

環境研究総合推進費課題【A-1002】

「日本海深層の無酸素化に関するメカニズム解明と将来予測」

(実施期間: H22~H24年度 累積予算額: 106,593千円 (H22: 38,001千円, H23: 36,101千円, H24: 32,491千円))

サブテーマ1: 溶存酸素濃度の高精度時空間マッピングによる日本海深層の無酸素化の将来予測 (独立行政法人海洋研究開発機構: 熊本 雄一郎)

サブテーマ2: 日本海深層における海水混合と水塊変質過程の解明 (九州大学応用力学研究所: 千手 智晴)

サブテーマ3: マルチトレーサーを活用した日本海底層水の起源推定と循環機構の解明 (独立行政法人国立環境研究所: 荒巻 能史)

サブテーマ4: 鉛直多層ボックスモデルを用いた日本海底層水の海水年齢と漸減する溶存酸素濃度の再現実験 (北海道大学大学院水産科学研究院: 磯田 豊)

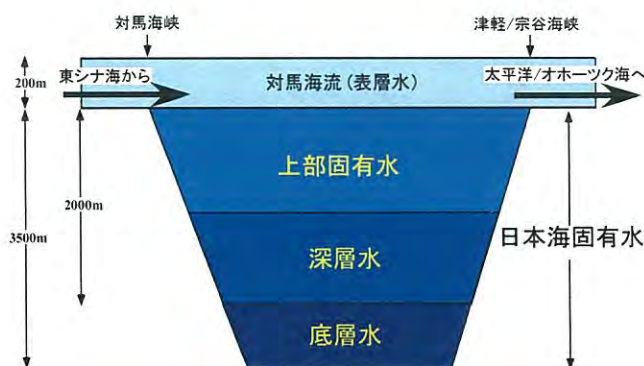
課題代表者 荒巻能史

独立行政法人国立環境研究所

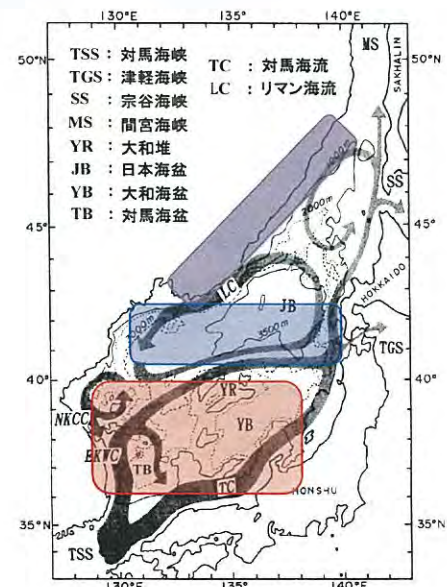
環境計測研究センター・動態化学研究室・主任研究員



研究の背景



- ・ 均質な水塊 (水温 0 - 1°C, 塩分 34.07 psu)
- ・ 外洋の深層水に比べて低温・高溶存酸素量
- 日本海内部で独自に形成される



日本海は外洋と同様の海水循環機構を持つ

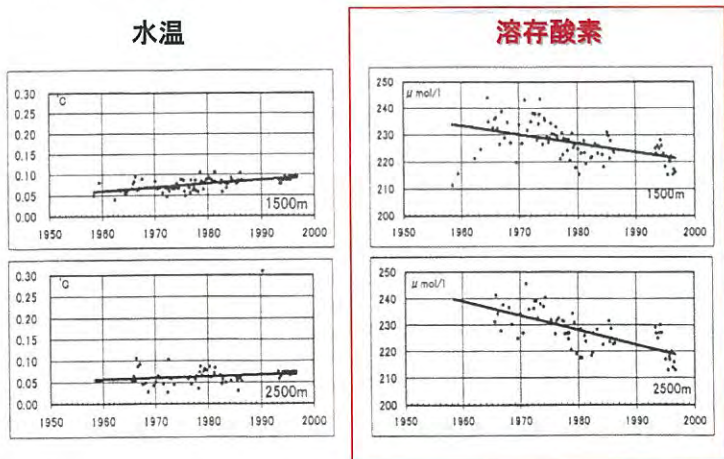
→ 「ミニチュア大洋」, 「海洋研究の実験場」

(日本海の深層循環の速度は、海洋大循環(～2000年)のおよそ20分の1と推測されている)

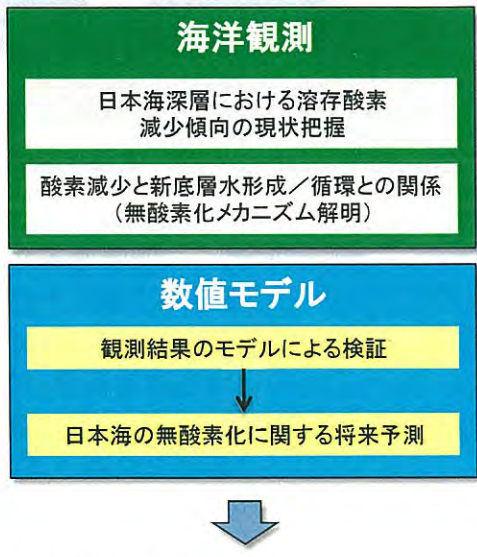


研究の目的

日本海固有水中の水温・溶存酸素の長期変動



Minami et al., 1999



<科学・技術的貢献>

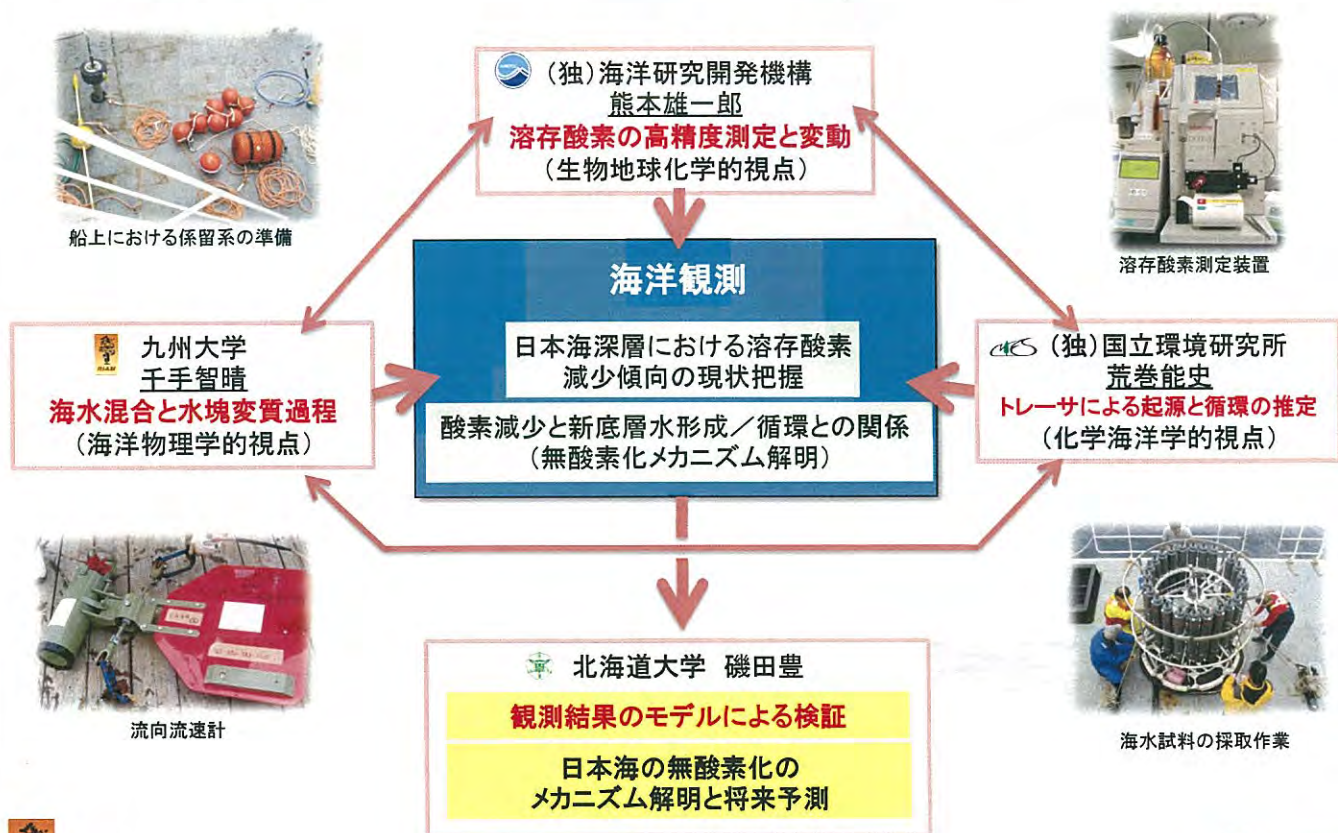
- 海洋大循環の停滞に伴う海洋環境変動など
温暖化影響予測モデルへの貢献

<社会・経済的貢献>

- 温暖化の緊急性に関する情報発信
- 温暖化問題に対する国民への啓蒙



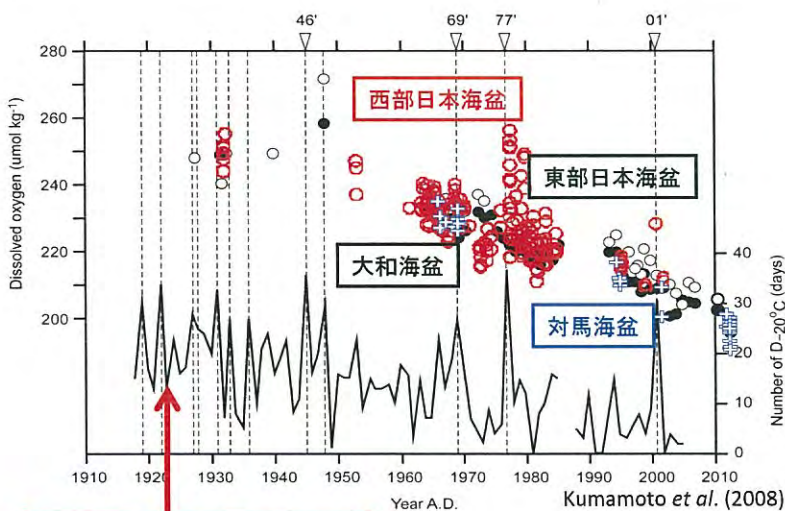
研究体制と研究概要



本研究により得られた主な成果



現在までの溶存酸素減少傾向の把握

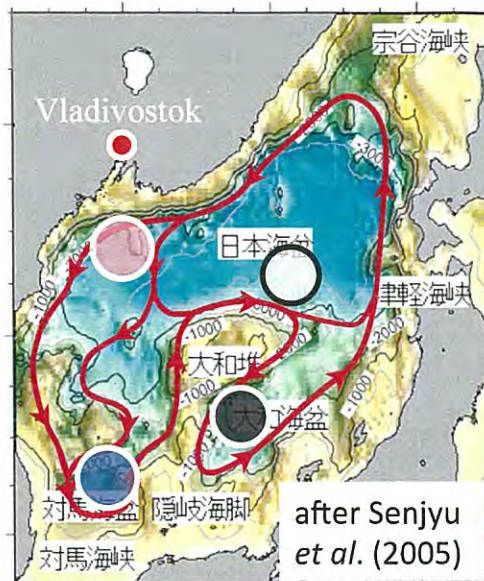
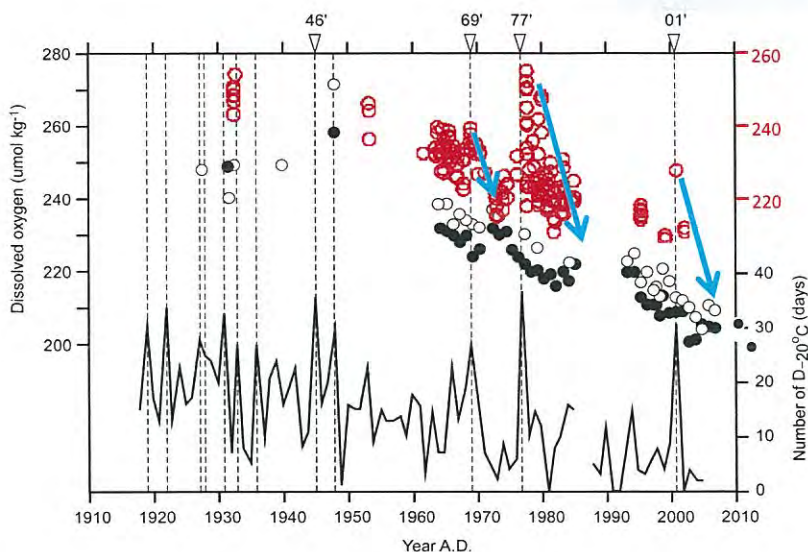


ロシア・ウラジオストク市で観測された厳冬日の日数



東部日本海盆、大和海盆のみならず、西部日本海盆、対馬海盆の底層水においても溶存酸素濃度が長期的に減少していることを確認した





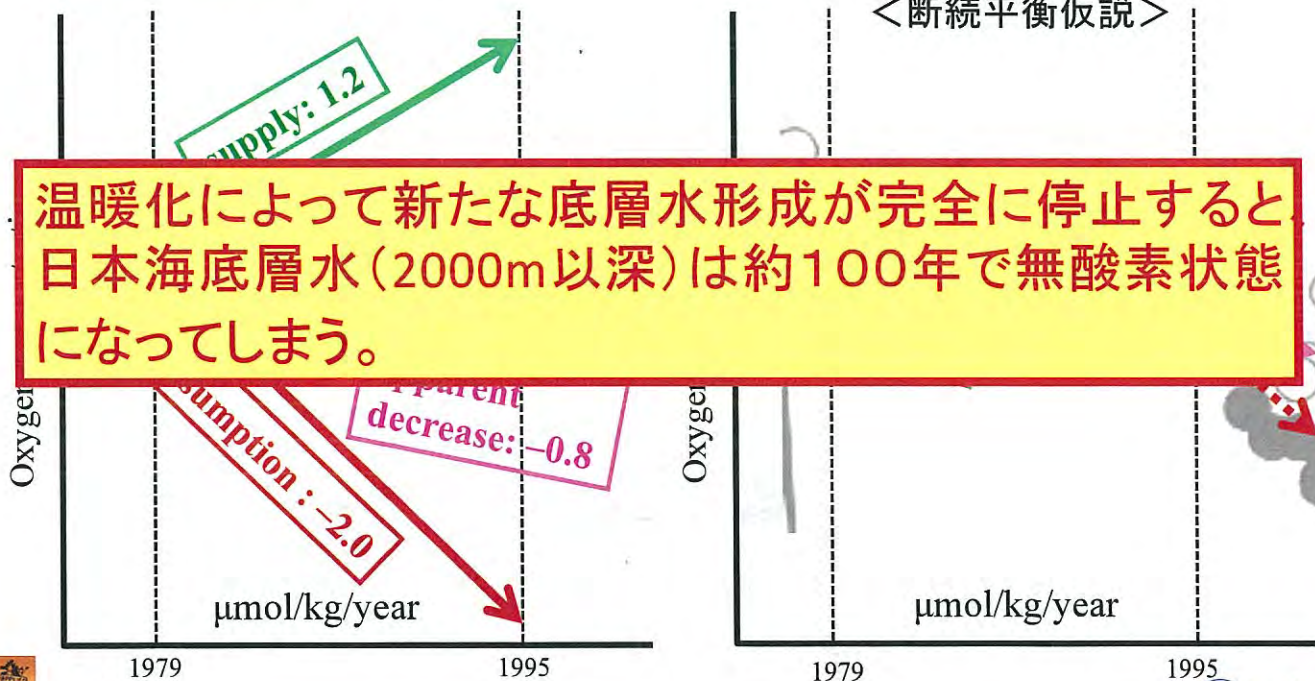
断続平衡仮説: 日本海底層水中の溶存酸素は、**厳冬期にのみ(間欠的)に西部日本海盆における「新」底層水形成によって供給される。**「新」底層水は、反時計回りの底層循環に沿って、**数年程度遅れて大和海盆、東部日本海盆に移動する。**新たな酸素供給が無い期間は、溶存酸素は有機物の分解によって消費され減少する。



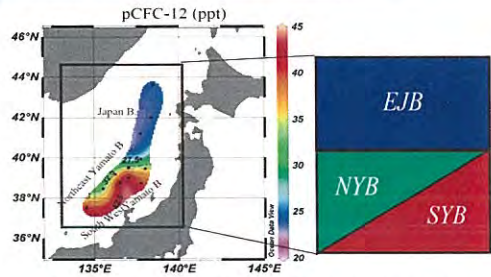
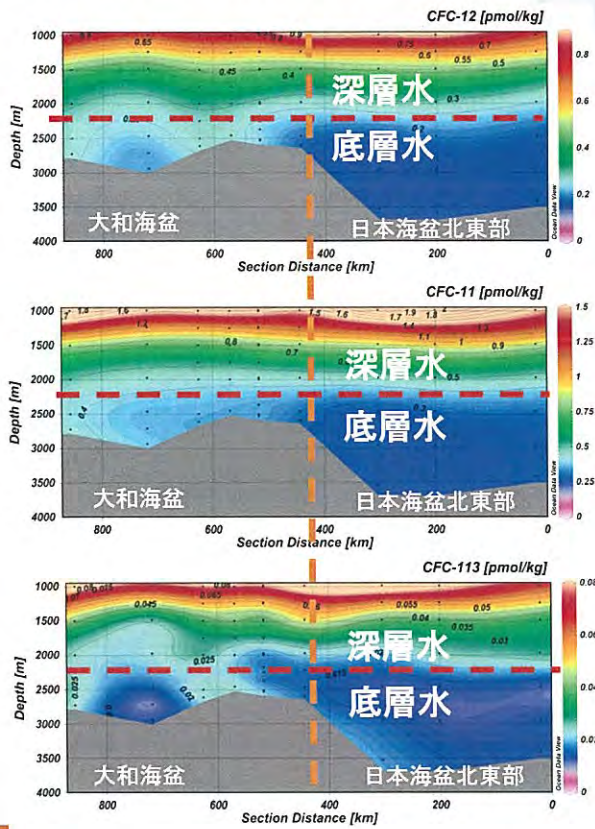
- (1) 1979年～1995年間の核実験起源炭素14の増加量から、その期間中の「新」底層水の形成量、溶存酸素の供給量を求めた。
- (2) 1979年～1995年間の見かけの酸素減少量から、その期間中の「真」の酸素消費速度を求めた。

<断続平衡仮説>

温暖化によって新たな底層水形成が完全に停止すると日本海底層水(2000m以深)は約100年で無酸素状態になってしまう。



CFCsによる熱塩循環弱化的の定量化



底層水の水平的な濃度勾配を発見

1930~2011年の間に表層水が深層水と底層水にそれぞれ取り込まれた割合(1年あたりの表層水の深・底層水への寄与率、%/年)を数値計算から見積もった

	深層水		底層水	
	1975年以前 (%/年)	1975年以降 (%/年)	1975年以前 (%/年)	1975年以降 (%/年)
日本海盆	1.10	0.33	0.31	0.13
大和海盆北部域	1.21	0.27	0.47	0.14
大和海盆南部域	1.68	0.35	1.04	0.16

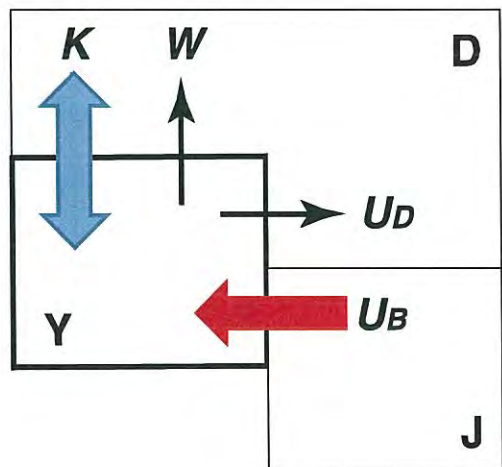
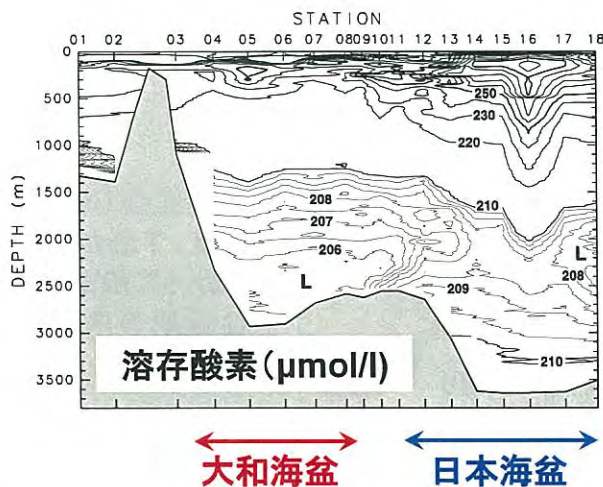
1975年以降、底層水形成速度がそれ以前の15~40%にまで激減



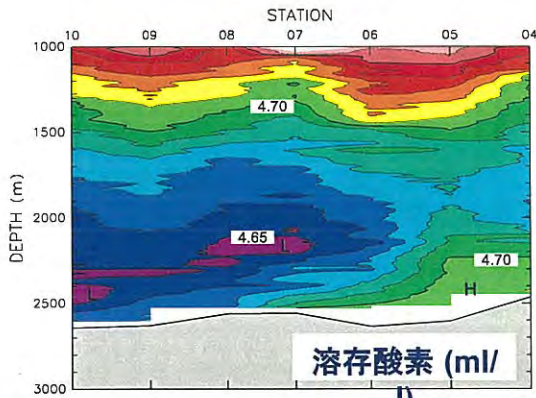
日本海深層の昇温と溶存酸素量の漸減

→ **深層水の形成が停滞している状況での水塊変質過程**

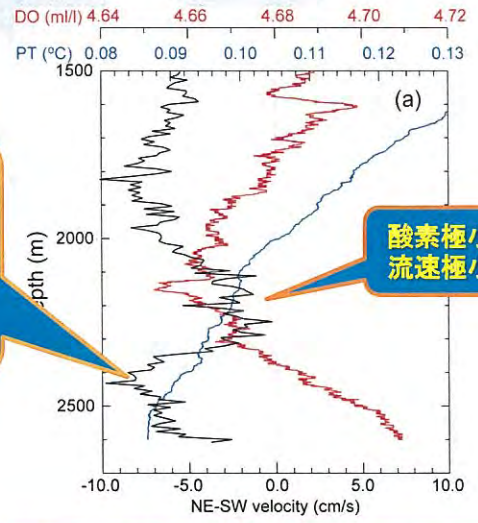
- 日本海盆—大和海盆間の底層水交換過程
- 深海における鉛直拡散係数とそれに寄与する物理過程



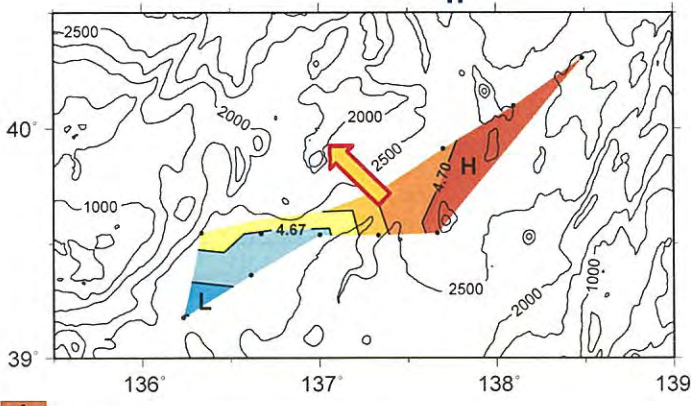
日本海盆—大和海盆間の底層水交換過程



高酸素な日本海盆底層水と大和海盆に向かう強い南西流



酸素極小 流速極小

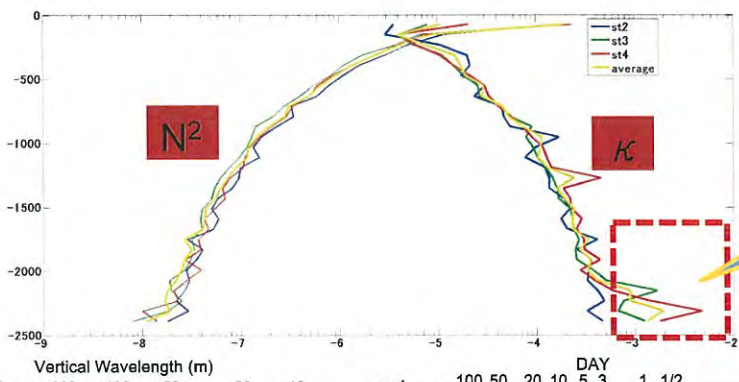


地球自転の影響を受けた密度流

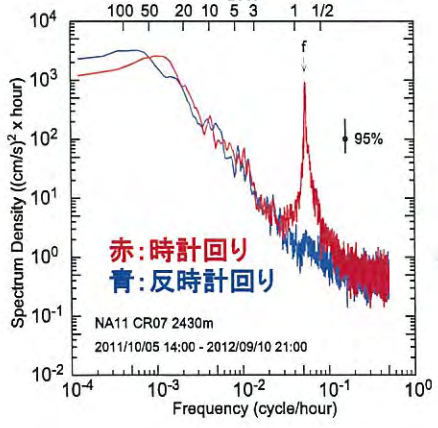
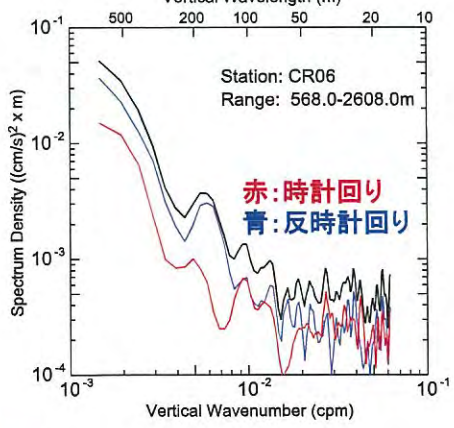
長期係留観測による日本海盆底層水のフラックス
 $\sim 5.31 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$



深海における鉛直拡散係数とそれに寄与する物理過程



日本海深層における鉛直拡散係数 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$



鉛直波長150~200m程度、下層から上層に向かって伝播する近慣性周期の内部重力波を示唆



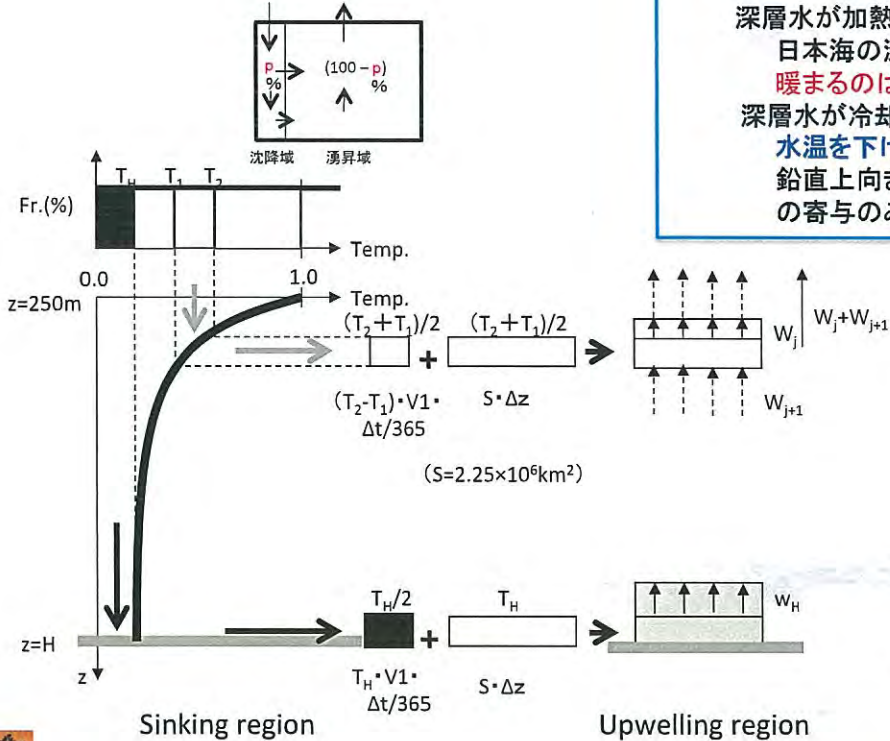
モデルによる日本海深層水の再現実験

第一次近似として、
密度場は水温場のみ依存すると仮定した単純モデル

「深層水は暖まるから、海面冷却水は沈み込める」

深層水が加熱される要因：
日本海の深層は閉じているので、
暖まるのは上方からの鉛直熱拡散のみ

深層水が冷却される要因：
水温を下げるのは底のみで、底以外は鉛直上向き流による低温水の移流としての寄与のみ



湧昇域における水温Tの鉛直一次元(z,t)モデル

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = Kz \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

w(z)は時間履歴の中で適宜決定されるモデル

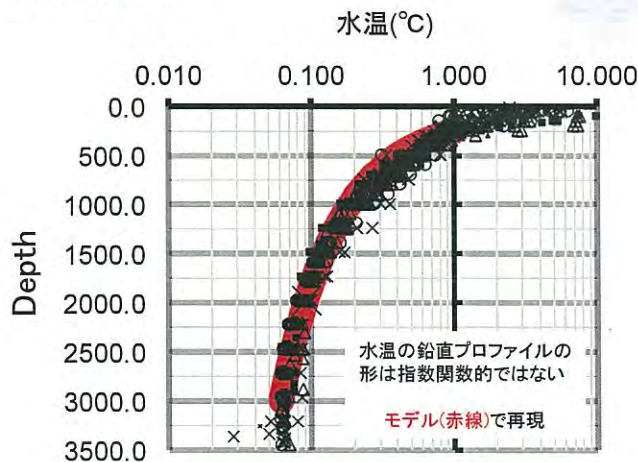
境界条件 $T(250m, t) = 1^\circ C$

計算条件 $\Delta t = 1d, \Delta z = 10m$
初期値は全水深 $T(z, 0) = 1^\circ C$
とし、5000年～10000年の定常計算

未知のパラメータ：
沈降率 p と鉛直拡散係数 Kz



モデル検証

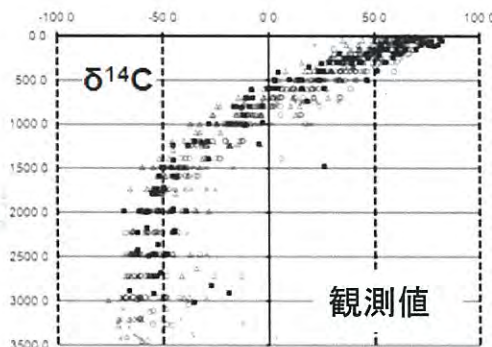
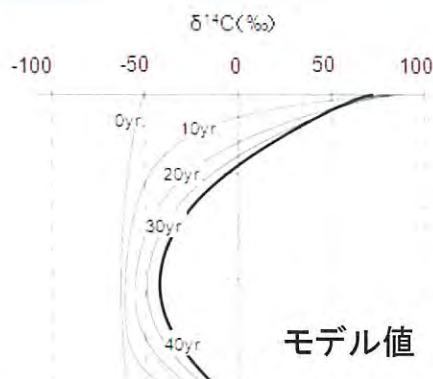


再現できたモデルのパラメータ

鉛直拡散係数: $Kz = 2.0 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$
年率沈降水量: $p = 4.0 \text{ \% yr}^{-1}$

このp値は流量1.3Svに相当

物理・化学観測の結果と一致



研究成果の普及

2013年度日本海洋学会春大会 シンポジウムI
 日本海および周辺海域でいま進みつつある環境の変化：
 その驚くべき事態に迫る！

主催：日本海洋学会
 コーディネーター：荒巻 龍史(環境研)・蒲生 俊敏(東大大気海洋研)・
 千手 智晴(九大応力研)・中野 俊也(気象庁)
 日時：2013年3月25日(月) 10:00-17:00
 会場：第3会場(東京海洋大学品川キャンパス 講義棟32番教室)

趣旨

日本海は、亜熱帯・亜寒帯循環や独自の熱塩循環を持つ世界でも希有な緑海であることから「ミニチュア大洋」とも呼ばれており、海洋研究のための格好の“実験場”としての側面を持ち合わせる。しかしながら、日本のほかロシア、韓国、北朝鮮に囲まれた海域であるために総合的な観測や研究が進まない状況にあった。1990年代半ばに入り日韓露露が参加したCREAMSを契機に、各国が共同研究を実施するなどして、この十年あまり、日本海やその周辺海域の環境に関する研究が盛んに行われるようになってきた。近年、日本海では地球温暖化の影響と考えられる深層海水の水温上昇や溶存酸素量減少が報告されており、IPCC第4次評価報告書でも「注目すべき海域」として紹介されている。一方、表面に目を向けると、成長著しい中国や近代化が進む東南アジア諸国で生産・排出された環境汚染物質が、黄砂等の大気経路のほか対馬海峽を通して黄海や東シナ海から、私たち日本人が暮らす広い地域に越境輸送されている現状がある。本シンポジウムは、日本海の環境変化をキーワードとして海洋学にとらわれずに幅広い分野の研究者に話題を提供して頂き、私たち日本人にとって最も身近な海のひとつである日本海の現状と将来について深く考える場としたい。

日本海洋学会主催シンポジウムを企画

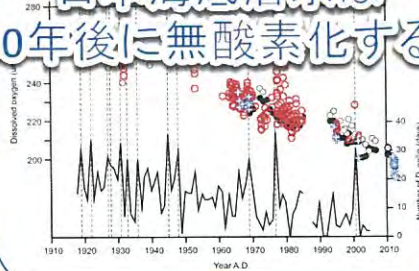
2013年3月25日(月)開催予定

本研究サブテーマ課題4件のほか、「日本海の環境変化」をキーワードに国内の研究者が一同に介する。シンポジウムは学会員のみならず、一般の方の来場も可能。



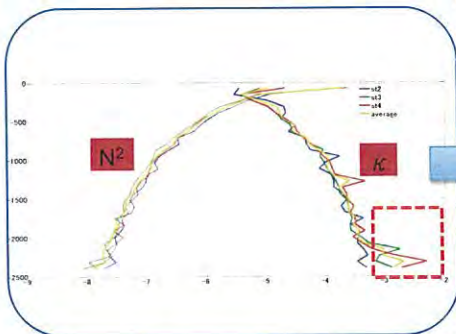
研究成果のまとめ

日本海底層水は100年後に無酸素化する？



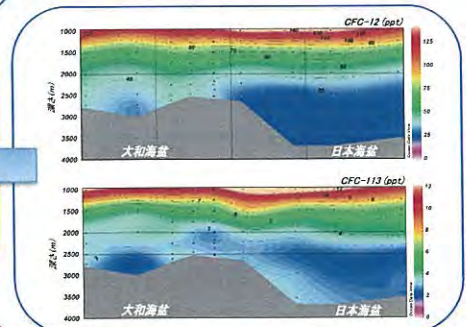
溶存酸素消費速度
 2.0 μmol/kg/yr
 現在の底層水中の溶存酸素濃度：
 195~200 μmol/kg

世界初
 鉛直拡散係数の直接計測



鉛直拡散係数: $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
 深層において下層から上層に向かって伝播する近慣性周期の内部重力波が存在

直近40年で底層水形成量が激減

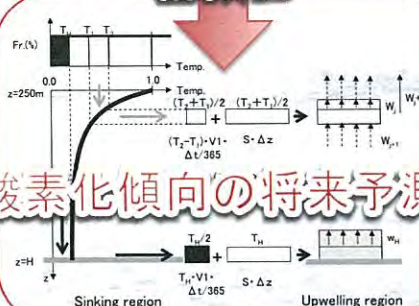


世界初
 CFCs, SF₆の同時定量法を開発

- ・底層水形成量1975年以降、それ以前に比べて15~40%にまで減少
- ・海域によって異なる減少傾向

日本海深層における溶存酸素減少傾向の現状把握
 無酸素化メカニズム解明
 (酸素減少と底層水形成・循環との関係)

精緻化



無酸素化傾向の将来予測へ

