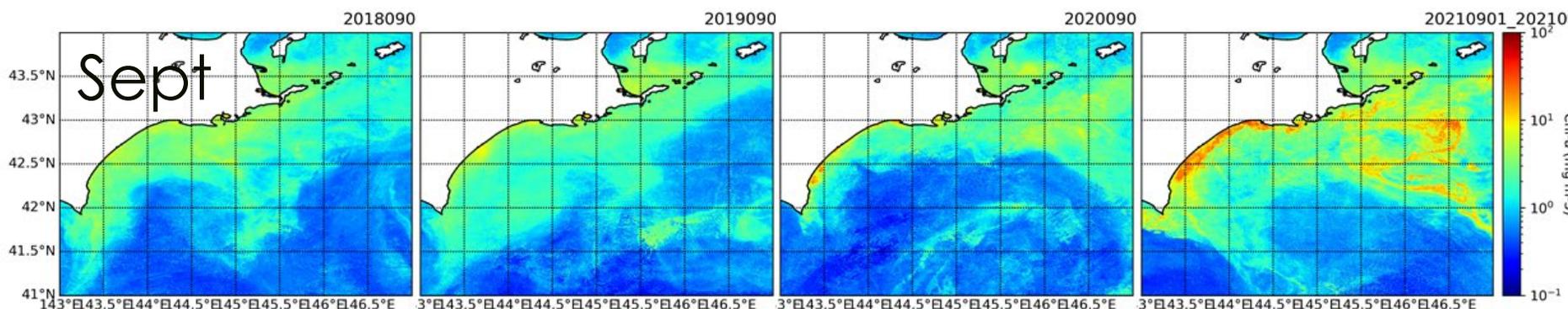


2018

2019

2020

2021



2002-2021年
MODIS
各月平均Chl-a

渦鞭毛藻類 Karenia属

<https://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/~marinelife-db/>

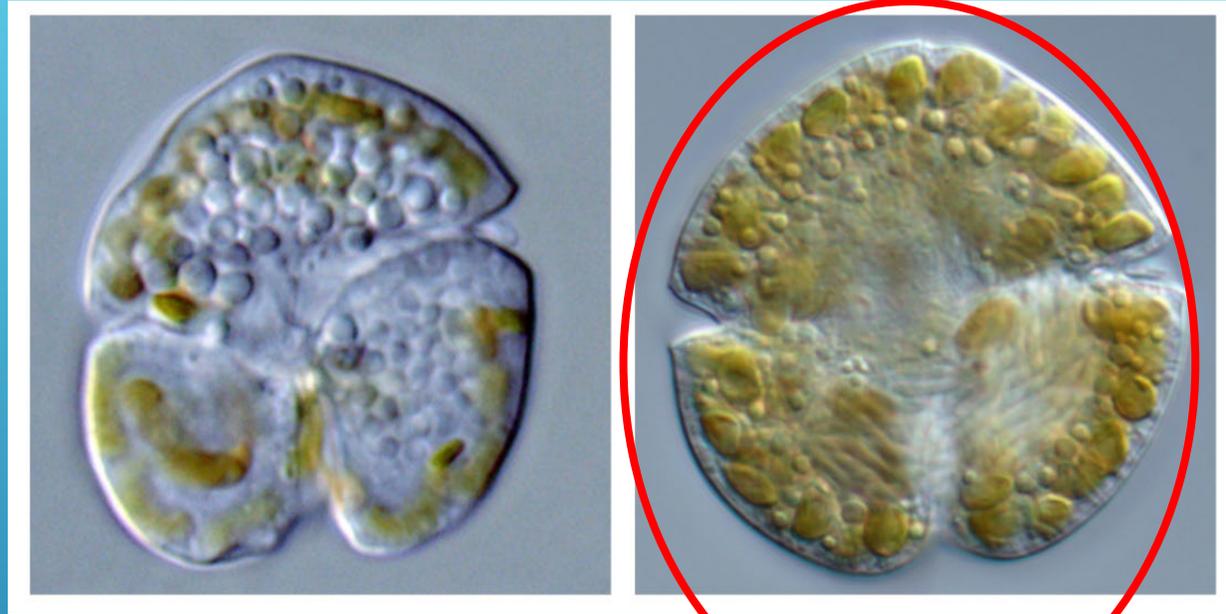


Chaetoceros debilis

Skeletonema costatum

西日本
東シナ海

北海道沖 2021
カムチャッカ 2020



K. mikimotoi

K. selliformis

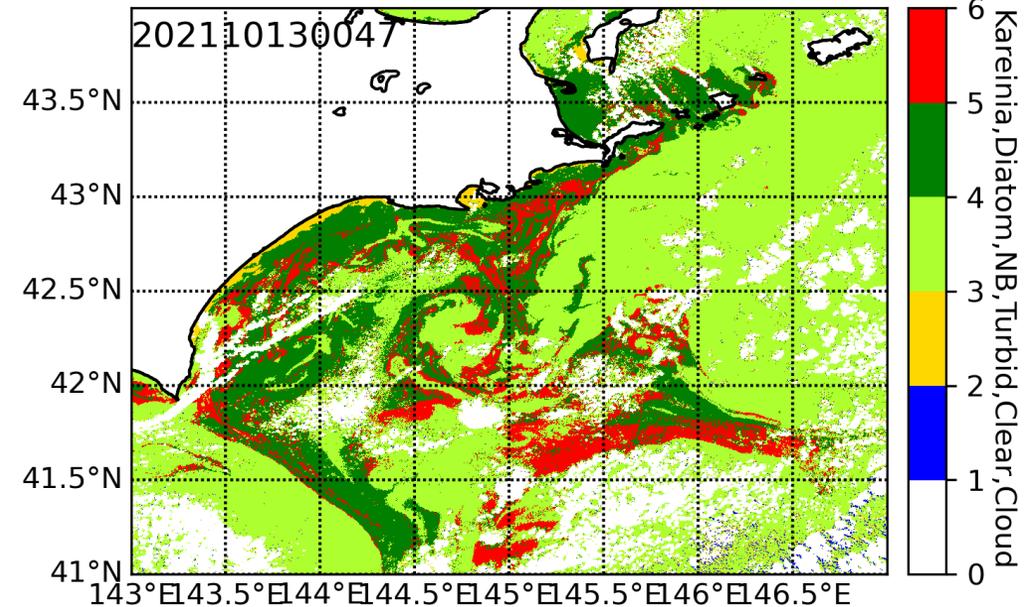
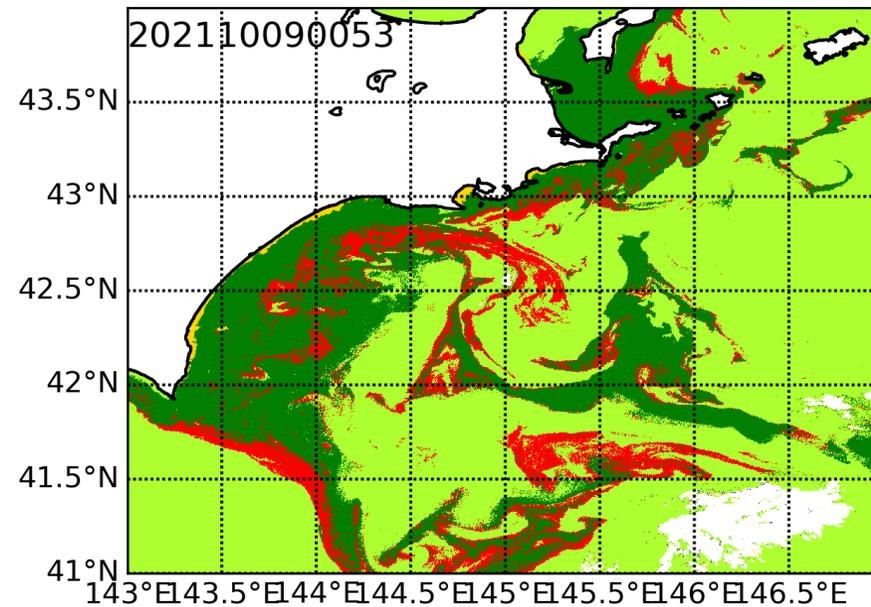
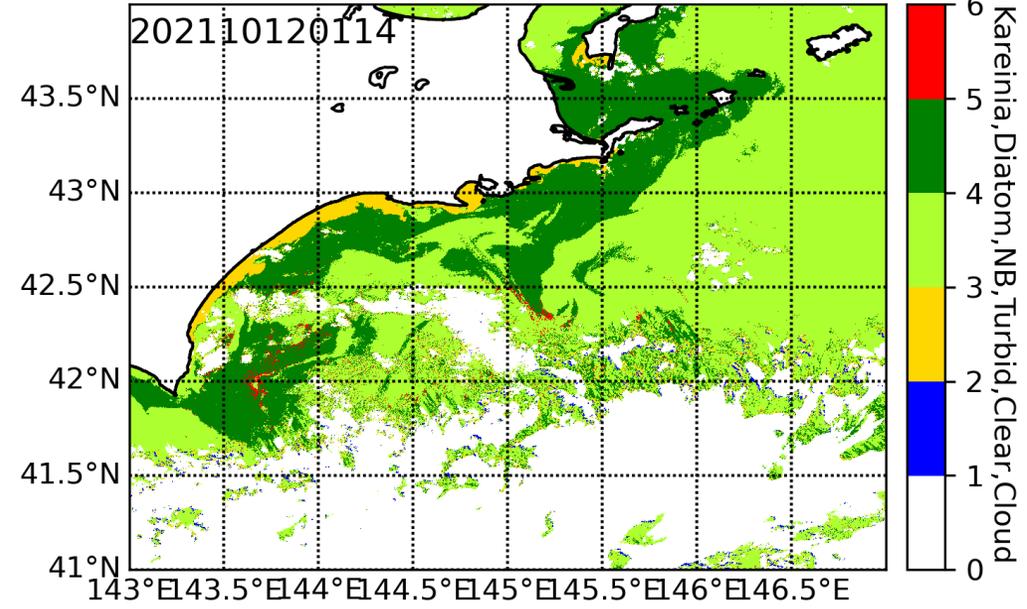
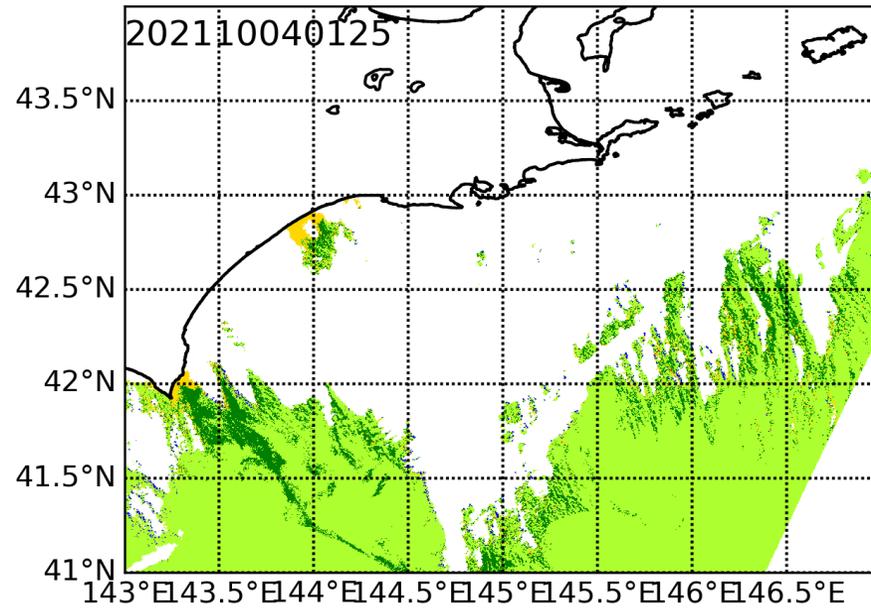
<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/88741>

山本 智之 写真：岩滝光儀

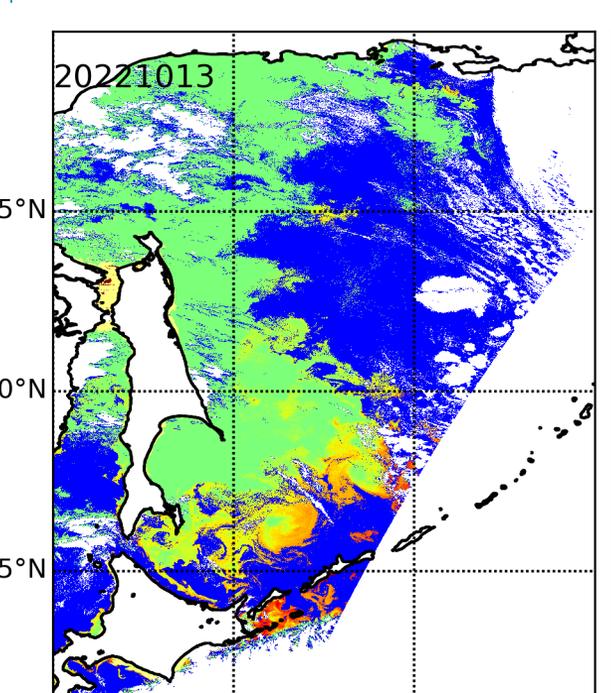
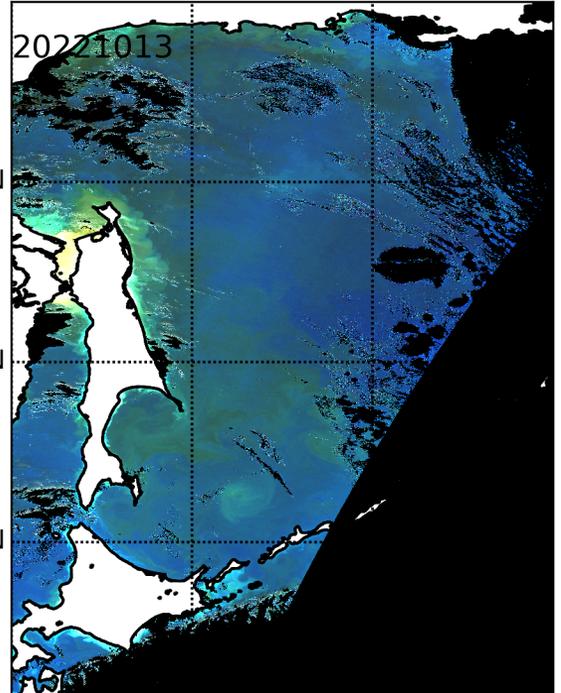
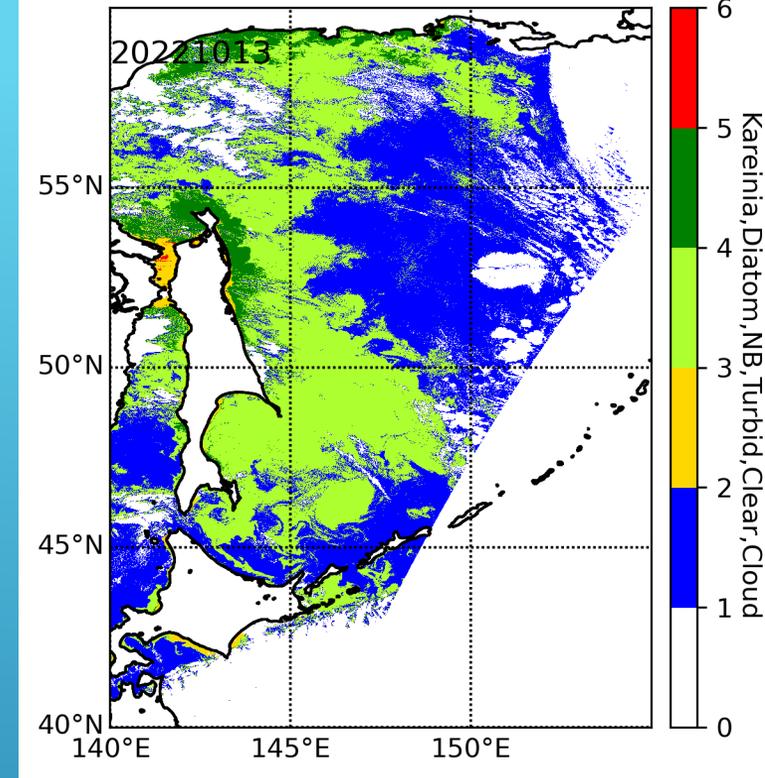
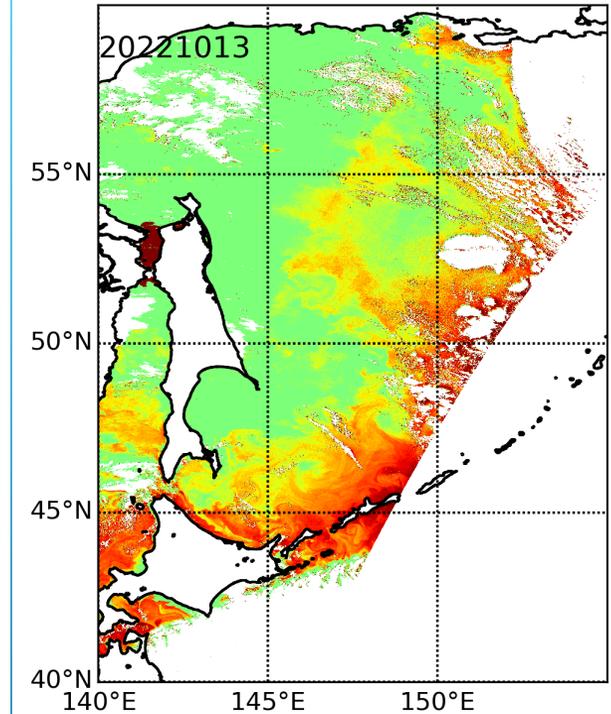
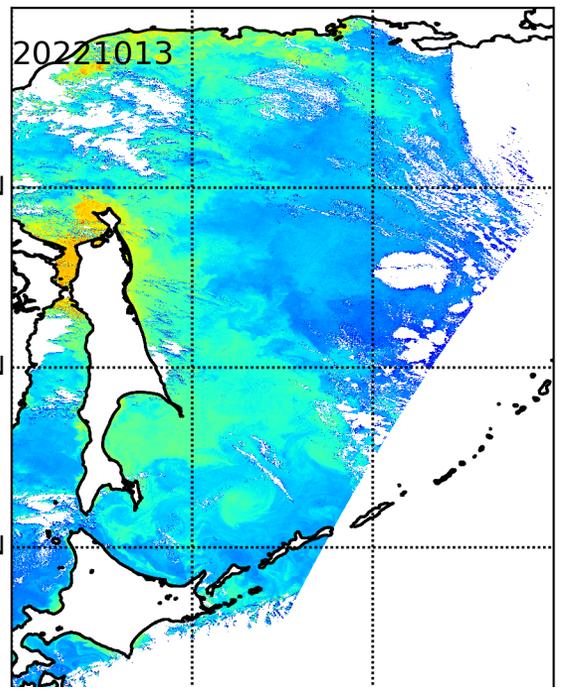
衛星で珪藻類と分別できるか？

202110

マッチアップ 時期 やや過小評価



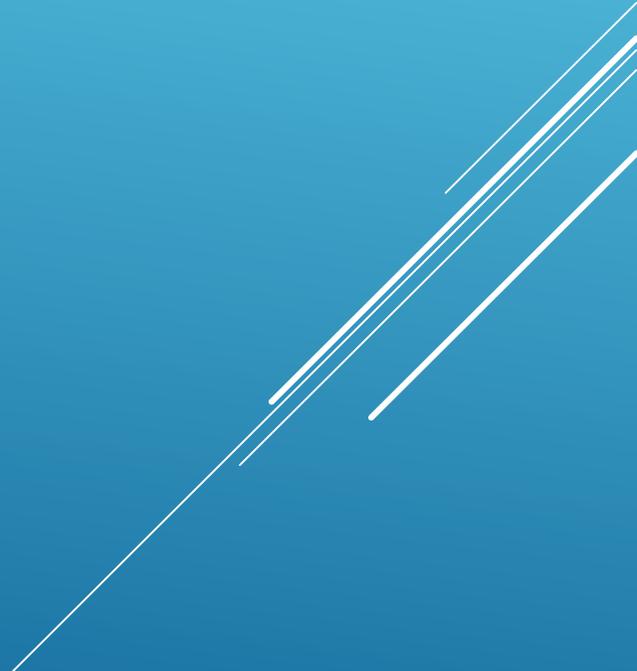
- K/D > 10
- K/D < 10
- Chl-a < 3
- Turbid
- Cloud



毎日
北海道水試に配信

RGB
OVERLAY:
CHL>1 BBP-INDEX

最後に（これから）

- ▶研究
 - ▶実利用
 - ▶人材育成
 - ▶国際協力
- 
- Decorative white lines consisting of several parallel diagonal strokes in the bottom right corner of the slide.

