

機関番号	研究種目番号	審査区分番号	細目番号	分割番号	整理番号
10101	04	1	2001		0002

## 平成22年度 (2010年度) 基盤研究 (A) (一般) 研究計画調書

平成 21 年 11 月 2 日  
0 版

### 新規

研究種目	基盤研究(A)	審査区分	一般				
分野	複合新領域						
分科	環境学						
細目	環境動態解析						
細目表 キーワード	化学海洋						
細目表以外の キーワード	大気海洋物質循環						
研究代表者 氏名	(フリガナ)	ワタナベ ユタカ					
	(漢字等)	渡辺 豊					
所属研究機関	北海道大学						
部局	地球環境科学研究科 ( 研究院 )						
職	准教授						
研究課題名	海洋の気体交換フィードバックシステムと生物生産応答に関する研究						
研究経費 〔千円未満の 端数は切り 捨てる〕	年度	研究経費 (千円)	使用内訳 (千円)				
			設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成22年度	17,850	8,500	5,500	950	500	2,400
	平成23年度	20,100	3,000	11,000	3,000	500	2,600
	平成24年度	11,900	0	5,500	4,200	500	1,700
	平成25年度	0	0	0	0	0	0
	平成26年度	0	0	0	0	0	0
	総計	49,850	11,500	22,000	8,150	1,500	6,700
開示希望の有無	審査結果の開示を希望する						
研究計画最終年度前年度応募	--						



**研究目的**

本欄には、研究の全体構想及びその中で本研究の具体的な目的について、冒頭にその概要を簡潔にまとめて記述した上で、適宜文献を引用しつつ記述し、特に次の点については、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。(記述に当たっては、「科学研究費補助金(基盤研究等)における審査及び評価に関する規程」(公募要領 56 頁参照)を参考にしてください。)

研究の学術的背景(本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ、応募者のこれまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯、これまでの研究成果を発展させる場合にはその内容等)

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

**研究目的(概要):**本申請は、全球・北太平洋の気候・海洋循環・物質循環に大きな影響を与える北太平洋高緯度海域の表層混合層の炭素・窒素循環変動と、そのフラックスの時空間的に高分解能・高精度な定量化、ならびに、これらに対する生物生産応答の評価をすることを目的とする。以下の3つの柱で研究を進め、その定量化・定式化ならびに評価を目指す。

(1)海洋の窒素・炭素を用いた気体交換システムと生物生産応答のための新規見積り法の開発・提案、(2)溶存気体高頻度採水用システム(溶存気体採水用曳航体)の開発と実証試験、(3)モデル海域における高精度な炭素・窒素気体交換システムとそのマッピングと定量化・総合的評価を実施する。

……海水中の栄養塩(硝酸塩、リン酸塩)は海洋植物プランクトンの生存にどうも欠かせないものであり、その生物活動によって固定された炭素・窒素の循環を制御する役割を担っている。特に、高緯度海域は、生物生産・大気とのCO<sub>2</sub>の出入り・窒素循環の物質バランスの観点で、低・中緯度海域に比べて1から2桁以上の大きさを持っている(例えば、Takahashi, Yoshikawa et al., 2009)。さらに大気と接した高密度海水が海洋内部へ潜り込み、数十年から数百年の時間規模で大気から炭素・窒素を隔離させる点で、生物地球化学的物質循環において大きな役割を担っている(例えば、Sarmiento and Gruber, 2006; Watanabe et al., 2001)。

現在、地球温暖化・気候変動により、これらの領域は著しい物質循環変動を受けていることが報告されている。炭素についてみると、海洋循環の急激な弱まりによって、海洋への人為起源CO<sub>2</sub>吸収量が減るとともに、深海で再無機化され海洋表層から大気へ放出されるはずの天然CO<sub>2</sub>が大気へ放出されず、海洋内部へ留まってしまっていること(例えば、Watanabe et al., 2001, 2008; Ono et al., 2001, 2008; Wakita, Watanabe, Ono et al., 2005)、大気中CO<sub>2</sub>増加に伴い海洋の酸性化が外洋域では進行し(Midorikawa, Yoshikawa, et al., 2006)、大陸縁辺部・沿岸域ではその大陸-海洋の相互作用により逆に抑制されること(Watanabe, Nishioka, et al., 2009)が示唆されているが全海洋的にどのようになるかは未だ不明である。さらに、海洋内部から栄養塩供給が減少し、植物プランクトンが小型化へ向かう生物シフトが起こり、生物由来の急激な物質循環変動、例えば、海洋表層から大気への地球温暖化抑制物質DMS放出量の増加、酸性化によるCaCO<sub>3</sub>溶解増加によるCaCO<sub>3</sub>生物の死滅、酸性化に伴うFe溶解量増加に伴う生物生産量増加が起こる可能性などが指摘されている(例えば、Chiba et al., 2004; Orr et al., 2005; Watanabe, Ono et al., 2006; Watanabe et al., 2008; Ishida, Watanabe et al., 2009; Andreev et al., 2009)。

一方、炭素とともに物質循環制御因子として働くのが窒素である。海洋平均として栄養塩の硝酸塩とリン酸塩の存在比は16で、低緯度海域ではこの値より高く、高緯度海域では低い(例えば、Anderson and Sarmiento, 1994)。このことは、高緯度海域では、硝酸塩が不足がちであることを示している。近年の海洋循環の弱化により、海洋表層から深海への酸素供給量が低下し、深海では酸素のかわりに硝酸塩を使って有機物の分解が進む脱窒反応が活発になる可能性がある。海洋循環が弱りつつある今、ますます、深海ではさらに窒素不足が進行し、海洋全体として、窒素循環の収支の不均衡がおこる可能性がある。この不足を補うため、大気から海洋へ窒素固定が促進され、窒素循環が生物活動の主律速因子となりとなることは間違いない(Watanabe et al., 2008)。実際、海水中の硝酸塩がオホーツク海や北太平洋高緯度域で急激に減りつつあることが報告され、窒素固定が進み、大気からのCO<sub>2</sub>吸収を促進していることが報告されている(例えば、Watanabe et al., 2008; Ono et al., 2008; Watanabe, Nishioka et al., 2009)。しかし、その窒素循環変動の影響の定量的評価を炭素循環と同時に取扱いことは必須の研究であるにもかかわらず、未だ行われていない。

特に、全球・北太平洋の気候・海洋循環・物質循環に大きな影響を与える領域は、縁辺海を含めた北太平洋高緯度海域である。同海域は、人為的影響を受けやすい大河川・アムール川と、温暖化・炭素窒素循環変動に敏感な広大な海洋大陸棚を有している。このため、全球の炭素・窒素循環研究をするうえでは、同海域での研究が不可欠である。特に、温暖化による海洋の弱化が進む現在、大気・海洋間を通じた物質循環の挙動をとらえ、それに伴う生物応答の定量化が必須である。これらが、現在進みつつある物質循環変動に対して、負のフィードバック効果(例えば、深海からの再無機化炭素の大気放出の抑制、窒素固定、生物種変動による生物の窒素取り込み量の変化など)として働き、これらの変動に対する復元力となっている可能性がある。これらの大気と海洋の相互作用を捕らえるためには、従来の海洋表層混合層間の炭素・窒素変動の1桁下の数年規模の時間スケールと、生物群集繁茂範囲の1桁下の経緯度1度以下の空間スケールで、高分解能な表層混合層の炭素・窒素循環変動とそのフラックスの定量化、さらに、これらに対する生物生産の応答の評価が求められる。

研究機関名 北海道大学

研究代表者氏名 渡辺 豊

## 研究目的(つづき)

しかし、近年の急変する温暖化・気候変動に回答した海洋の炭素・窒素溶存気体の気体交換システムと生物生産応答に関する見積もり法は、世界はこれまで開発に至っていない。さらに、データ取得に関しては、海洋表層混合層の炭素・窒素溶存気体試料を広範囲・詳細で高精度に得るためには、従来の観測船を停船して行われる船舶海洋観測では不十分である。しかし、航走中に溶存気体試料を採水でき、採水時の気泡等のコンタミネーションの問題が生じない溶存気体高頻度採水システム(曳航体)はこれまでに開発されていない。

そこで、本研究では、大気海洋環境・炭素循環・窒素循環・植物プランクトン種・生物生産量の異なる高緯度全域(40°N-60°N)、低中緯度全域(10°N-40°N)、北太平洋気候変動に多大な影響を与えるオホーツク海西部海域をモデル海域として、混合層内の炭素(溶存無機炭素(DIC)、アルカリ度(Alk)、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\text{pCO}_2$ )と窒素( $\text{N}_2$ )について、植物プランクトン種・クロロフィルサイズ分画・HPLCデータと溶存化学トレーサー(アルゴン(Ar)、 $\text{SF}_6$ 、CFCs、Th-234(純生物生産量の見積りに使用))とともに、溶存気体高頻度採水システム(曳航体)を用いて世界初の時空間的に高頻度な観測を試みる。得られたこれらの高分解能時空間情報を用いて、海洋の炭素・窒素溶存気体の気体交換システム(大気気体貫入速度、脱窒・窒素固定量、純生物生産量、 $\text{CO}_2$ 交換量(人為 $\text{CO}_2$ ならびに気候変動由来 $\text{CO}_2$ ))の見積もり法を世界初で開発・提案するとともに、これらを見積もりを実施する。同時に観測した物理・化学・生物パラメータ(気象海象、栄養塩、Feなど)とともに解析し、同モデル海域の炭素・窒素循環の動態と、それが地球温暖化フィードバック効果として物質循環モデルに組み込み可能な形の定式化を行うことを最終目的とする。特に重要な下記の3項目を行う。

### 1)炭素・窒素気体交換システムと生物生産応答の定量化のための新規見積り法の開発

$\text{N}_2$ 、Ar、 $\text{SF}_6$ とCFCs(CFC-11、CFC-12、CFC-113)の6つの成分を用いて、高精度の気泡貫入量の見積もりを目指す。ここで得た気泡貫入量を、現場での気象海象情報(風速、波浪等)と比較することで、(I)大気・海洋気体交換過程に重要な海洋表層の物理環境情報の復元の新規見積り法を開発し、観測データと比較し、その妥当性を評価する。また、これを発展させて、(II)海洋表層混合層の純基礎生物生産量の新規見積り法を開発し、観測データと比較し、その妥当性を評価する。

さらに、 $\text{N}_2$ とArを用いて、(III)海洋表層混合層の脱窒量と窒素固定量の新規見積り法を開発し、観測データと比較することでその妥当性を評価する。加えて、(IV)DICと $\delta^{13}\text{C}$ の物質収支を連立で解くことで、海洋の人為起源 $\text{CO}_2$ 吸収速度を求め、さらに気候変動由来 $\text{CO}_2$ 変動速度をも得られる新規見積り法を開発し、観測データと比較することでその妥当性を評価する。

### 2)溶存気体高頻度採水用システム(溶存気体採水用曳航体)の開発と実証試験

時空間的に高分解能な表層混合層の炭素・窒素循環変動と、そのフラックスの定量化を図るため、溶存気体高頻度採水用システム(溶存気体採水用曳航体)の開発を図り、従来の観測船停船観測との比較を行い、その信頼性・妥当性を評価する。結果が良好な場合、このシステムを2連装にして、海洋表層混合層内の炭素・窒素関連データの飛躍的な情報量の拡大を狙う(図1)。

### 3)モデル海域における高精度な炭素・窒素気体交換システムとそのマッピングと定量化

実証試験を経て、研究観測船に溶存気体高頻度採水用システムを搭載し、北太平洋全域(10°N-60°N)での経緯度0.5度の高頻度な海洋表層混合層多層採水(水深10m、20m)を実施する。ここで得た結果と、1)の炭素・窒素気体交換の新規見積り法を用いて、時空間的に高分解な同海域の表層混合層の炭素・窒素物質循環変動とそのフラックスの定量化を行う。併せて、これらのパラメタリーゼーション化を行い、同モデル海域における大気・海洋間を通じた窒素・炭素物質循環の挙動を捕らえ、それに伴う生物生産応答の定量化を目指す。

#### <研究の独創性、および予想される結果とその意義>

本研究の独創性は、従来の研究では得ることが困難な数年スケールでの炭素・窒素循環の変動とそのフラックスの高精度な新規見積り法の開発・提案を目指し、地球温暖化の影響が大きい北太平洋高緯度海域ならびにその対象領域として北太平洋低中緯度域をモデルケースとし、その新規見積り法を開発を世界で初めて進める点である。

さらに、従来の海洋観測では困難であった海洋表層混合層の溶存気体成分を広範囲・高頻度・高精度で得るために、海水溶存気体試料を航走中に採水でき、採水時の気泡等のコンタミネーションの問題が生じない溶存気体用高頻度採水システム(曳航体)の開発にチャレンジし、その応用を世界で初めて試みる点である。

この手法が確立された場合、北太平洋に留まらず、大西洋・インド洋・南大洋の各大洋スケールに拡張することで、海洋の炭素・窒素溶存気体の気体交換システム(大気気体貫入速度、脱窒・窒素固定量、純生物生産量、 $\text{CO}_2$ 交換量(人為 $\text{CO}_2$ ならびに気候変動由来 $\text{CO}_2$ ))を全球規模で評価することができ、地球規模の地球温暖化研究・物質循環研究のブレークスルーとなりうる。また、この成果は定式化可能なため、予測モデルに組み込み、モデルをより高度化する研究を次世代の研究として発展させる可能性をもち、今後の地球規模の地球温暖化・気候変動予測研究に影響を与えることが期待される。

**研究計画・方法**

本欄には、研究目的を達成するための具体的な研究計画・方法について、冒頭にその概要を簡潔にまとめて記述した上で、平成22年度の計画と平成23年度以降の計画に分けて、適宜文献を引用しつつ、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。ここでは、研究が当初計画どおりに進まない時の対応など、多方面からの検討状況について述べるとともに、研究計画を遂行するための研究体制について、研究分担者とともに行う研究計画である場合は、研究代表者、研究分担者の具体的な役割(図表を用いる等)、学術的観点からの研究組織の必要性・妥当性及び研究目的との関連性についても述べてください。

また、研究体制の全体像を明らかにするため、連携研究者及び研究協力者(海外共同研究者、科学研究費への応募資格を有しない企業の研究者、大学院生等(氏名、員数を記入することも可))の役割についても必要に応じて記述してください。

**研究計画・方法(概要)**

以下の3つの柱で研究を進め、北太平洋高緯度海域の表層混合層の炭素・窒素物質循環変動とそのフラックスの時空間的に高分解能な定量化、ならびに、これらに対する生物生産応答の評価をすることを旨とする。(1)海洋の炭素・窒素の気体交換システムと生物生産応答の定量化の新規見積り法の開発、(2)溶存気体高頻度採水用システム(溶存気体採水用曳航体)の開発と実証試験、(3)モデル海域における高確度な炭素・窒素気体交換システムとそのマッピングと定量化・総合的評価を実施する。

[平成22年度]

**1)炭素・窒素気体交換システムと生物生産応答の定量化の新規見積り法の開発**

一般に、大気海洋間の気体交換過程は、気体交換によって溶解したものと、気体貫入によって溶解したものの2つである。H16-H18 萌芽研究により、Tanaka and Watanabe (2006)は $[C(obs) = A \cdot C(s) + M \cdot B, (1)]$ の原理を開発した。ここで、 $C(obs)$ :対象とする溶存気体の観測値、 $A$ :真の飽和度(%),  $C(s)$ :現場水温・塩分・大気分圧からの求められる飽和濃度、 $M$ :大気混合比、 $B$ :気泡貫入量。これを大気中の多成分について連立方程式として解くと、真の溶存量と気泡貫入量を区別することができる。先行研究であるTanaka and Watanabe(2006)は $N_2$ と $Ar$ をこの解法に用いたが、さらに $SF_6$ とCFCs(CFC-11, CFC-12, CFC-113)を加え、6つの成分について解くことで、さらに高確度な気泡貫入量の見積りを目指す。ここで得た気泡貫入量を、現場での気象海象情報(風速、波浪等)と比較することで、(1)大気・海洋気体交換過程に重要な海洋表層の物理環境情報の復元の新規見積り法を開発し、観測データと比較し、その妥当性を評価する(担当:渡辺、小埜)。また、(1)式で求められた物理環境情報に基づき、純基礎生物生産由来の酸素量(DO)を $[DO(bio) = DO(obs) - DO(phy), (2)]$ として表現することが可能となる。ここで、 $bio$ 、 $obs$ 、 $phy$ は生物由来、観測値、物理環境由来、 $DO(bio)$ に酸素/炭素比を乗じることで、(11)海洋表層混合層の純基礎生物生産量の見積りが可能となり、従来法よりも一桁下の高確度な見積り法の開発を目指し、観測データと比較し、その妥当性を評価する(担当:小埜、西岡、南、渡辺)。

さらに、大気-海洋間の気体交換過程によって溶け込む大気主要成分、 $N_2$ と $Ar$ によって窒素バランスを解析する方法を開発することを試みる。海洋の窒素平均現存量からの過剰分 $N(excess)$ は、脱窒(海洋内からの窒素除去)と窒素固定(海洋内への窒素供給)の合算として、 $[N(excess) = N(脱窒) + N(窒素固定), (3)]$ のように表現出来る。これを上記で求められる気泡貫入量を補正した後、深層水(background)の $N_2/Ar$ 比からのずれ分と溶解度( $\alpha$ )から、 $[N(excess) = [(N_2/Ar)(sample) - (N_2/Ar)(background)] \cdot [N](obs), (4)]$ のように表現でき、 $N(excess)$ を見積もることができる。これを高緯度海域と低中緯度海域について連立で解くと、それぞれの海域の詳細な(111)海洋表層混合層での脱窒量・窒素固定量の新規見積り法を、世界ではじめて開発・提案することができ、観測データと比較し、その妥当性を評価する(担当:西岡、渡辺、小埜)。

加えて、海水中の溶存無機炭素 $DIC(obs)$ は大気から海洋へ入ってきたもの $DIC(as)$ 、生物由来の有機炭素再無機化によって再帰してきた炭素の付加分 $DIC(org)$ 、生物由来の炭酸カルシウム殻の溶解による付加分 $DIC(CaCO_3)$ の合算として表現できる。これを(IV)  $DIC$ と $\delta^{13}C$ の海水中の収支について連立で解くことで、海洋の人為起源 $CO_2$ 吸収速度( $\Delta C(ant)$ )を従来法よりも理論上数十分の1以内の高精度で求めることができ、さらに気候変動由来 $CO_2$ 変動速度( $\Delta C(nat)$ )をも得られる新規見積り法を開発できる。これらの新規見積り法が、従来法よりも1桁下の高確度な見積りとなることを目指し、観測データと比較し、その妥当性を評価する(担当:渡辺、小埜、吉川)。

初年度のため、海洋表層混合層内の炭素(溶存無機炭素( $DIC$ ), アルカリ度( $Alk$ ),  $\delta^{13}C$ ,  $pCO_2$ )と窒素( $N_2$ )  $SF_6$ ・CFCs化学トレーサーならびに生物パラメーターは取得分析済データに限りがあり、また、時空間的に高分解・高確度データが出揃っていない。このため、H22年度の早い段階から従来法による船舶観測データを用いて、上記提案の新規見積り法の開発とその精度評価に着手する。特に、十年規模の長期変動の先行研究の結果として、 $CO_2$ 吸収量変動、生物生産量変動、脱窒・窒素固定変動が報告されている海域を念頭にいれ、同海域を重点領域とし、上記の新規見積り法の妥当性を解析する。とくにその見積り法の精度の向上が見られない場合には、2)と関連し、H23年度以降の溶存気体高頻度採水用システム観測海域を変更し、同海域を重点的に次年度観測する措置をとるための情報とする。

研究機関名 | 北海道大学

研究代表者氏名 | 渡辺 豊

## 研究計画・方法(つづき)

### 2) 溶存気体高頻度採水用システム(曳航体)の開発と実証試験

これまでに、海中の微量金属採水用の高頻度採水用システム(曳航体)はあるものの、溶存気体研究を対象とするものは開発されていない。本研究申請が目指す溶存気体高頻度採水用システムは、(I)観測船平均巡航速度(通常 10-15 ノット)での採水、(II)大気からの気泡が入らない状態での可能な採水、(III)高頻度観測に求められる経緯度 0.5 度程度の高分解能の採水、これらの条件を満たす溶存気体高頻度採水用システム(曳航体)の世界初の開発・実証をすることである。そこで、必要な仕様となるように、H22 年度の早い段階から、これまでの問題点を精査し、開発・改良を実施する(担当:坂岡、渡辺、西岡、小埜)。

具体的には、観測船平均巡航速度 12 ノットでの安定した採水を可能とする開発・改良を目指す。従来のもものと比べ、(a)大気からの気泡貫入をなくすため、深く潜行させるための曳航体の重量化(本体総重量 100kg、本体はステンレス使用、内部はタングステン使用)、(b)水中内での曳航体本体の安定性の向上を図るための尾翼の改良、(c)曳航体先端にある採水取り組み口での乱流発生を抑制するための改良(採水取り部分の形状の改良)、(d)曳航体から観測船まで海水をくみ上げるために必要な採水ポンプが気泡を発生しないような改良(ペリスタポンプの導入)等を平成 22 年度 9 月末までに行う予定とする(図 1)。この曳航体実機作成費用は本予算によって措置する。曳航体実機完成後、速やかにこれを観測船舶に搭載し、実証試験を用いて行うものとする。具体的には、北海道沿岸域において、平成 22 年 10-11 月中ならびに荒天が続く翌年 2 月に、坂岡が一等航海士を務める北海道大学・おしよる丸に搭載し、曳航体の安定性・採水安定性等の性能試験を行い、その際、海洋表層混合層内  $N_2$ ・Ar・DIC、Alk、 $\delta^{13}C$ 、 $pCO_2$ 、DO、溶存化学トレーサー( $SF_6$ 、CFCs、Th-234)、ならびに生物パラメーター(植物プランクトン種・クロロフィルサイズ分画・HPLC データ)を取得する。この観測で、定点観測点を数点設け、従来の観測船停船観測との比較をし、その信頼性・妥当性を評価する。加えて、純生物生産量の妥当性を評価するため、GPS プイを搭載した中立プイによる生物生産実験ならびに物理環境の平均場を取得し、本申請による生物生産量見積りのキャリブレーションを実施し、その妥当性を評価する(担当:渡辺、西岡、坂岡、吉川)。

これらが良好な場合、この溶存気体高頻度採水用システムを 2 連装にして、海洋表層混合層内の窒素・炭素関連データの飛躍的な情報量の拡大を狙う。改良が必要な場合には、小埜が室長として所属する北海道区水産研究所の北光丸に再度これらを搭載し、再度の実証試験をする措置をする。上記で得た生物パラメーターには、電子顕微鏡・X 線解析装置による植物プランクトン種の同定も併せて行う(担当:南)。なお、担当者らでは上記の作業がカバー出来ない可能性があるため、船上作業や測定・データ解析に従事する研究支援者 1 名を本予算によって H22 年度から H24 年 10 月まで措置する。なお、研究分担者が全員集まるのは年 2 回程度とし、必要に応じて頻繁に e-mail で情報交換・検討・今後の研究の進め方について相談するものとする。

[平成 23 年度以降]

### 1) 炭素・窒素気体交換システムと生物生産応答の定量化の新規見積り法の開発・改良

H22 年度から引き続き、海洋の炭素・窒素気体交換システムと生物生産応答の定量化(大気気体貫入速度、脱窒・窒素固定量、純生物生産量、 $CO_2$ 交換量(人為  $CO_2$ ならびに気候変動由来  $CO_2$ ))の新規見積り法の開発を実施する。特に、H23 年度以降は各測定パラメーターが多数揃うため、H22 年度の結果も踏まえつつ当初の計画通りに、現場データを用いたこれらの新規見積り法の高確度向上に努める。数年規模での炭素・窒素循環変動の検出に耐えうるまでに確度が向上した段階で、同海域における気体交換システムを定量化する予定である。特に、対象領域としての低・中緯度海域の結果と比較し、高緯度海域における気体交換システムと生物生産応答の強度を評価し、炭素・窒素循環における窒素・炭素気体交換システム量を評価する。この結果は、次年度のおしよる丸における溶存気体高頻度採水用システム観測のための予備解析として機能する。

### 3) モデル海域における高確度な炭素・窒素気体交換システムとそのマッピングと定量化

実証試験の結果を踏まえ、H23 年 5 月~6 月において、おしよる丸と JAMSTEC 白鳳丸に、溶存気体高頻度採水用システムを搭載し、北太平洋(10°N-60°N)での経緯度 0.5 度の高頻度の海洋表層混合層海水採水(水深 10m、20m)を実施する。具体的には、高緯度海域(40°N-60°N)をおしよる丸航海(担当:西岡、坂岡、小埜)で、低中緯度全域(10°N-40°N)を白鳳丸航海(担当:渡辺、吉川、南)で実施する(図 2)。H24 年度には、おしよる丸で全域観測を行う予定である。また、現在、調整中であるが、北海道区水産研究所・北光丸を用いて、H23 年度と H24 年度にオホーツク海西部海域での観測を予定している(図 2)。測定間隔に関しては、実証試験の結果を踏まえて、調整を行う予定である。ここで得た結果と、1)の炭素・窒素気体交換システム見積り方法を用いて、時空間的に高解能な同海域の表層混合層の炭素・窒素循環変動とそのフラックスの定量化を行う。この際、定点観測点を数点設け、従来の観測船停船観測との比較をし、その信頼性・妥当性を評価する。特に高緯度・低中緯度域の外洋における純生物生産量の妥当性を評価するため、GPS プイ搭載の中立プイによる生物生産実験ならびに物理環境の平均場を取得し、本申請による生物生産量見積りのキャリブレーションを実施し、その妥当性を評価する。

本申請を通しての研究計画・方法および研究代表者・分担者の研究内容相互関係、備品導入と研究計画の関連性については、図 3 に示す。

研究計画・方法（つづき）

図1：溶存気体用高頻度採水システム：2連装の場合の概念図

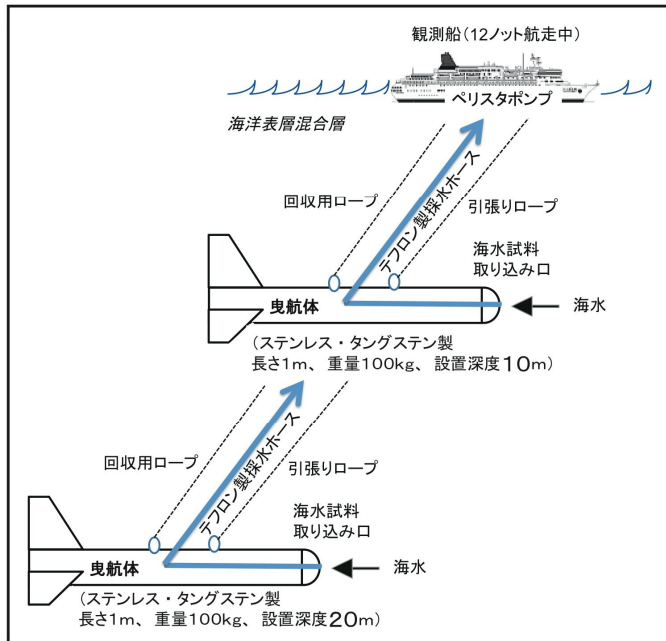


図2：H23, H24年度の溶存気体用高頻度採水システム運用計画

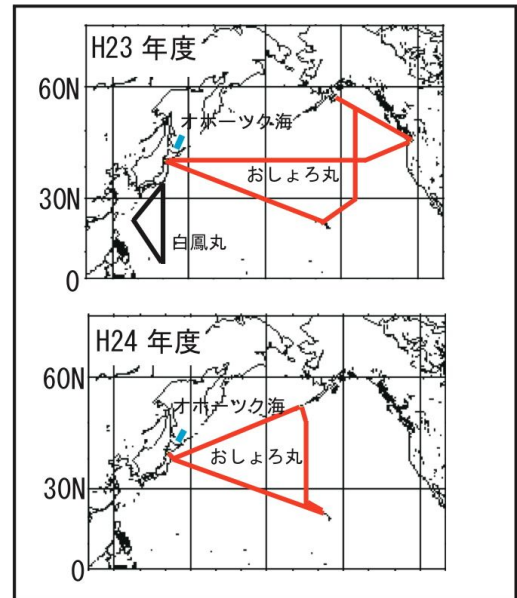
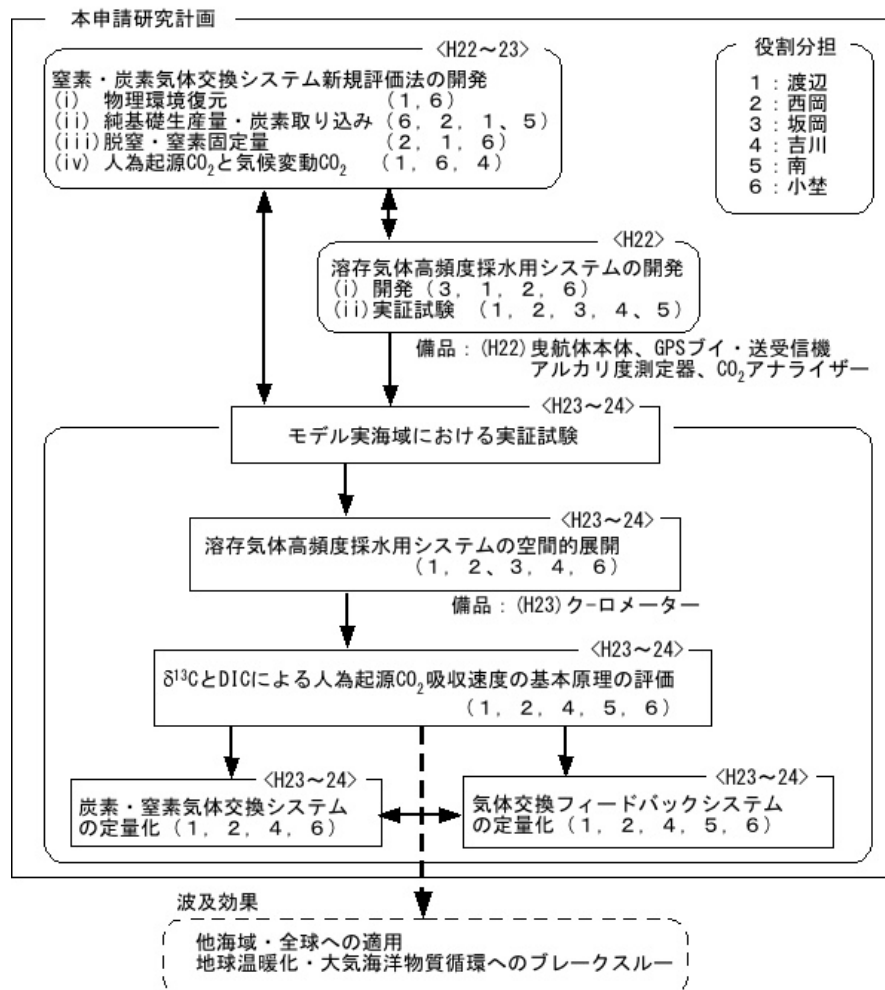


図3：本申請研究の年次計画の概要



**今回の研究計画を実施するに当たっての準備状況等**

本欄には、次の点について、焦点を絞り、具体的かつ明確に記述してください。  
 本研究を実施するために使用する研究施設・設備・研究資料等、現在の研究環境の状況  
 研究分担者がいる場合には、その者との連絡調整の状況など、研究着手に向けての状況（連携研究者及び研究協力者がいる場合についても必要に応じて記述してください。）  
 本研究の研究成果を社会・国民に発信する方法等

**I. この課題の準備状況:** 本研究グループは、近年、すでに海洋表層混合層が強化され、北太平洋の海水循環が約 20%弱まっていることを報告している (Watanabe et al., 2001, 2003, 2005; Ono et al., 2001, 2002, 2008; Midorikawa, Yoshikawa, et al., 2006 など)。これに伴い、植物プランクトンの成長にとって必要な海洋深部からの表層への栄養塩・鉄供給が減少し、約 30%の植物プランクトンの減少が起こっていること (Ono et al., 2002, 2008; Watanabe et al., 2005, 2007)。高緯度海域ではすでに大型のケイ藻から小型の円石藻への植物プランクトン種の急激な変遷が起こっていること (Ishida, Watanabe et al., 2009)。これらに伴い、近年、海洋表層から海洋内部への炭素固定量が約 30%減少し、すでに正のフィードバックがかかっていることが確認されている (Ishida, Watanabe, et al., 2009)。これらの影響で、すでに人為起源 CO<sub>2</sub> 吸収効率が急減するとともに、窒素固定が強化されていることも確認した (Watanabe et al., 2008)。一方、従来の海水中の溶存無機炭素 (DIC) の直接比較法 (例えば、Sabine et al., 2004) では、近年予測される急激な人為起源 CO<sub>2</sub> 吸収速度の変動を高確度に定量的に捕らえることは困難である。また、窒素固定・脱窒量の見積りについては、実験室レベルの添加実験法しかなく、広範囲を網羅する高確度の見積り法が求められているが未だその開発には至っていない。この結果、地球温暖化に伴う CO<sub>2</sub> の海洋のフィードバック効果予測をますます不確かなものとしている。

そこで、本研究グループは、これまでの実績・経験・知識に基づき、海洋表層混合層での炭素・窒素の気体交換に注目し、N<sub>2</sub>・Ar・DIC、Alk、δ<sup>13</sup>C、pCO<sub>2</sub>、DO、溶存化学トレーサー (SF<sub>6</sub>、CFCs、Th-234) を用いれば理論的には炭素・窒素気体交換システムの新規見積り法の開発が可能と判断し、本申請に至っている。H21 年度に事前の予備実験として、従来の観測船停船観測のデータ KNOT (44°N, 155°E) を用いて、従来の人為起源 CO<sub>2</sub> 吸収速度の見積りに比べ半桁ほど小さい誤差で見積もれることを確認している。また、大気気体貫入速度と脱窒・窒素固定量、純生物生産量についても見積もれる可能性を見いだしている。しかし、生物パラメータ等との比較を行っていないこと、時空間的に低分解能であることから、高確度な定式化には至っていない。もし、本申請が採択されれば、必要な観測備品・観測旅費・観測経費が充当されることで新規見積り法の開発とその実証が可能となるとともに、時空間的に高分解能での窒素・炭素気体交換システムの解明を行う措置が可能となる。

**II. 研究環境の状況:** 平成 21 年度までに本グループは、溶存気体採水用ではないものの、海水中微量元素採水用曳航体の開発・運行の実績を持っている。この実績・経験・知識をもとに、溶存気体用の開発・改良に制作費用はかかるものの (備品として申請)、研究観測船おしよる丸・北光丸での実証試験が可能なる状況にある。しかし、実証試験には、比較として現場生物生産量ならびに物理環境の平均場の把握が必要であり、そのためには GPS ブイ・送受信機が必要である。また、飛躍的な採水試料処理の向上を図るため、特に DIC、Alk、pCO<sub>2</sub> 測定器については、現有的のものに加え、新規の機器導入が必要である。また、観測頻度の増加に伴い、全ての観測を申請者らのみで行うのは困難なため、開発・観測の集中する当初の 2 年半について、船上観測作業と測定・データ解析に従事する研究支援者 1 名を本予算によって措置する必要がある。

**III. 研究成果の社会・国民に発信する方法:** 本研究成果は、地球規模の地球温暖化研究・物質循環研究のブレークスルーとなり得る成果が期待できるため、インパクトの高い国際学術雑誌への投稿・国際学会発表を行う予定である。さらに、国民への還元活動として積極的に気候変動に関するセミナー・シンポジウムの開催等を予定している。

**研究計画最終年度前年度の応募を行う場合の記入事項 (該当者は必ず記入してください (公募要領 16 頁参照))**

本欄には、研究代表者として行っている平成 22 年度が最終年度に当たる継続研究課題の当初研究計画、その研究によって得られた新たな知見等の研究成果を記述するとともに、当該研究の進展を踏まえ、今回再構築して本研究を応募する理由 (研究の展開状況、経費の必要性等) を記述してください。(なお、本欄に記述する継続研究課題の研究成果等は、基盤 A・B (一般) -10 の「これまでを受けた研究費とその成果等」欄には記述しないでください。)

研究種目名	審査区分	課題番号	研究課題名	研究期間

**当初研究計画及び研究成果等**

応募する理由



**研究業績**

本欄には、研究代表者及び・研究分担者が最近5年間に発表した論文、著書、産業財産権、招待講演のうち、本研究に関連する重要なものを選定し、現在から順に発表年次を過去にさかのぼり、発表年（暦年）毎に線を引いて区別（線は移動可）し、通し番号を付して記入してください。なお、学術誌へ投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。  
 また、必要に応じて、連携研究者の研究業績についても記入することができます。記入する場合には、二重線を引いて区別（二重線は移動可）し、研究者毎に、現在から順に発表年次を過去にさかのぼり記入してください（発表年毎に線を引く必要はありません。）

発表年	研究代表者 ・分担者氏名	発表論文名・著書名 等 （例えば発表論文の場合、論文名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年（西暦）について記入してください。） （以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。著者名が多数にわたる場合は、 <u>主な著者を数名記入し以下を省略（省略する場合、その員数と、掲載されている順番を 番目と記入）しても可。なお、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付してください。</u> ）
2009	渡辺 豊  西岡 純  吉川 久幸  南 秀樹  小笠 恒男	1) Watanabe, Y. W. (5人中1番目), et al. (2009): Influence of riverine alkalinity on carbon species in the Okhotsk Sea. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 36(15), L15606, doi:10.1029/2009GL038520. (査読有) 2) Shigemitsu, M., Watanabe, Y. W., Narita, H. (2009): Sedimentary inorganic nitrogen and its isotope ratio in the western subarctic Pacific over the last 145 kyr. <i>J. Oceanogr.</i> , 65, 541-548. (査読有) 3) Ikeda, M., Watanabe, Y. W. (6人中4番目), et al. (2009): Identifying crucial issues in climate science: drastic change in the earth system during global warming. <i>EOS, Transactions</i> , 90(2), 15. (査読有) 4) Ishida, H., Watanabe, Y. W. (5人中2番目), et al. (2009): Recent trend of chlorophyll-a over the western North Pacific region. <i>J. Oceanogr.</i> , 65, 179-186. (査読有り) 5) Nishioka, J. (9人中1番目), et al. (2009): Changes in iron concentrations and bio-availability during an open ocean mesoscale iron enrichment experiment in the western subarctic pacific, SEEDS II. <i>Deep-Sea Res. II</i> , doi: 10.1016/j.dsr2.2009.06.006. (査読有) 6) Watanabe, Y. W., Nishioka, J. (5人中2番目), et al. (2009): Increases of alkalinity and pH in the Okhotsk Sea during the 1990s and 2000s. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , doi:10.1029/2009GL038520. (査読有) 7) Liu, H., Nishioka, J. (5人中2番目), et al. (2009): Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in the Sea of Okhotsk during late summer of 2006. <i>Deep-Sea Res. I</i> , 56(4), 561-570, doi: 10.1016/j.dsr.2008.12.003. (査読有) 8) Ooki, A., Nishioka, J. (4人中2番目), et al. (2009): Size dependence of iron solubility of Asian mineral dust particles. <i>J. Geophys. Res.</i> , 114, D03202, doi:10.1029/2008JD010804. (査読有) 9) Fujii, M., Inoue-Yoshikawa, H. (5人中4番目), et al. (2009): Seasonal and interannual variation of oceanic carbon cycling in the western and eastern tropical-subtropical North Pacific: a physical-biological modeling study. <i>J. Oceanogr.</i> , 65, No.5, 689-701. (査読有) 10) Nakaoka, S., Inoue-Yoshikawa, H. (5人中4番目), et al. (2009): Variations of oceanic pCO <sub>2</sub> and air-sea CO <sub>2</sub> flux in the eastern Indian sector of the Southern Ocean for the austral summer of 2001-2002. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 36, L14610, doi:10.1029/2009GL038467. (査読有) 11) Ishii, M., Inoue-Yoshikawa, H. (13人中2番目), et al. (2009): Spatial variability and decadal trend of the oceanic CO <sub>2</sub> in the western equatorial Pacific warm/fresh water. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 56, 591-60. (査読有) 12) Nemoto, K., Inoue-Yoshikawa, H. (7人中7番目), et al. (2009): Continuous observations of atmospheric and oceanic CO <sub>2</sub> using the moored buoy in the East China Sea: Variations during the passage typhoons. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 56, 542-553. (査読有) 13) Nomura, D., Inoue-Yoshikawa, H. (6人中6番目), et al. (2009): Transport of chemical components in sea ice and under-ice water during melting in the seasonally ice-covered Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan. <i>Estuar. Coast. Shelf Sci.</i> , 81, 201-209. (査読有) 14) Takahashi, T., Inoue-Yoshikawa, H. (30人中15番目), et al. (2009): Climatological Mean and Decadal Change in Surface Ocean pCO <sub>2</sub> and Net Sea-air CO <sub>2</sub> Flux over the Global Oceans. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 56, 554-577. (査読有) 15) Matsumoto, K., Minami, H. (4人中2番目), et al. (2009): Size partitioning of particulate inorganic nitrogen species between the fine and coarse mode ranges and its implication to their deposition on the surface ocean. <i>Atm. Environ.</i> , 43, 4259-4265. (査読有) 16) Kasai, H., Ono, T. (4人中2番目), et al. (2009): Seasonal change of oceanographic conditions in the southwestern Okhotsk Sea during the non-iced season. <i>J. Oceanogr.</i> , in press (査読有) 17) Kudo, I., Ono, T. (6人中4番目), et al. (2009): Primary productivity, bacterial productivity and nitrogen uptake in response to iron enrichment during the SEEDS II. <i>Deep-Sea Res. II</i> , in press. (査読有) 18) Saito, H., Ono, T. (6人中4番目), et al. (2009): Biogeochemical cycling of N and Si during the mesoscale iron-enrichment experiment in the western subarctic Pacific (SEEDS-II). <i>Deep-Sea Res. II</i> , in press. (査読有) 19) Isada, T., Ono, T. (7人中4番目), et al. (2009): Photosynthetic features and primary productivity of phytoplankton in the Oyashio and Kuroshio-Oyashio transition regions of the northwest Pacific. <i>J. Plank. Res.</i> , 31, 1009-1025. (査読有) 20) Ooki, A., Ono, T. (4人中3番目), et al. (2009): Size dependence of iron solubility of Asian mineral dust particles. <i>J. Geophys. Res.</i> , 114, D03202, doi: 10.1029/2008JD010804. (査読有り) 21) Tadokoro, K., Ono, T. (6人中2番目), et al. (2009): Possible mechanisms of decadal-scale variation in PO <sub>4</sub> concentration in the western North Pacific. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 36, L08606, doi: 10.1029/2009GL037327. (査読有)
	連携研究者氏名 （所属研究機関・部局・職）	発表論文名・著書名 等 （研究代表者及び研究分担者の研究業績として上欄に記載したものは記載しないでください。）
研究機関名	北海道大学	研究代表者氏名
		渡辺 豊

研究業績(つづき)		
年 発表	研究代表者・分担者氏名	発表論文名・著書名 等
2008	渡辺 豊  西岡 純  吉川 久幸 南 秀樹  小笠 恒男	22) Watanabe, Y. W. (3人中1番目), et al.: Evidence of change in oceanic fixed nitrogen with decadal climate change in the North Pacific subpolar region. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 35, L01602, doi:10.1029/2007GL032188. (査読有)
		23) Sakamoto, A., Watanabe, Y. W. (4人中2番目), et al. (2008): Time series of multiple chemical parameters of CO <sub>2</sub> in Otaru coast in Hokkaido, Japan: Evidence of the important role of coastal region for CO <sub>2</sub> flux between air and Sea. <i>Estuar. Coastal, Shelf Sci.</i> , 79, 37-386, doi:10.1016/j.ecss.2008.04.013. (査読有)
		24) Shigemitsu, M., Watanabe, Y. W. (3人中2番目), et al. (2008): Time variations of δ <sup>15</sup> N of organic nitrogen in deep western subarctic Pacific over the last 145 kyr. <i>Geochem. Geophys. Geosystems</i> . 9(10), Q10012, doi:10.1029/2008GC001999. (査読有)
		25) Kondo, Y., Nishioka, J. (4人中2番目), et al. (2008): Organic iron (III) complexing ligands during an iron enrichment experiment in the western subarctic North Pacific. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 35, L12601, doi:10.1029/2008GL033354. (査読有)
		26) Inoue-Yoshikawa, H. (5人中1番目), et al. (2008): Atmospheric CO <sub>2</sub> and O <sub>3</sub> in Rishiri Island during December 2006 to March 2007. <i>Pap. Met. Geophys.</i> , 59, 31-38. (査読有)
		27) 白石絵美, 南秀樹 (4人中4番目)ら (2008): 2001~2007年の夏季観測結果による北海道西岸域の高塩分中層水・海と空, 84, 115-121. (査読有)
		28) 南秀樹 (7人中1番目)ら (2008): オホーツク海における金属元素の堆積過程について・海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集, 1.7, 1-4. (査読有)
		29) 斎藤祐美, 南秀樹 (5人中5番目)ら (2008): 寿都の岩礁潮間帯における底生動物の群集構造について・北海道東海大学紀要理工学系, 20, 1-8. (査読有)
		30) Ono, T. (3人中1番目), et al. (2009): Recent decrease of summer nutrients concentrations and future possible shrinkage of the subarctic North Pacific High-Nutrient Low-Chlorophyll region. <i>Global Biogeochem. Cycles</i> 22, GB3027, 10.1029/2007GB003092. (査読有)
		31) Oguma, S., Ono, T. (6人中2番目), et al. (2008): Isotopic tracers for water masses in the coastal region of eastern Hokkaido. <i>J. Oceanogr.</i> , 64, 525-539. (査読有)
2007	渡辺 豊  西岡 純  吉川 久幸 南 秀樹  小笠 恒男	32) Watanabe, Y. W. (7人中1番目), et al. (2007): Reconstruction of dimethylsulfide in the North Pacific surface water during 1970s to 2000s. <i>Mar. Chem.</i> , 103, 347-358, doi:10.1016/j.marchem.2006.10.004. (査読有)
		33) Tanaka, S. S., and Watanabe, Y. W., (2007): High accuracy method for determining nitrogen, argon and oxygen in seawater. <i>Mar. Chem.</i> , 106, 516-529, doi:10.1016/j.marchem.2007.05.005. (査読有)
		34) Shigemitsu, M., Watanabe, Y. W. (5人中3番目), et al. (2007): Ba, Si, U, Al, Sc, La, Th, C and C-13/C-12 in a sediment core in the western Subarctic Pacific as proxies of past biological production. <i>Mar. Chem.</i> , 106, 442-455, doi:10.1016/j.marchem.2007.04.004. (査読有)
		35) Tsuda, A., Watanabe, Y. W. (43人中41番目), et al. (2007): Evidence for the grazing hypothesis: grazing reduces phytoplankton responses of the HPLC ecosystem to iron enrichment in the western subarctic Pacific (SEED II). <i>J. Oceanogr.</i> , 63, 983-994. (査読有)
		36) Nishioka, J. (13人中1番目), et al. (2007): Iron input into the western subarctic Pacific, importance of iron export from the Sea of Okhotsk. <i>J. Geophys. Res.</i> , 112, C10012, doi:10.1029/2006JC004055. (査読有)
		37) Tsuda, A., Nishioka, J. (43人中4番目), et al. (2007): Evidence for the grazing hypothesis: grazing reduces phytoplankton responses of the HPLC ecosystem to iron enrichment in the western subarctic Pacific (SEED II). <i>J. Oceanogr.</i> , 63, 983-994. (査読有)
		38) Miyaoka, Y., Inoue-Yoshikawa, H. (5人中2番目), et al. (2007): Diurnal and seasonal variation in atmospheric CO <sub>2</sub> in urban city, Sapporo, Japan: Anthropogenic sources and biogenic sinks. <i>Geochem. J.</i> , 41, 426-436. (査読有)
		39) Matsumoto, K., Minami, H. (6人中2番目), et al. (2007): Regional climatology of particulate carbonaceous substances in the northern area of the east Asian Pacific. <i>J. Geophys. Res.</i> , 112, D24203, doi:10.1029/2007JD008607. (査読有)
		40) Okubo, A. S., Minami, H. (7人中6番目), et al. (2007): Particle flux in the twilight zone of the eastern Indian Ocean: A constraint from <sup>230</sup> U- <sup>230</sup> Th and <sup>226</sup> Ra- <sup>226</sup> Th disequilibria. <i>Deep-Sea Res. I</i> , 54, 1758-1772. (査読有)
		41) Nakaguchi, Y., Minami, H. (6人中2番目), et al. (2007): Selenium Speciation in Pore Water in Marginal Sea Sediments. <i>Bull. Soc. Sea Water Sci.</i> , 61, 123-131. (査読有)
42) Obata, H., Minami, H. (7人中5番目), et al. (2007): Manganese, cerium and iron in the Sulu, Celebes and Philippine Seas. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 54, 38-49. (査読有)		
43) Obata, H., Minami, H. (5人中4番目), et al. (2007): Scavenging of <sup>230</sup> Th in the Sulu Sea. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 54, 50-59. (査読有)		
44) Watanabe, Y. W., Ono, T. (7人中7番目), et al. (2007): Reconstruction of sea surface dimethylsulfide in the North Pacific during 1970s to 2000s. <i>Mar. Chem.</i> , 103, 347-358. (査読有)		
45) Tsuda, A., Ono, T. (43人中34番目), et al. (2007): Evidence for the grazing hypothesis: grazing reduces phytoplankton responses of the HPLC ecosystem to iron enrichment in the western subarctic Pacific (SEED II). <i>J. Oceanogr.</i> , 63, 983-994. (査読有)		
46) Nishioka, J., Ono, T. (12人中2番目), et al. (2007): Iron supply to the western subarctic Pacific: Importance of iron export from the Sea of Okhotsk. <i>J. Geophys. Res.</i> , 112, C10012. doi: 10.1029/2006JC004055. (査読有)		
47) Kasai, H. and Ono, T., (2007). Has the 1998 regime shift also occurred in the oceanographic conditions and lower trophic ecosystem of the Oyashio region? <i>J. Oceanogr.</i> , 63, 661-669. (査読有)		
2006	渡辺 豊  西岡 純  坂岡 桂一郎	48) Sakamoto, A., Watanabe, Y. W. (3人中3番目), et al. (2006): Establishment of long-term preservation for dimethylsulfide (DMS) by solid-phase micro extraction (SPME) method. <i>Ana. Chem.</i> , 78, 4593-4597. (査読有)
		49) Nakano, Y., Watanabe, Y. W. (5人中5番目), et al. (2006): Simultaneous vertical measurements of in situ pH and CO <sub>2</sub> in the sea using spectrophotometric profilers. <i>J. Oceanogr.</i> , 62, 71-82. (査読有)
		50) Wong, C. S., Nishioka, J. (5人中5番目), et al. (2006): Iron dynamics, temporal change of iron speciation in SERIES: relationship to nutrients and fCO <sub>2</sub> . <i>Deep Sea Res. II</i> , 53, 20-22, 2075-2094. (査読有)
		51) Kudo, I., Nishioka, J. (5人中2番目), et al. (2006): Phytoplankton community response to Fe and temperature gradient in the NE (SERIES) and NW (SEED) subarctic Pacific Ocean. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 53, 20-22, 2201-2213. (査読有)
		52) Saito H., Nishioka, J. (14人中4番目), et al. (2006): Nutrients and phytoplankton dynamics during the stationary to declining phases of the phytoplankton bloom induced by iron-enrichment in the eastern subarctic Pacific. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 53, 20-22, 2168-2181. (査読有)
		53) Yoshimura, T., Nishioka, J. (6人中2番目), et al. (2006): Distributions of particulate and dissolved organic and inorganic phosphorus in North Pacific surface waters. <i>Mar. Chem.</i> , 103, 1-2, 112-121. (査読有)
54) 西岡 純 (2006): 北太平洋における鉄の存在状態と鉄が生物生産におよぼす影響に関する研究, 海の研究 15, 1, 19-36. (査読有)		
55) Takata, H., Sakaoka, K. (8人中8番目), et al. (2006): Comparing the vertical distribution of iron in the eastern and western North Pacific ocean. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 33, L02613, doi: 10.1029/2005GL024538. (査読有)		
56) 和川拓, 坂岡桂一郎 (5人中5番目)ら, (2006): 天皇海山列周辺における移行領域の海洋構造変化, 海の研究, 15 (3), 267-181. (査読有)		

研究業績(つづき)			
2006	吉川 久幸	57) Ogawa, K., Inoue-Yoshikawa, H. (10人中9番目), et al. (2006): Seasonal variation of partial pressure of carbon dioxide (pCO <sub>2</sub> ) in the subarctic/subtropical North Pacific utilizing a container ship MS Alligator Liberty, a voluntary observation ship. <i>Pap. Met. Geophys.</i> , 57, 37-46. (査読有)	
	南 秀樹	58) Nomura, D., Inoue-Yoshikawa, H. (3人中3番目), et al. (2006): The effect of sea-ice growth on CO <sub>2</sub> exchange between the seawater and the overlying air on the basis of tank experiments. <i>Tellus</i> , 58B, 418-426. (査読有)	
	小埜 恒男	59) Inoue-Yoshikawa, H. (8人中1番目), et al. (2006): Temporal variations in atmospheric CO <sub>2</sub> and <sup>85</sup> Kr observed in Tsukuba, Japan. <i>J. Met. Soc. Jpn.</i> , 84, 959-969. (査読有)	
2005	渡辺 豊	60) Sarma, V. V. S. S., Inoue-Yoshikawa, H. (8人中7番目), et al. (2006): Estimation of basin-scale pCO <sub>2</sub> distribution using satellite SST, Chl-a and climatological salinity in the North Pacific. <i>Global Biogeochem. Cycles</i> , 20, GB3005, doi: 10.1029/2005GB002594, 2006. (査読有)	
	西岡 純	61) Matsuyama, H., Minami, H. (6人中4番目), et al. (2006): Glacicecola chathamensis sp. nov., a novel marine polysaccharide-producing bacterium. <i>Int. J. Sys. Evol. Microbiol.</i> , 56, 2883-2886. (査読有)	
	坂岡 桂一郎	62) 南秀樹 (7人中1番目)ら (2006): インド洋, アンダマン海および南シナ海における懸濁粒子の化学組成. <i>北海道東海大学紀要理工学系</i> , 18, 1-6. (査読有)	
	吉川 久幸	63) Tsuda, A., Ono, T. (6人中4番目), et al. (2006): Mesozooplankton responses to iron enrichment during the diatom bloom and declining periods in the NE Pacific (SERIES). <i>Deep-Sea Res. II</i> , 53, 2281-2296. (査読有)	
	小埜 恒男	64) Sarma, V. V. S. S., Ono, T. (8人中6番目), et al. (2006): Basin-scale pCO <sub>2</sub> distribution using satellite SST, Chla and climatological salinity in the North Pacific in spring and summer. <i>Global Biogeochem. Cycles</i> , 20, GB3005, 10.1029/2005GB002594. (査読有)	
		65) Saito, H., Ono, T. (13人中9番目), et al. (2006): Nutrients and phytoplankton dynamics during the stationary to declining phases of the phytoplankton bloom induced by iron-enrichment in the eastern subarctic Pacific. <i>Deep-Sea Res. II</i> , 53, 2168-2181. (査読有)	
		66) Watanabe, Y. W. (4人中1番目), et al. (2005): Spatiotemporal decreases of nutrients and chlorophyll-a in the western North Pacific surface mixed layer from 1971 to 2000. <i>J. Oceanogr.</i> , 61, 1011-1016. (査読有)	
		67) Nakano, Y., Watanabe, Y. W. (2005): Reconstruction of pH in the surface seawater over the North Pacific Basin by using temperature and chlorophyll-a. <i>J. Oceanogr.</i> , 61, 673-680. (査読有)	
		68) Wakita, M., Watanabe, Y. W. (6人中3番目), et al. (2005): Decadal change in dissolved inorganic carbon at Station KN01 in the subarctic western North Pacific. <i>J. Oceanogr.</i> , 61, 129-139. (査読有)	
		69) Ono, T., Watanabe, Y. W. (8人中7番目), et al. (2005): Seasonal and interannual variation of DIC in the Oyashio mixed layer: A climatological view. <i>J. Oceanogr.</i> , 61, 1075-1088. (査読有)	
		70) De Baar, H., Nishioka, J. (26人中18番目), et al. (2005): Synthesis of 8 Iron Fertilization Experiments: from the Iron Age in the Age of Enlightenment. <i>J. Geophys. Res.</i> , doi: 10.1029/2004JC002601. (査読有)	
		71) Boye, M., Nishioka, J. (6人中2番目), et al. (2005): Major deviation of iron complexation during 22 days of a mesoscale iron enrichment in the open Southern Ocean. <i>Mar. Chem.</i> , 96, 257-271. (査読有)	
		72) Croot, P. L., Nishioka, J. (10人中3番目), et al. (2005): Spatial and Temporal distribution of Fe (II) and H2O2 during EisenEx, an open ocean mesoscale iron enrichment. <i>Mar. Chem.</i> , 95, 65-88. (査読有)	
	73) Nishioka, J. (7人中1番目), et al. (2005): Change in the concentrations of iron in different size fractions during an iron fertilization experiment in the open Southern Ocean. <i>Mar. Chem.</i> , 95, 51-63. (査読有)		
	74) Noiri, Y., Nishioka, J. (5人中4番目), et al. (2005): Iron and temperature, two factors influencing phytoplankton species composition in the western subarctic Pacific Ocean. <i>Prog. Oceanogr.</i> , 64, 149-166. (査読有)		
	75) Tsumune, D., Nishioka, J. (5人中2番目), et al. (2005): Physical behavior of the SEEDS iron-fertilized patch by sulphur hexafluoride tracer release. <i>Prog. Oceanogr.</i> , 64, 111-128. (査読有)		
	76) 橋本洋平, 坂岡桂一郎(5人中5番目)ら, (2005): 1994年~2002年夏季におけるアラスカ湾の水温極小. <i>海の研究</i> , 14(4), 513-525. (査読有)		
	77) Midorikawa, T., Inoue-Yoshikawa, H. (5人中5番目), et al. (2005): Persistently strong oceanic CO <sub>2</sub> sink in the western subtropical North Pacific. <i>Geophys. Res. Lett.</i> , 32, L05612, doi:10.1029/2004GL021952. (査読有)		
	78) Inoue, H.Y., and Ishii, M. (2005) Variations and trends of CO <sub>2</sub> in the surface seawater in the Southern Ocean south of Australia between 1969 and 2002. <i>Tellus</i> , 57B, 58-69. (査読有)		
	79) Wakita, M., Ono, T. (6人中4番目), et al. (2005): Temporal change of dissolved inorganic carbon in the subsurface water at Station KN01 (44°N, 155°E) in the western North Pacific subpolar region. <i>J. Oceanogr.</i> , 61, 129-139. (査読有)		
	80) Tsuda, A., Ono, T. (9人中4番目), et al. (2005): Mesozooplankton responses to iron-fertilization in the western subarctic Pacific (SEEDS 2001). <i>Prog. Oceanogr.</i> , 64, 189-205. (査読有)		
	81) Tsuda, A., Ono, T. (9人中9番目), et al. (2005): Responses of diatoms to iron-enrichment (SEEDS) in the western subarctic Pacific, temporal and spatial comparisons. <i>Prog. Oceanogr.</i> , 64, 237-251. (査読有)		
	82) Tadokoro, K., Ono, T. (5人中3番目), et al. (2005): Interannual variations of Neocalanus copepods biomass in the Oyashio waters of the western subarctic North Pacific. <i>Fish. Oceanogr.</i> , 14, 210-222. (査読有)		
	83) Ono, T. (8人中1番目), et al. (2005): Seasonal and interannual variation of DIC in the Oyashio mixed layer: A climatological view. <i>J. Oceanogr.</i> , 61, 1075-1088. (査読有)		
研究機関名	北海道大学	研究代表者氏名	渡辺 豊

**これまでに受けた研究費とその成果等**

本欄には、研究代表者及び研究分担者がこれまでに受けた研究費(科学研究費補助金、所属研究機関より措置された研究費、府省・地方公共団体・研究助成法人・民間企業等からの研究費等。なお、現在受けている研究費も含む。)による研究成果等のうち、本研究の立案に生かされているものを選定し、科学研究費補助金とそれ以外の研究費に分けて、次の点に留意し記述してください。

それぞれの研究費毎に、研究種目名(科学研究費補助金以外の研究費については資金制度名) 期間(年度) 研究課題名、研究代表者又は研究分担者の別、研究経費(直接経費)を記入の上、研究成果及び中間・事後評価(当該研究費の配分機関が行うものに限る。)結果を簡潔に記述してください。(平成20年度又は平成21年度の科学研究費補助金の研究進捗評価結果がある場合には、基盤A・B(一般)-11「研究計画と研究進捗評価を受けた研究課題の関連性」欄に記述してください。) 科学研究費補助金とそれ以外の研究費は線を引いて区別して記述してください。

**I. 文部科学省 科学研究費補助金 基盤B:H18-H20**

研究課題:「北太平洋高緯度海域におけるDMSフラックスの動態に関する研究」

研究代表者: 渡辺豊 H18-H20:15,600千円

北太平洋高緯度海域の沿岸・外洋において、地球温暖化抑制物質であるDMS(ジメチルサルファイド)濃度について、その分析法を開発・改良を行い(Sakamoto, Watanabe et al., 2006)、植物プランクトン・クロロフィル・色素データと炭酸物質等とともに、世界で初めての周年規模の時系列観測を試みた。その結果、DMSの北太平洋における月別の詳細な空間分布・鉛直分布を描き出すことに成功した(Watanabe, Ono et al., 2007)。さらに、北太平洋全体でその表層濃度ならびに大気への逃散速度がここ30年で増加している傾向にあることを明らかとした。これは世界で初めてDMS濃度・逃散量の増加傾向を示すものであり、国内外に大きな反響を呼んだ。この増加傾向は、北太平洋における表層混合層の成層化の強化と、それに伴う生物種の変化がもたらした結果と示唆される。上記の結果から、生物活動応答が炭素・窒素も含めた物質循環を変動させ、海洋から大気へDMSを逃散されることで気候の負のフィードバックが行われ、さらにその効果が、大気から海洋へフィードバックしている可能性が予想される(Watanabe et al., 2005; Ono et al., 2008; Ishida, Watanabe et al., 2009)。そこで、物質循環の中でも、海洋生物生産と気候変動の主律速要因である炭素と窒素に特化し、現在全球規模で起こっている温暖化・気候変動による生物活動の減少・生物種の変化と、海洋の気体交換フィードバックシステムの役割を数年スケールの規模で明らかにする必要がある。特に、時間的に高分解能な高緯度海域の表層混合層の炭素・窒素循環変動とそのフラックスの定量化、ならびに、これらに対する生物応答の相互評価が求められるため、本申請研究課題に応募した。

<当課題により得られた成果> Sakamoto, A., Watanabe, Y. W., et al. (2006), *Anal. Chem.*, 78, 4593-4597; Niki, T., et al. (2007), *J. Oceanogr.*, 63, 873-877; Watanabe, Y. W., Ono, T., et al. (2007), *Mar. Chem.*, 103, 347-358; Sakamoto, A., Watanabe, Y. W., et al. (2008), *Coast Shelf Sci.*, 79, 377-386; Ikeda, M., Watanabe, Y. W., et al. (2009); *EOS Tans.*, 90, 15; Ishida, H., Watanabe, Y. W., et al. (2009), *J. Oceanogr.*, 65, 179-186.

**II. 文部科学省 科学研究費補助金 特定領域研究(計画研究)**

研究課題「海洋の温室効果気体の長期変動と気候へのフィードバック効果」

研究代表者: 渡辺豊 H18-H22年:63,100千円 H22年度予定8,000千円

地球温暖化予測モデルへの気候フィードバック効果の組み込みは、大気海洋物質循環モデルでは、物理諸過程の変動による単純なパラメーター化が含まれているにすぎない。これらのフィードバック効果のモデルへの組み込みはまだ開発が始まったばかりであり、十分な信頼性を持つに至っていない。その最大の原因は、温暖化に伴う物質循環の数十年規模での長期トレンドと気候変動成分の判別が未だ定量化されていないこと、植物プランクトン種・サイズや海水中のアルカリリ度の変動との関係が不明な点、大気海洋循環の変動メカニズムが未だ不明なことにある。本研究では、北太平洋に焦点を絞り、高緯度海域から亜熱帯海域の広範囲を対象領域として、数十年規模の長期変動メカニズム解明のための物理・生物・化学的総合観測を実施し、大気海洋循環ならびに物質循環の数十年規模の長期変動メカニズムについて明らかにすることとした。その一部の結果として、急激な海洋成層化にともない現在、北太平洋では栄養塩循環ならびに生物活動が変わりつつあり、ここ数十年で変化していることを明らかにした(Yasuda et al., 2006; Watanabe et al., 2007, 2008; Ishida, Watanabe et al., 2008; Watanabe et al., 2009)。これらの結果は、気候変動に伴う海洋のCO<sub>2</sub>吸収速度ならびに窒素固定・脱窒過程の変動が急速に起こっていることが予想され、これらを明らかにするためには確度の高い数年スケールの見積法とその展開が必要となる。これらの変動は、十年規模の1桁下の数年規模の時間スケール、生物群集繁茂範囲の1桁下の経緯度1度以内の空間的スケールでの高分解能な表層混合層の炭素・窒素循環変動とそのフラックスの定量化、ならびに、これらに対する生物応答の評価が求められる。そこで、本研究の成果を踏まえ、本申請研究課題を提出した。

<当課題により得られた成果> Watanabe, Y. W., et al. (2005), *J. Oceanogr.*, 61, 1011-1016; Yasuda, I., et al. (2006): *Geophys. Res. Letts.*, 3533, L08606, doi: 10.1029/2005GL025237; Watanabe, Y. W., Ono, T., et al. (2007), *Mar. Chem.*, 103, 347-358; Watanabe, Y. W., et al. (2008), *Geophys. Res. Letts.*, 35, L01602, doi: 10.1029/2007GL032188; Ishida, H., Watanabe, Y. W., et al. (2009), *J. Oceanogr.*, 65, 179-186; Watanabe, Y. W., Nishioka, J., et al. (2009), *Geophys. Res. Letts.*, 36, L15606, doi:10.1029/2009GL038520; Yasuda, I. (2009), *Geophys. Res. Letts.*, 35 36, L05605, doi: 10.1029/2008GL036880.

**研究計画と研究進捗評価を受けた研究課題の関連性**

- ・本欄には、本応募の研究代表者が、平成20年度又は平成21年度に、「特別推進研究」、「基盤研究（S）」又は「学術創成研究費」の研究代表者として、研究進捗評価を受けた場合に記述してください。
- ・本欄には、研究計画と研究進捗評価を受けた研究課題の関連性（どのような関係にあるのか、研究進捗評価を受けた研究を具体的にどのように発展させるのか等）について記述してください。

該当するものはない

研究機関名 | 北海道大学

研究代表者氏名 | 渡辺 豊

**人権の保護及び法令等の遵守への対応（公募要領3頁参照）**

本欄には、研究計画を遂行するにあたって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究など法令等に基づく手続きが必要な研究が含まれている場合に、どのような対策と措置を講じるのか記述してください。

例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、患者から提供を受けた試料の使用、ヒト遺伝子解析研究、組換えDNA実験、動物実験など、研究機関内外の倫理委員会等における承認手続きが必要となる調査・研究・実験などが対象となります。

なお、該当しない場合には、その旨記述してください。

該当するものはない

**研究経費の妥当性・必要性**

本欄には、「研究計画・方法」欄で述べた研究規模、研究体制等を踏まえ、次頁以降に記入する研究経費の妥当性・必要性・積算根拠について記述してください。また、研究計画のいずれかの年度において、各費目（設備備品費、旅費、謝金等）が全体の研究経費の90%を超える場合及びその他の費目で、特に大きな割合を占める経費がある場合には、当該経費の必要性（内訳等）を記述してください。

申請者は、これまで $N_2$ 、Ar、DO、 $SF_6$ 、CFCs、DIC、Alk、 $^{13}C$ 、 $pCO_2$ 、栄養塩、Feの高精度測定  
の改良・測定と、解析・評価にはすで実績がある（例えば、Watanabe, et al., 2001, 2003, 2005,  
2007, 2008, 2009; Nishioka et al., 2005; Midorikawa, Yoshikawa et al., 2006; Ono et al.,  
2001, 2002, 2008）。本研究申請における観測・解析パラメーターの測定に関しては、測定装置は  
現有しており、その準備はほぼできているが、本申請の飛躍的な採水試料処理の向上を図るため、  
特に、DIC、Alk、 $pCO_2$ 測定器については、現有のものに加え、新規の機器導入が必要となる。こ  
のため、**(a)クーロメーター、アルカリ度測定装置、 $CO_2$ アナライザーを備品申請する。**

また、H22年度までに本グループは、観測船舶航行時に海洋表層混合層内の微量金属等を採水  
できる曳航体を開発した実績がある（西岡、小埜、坂岡ら、日本海洋学会2008年度秋季大会口頭  
発表）。また、観測船平均巡航速度（通常10-15ノット）での採水と、大気気泡が入らない状態  
での採水を可能とする溶存気体高頻度採水用システム（曳航体）は、溶存気体の動態研究には欠  
かすことが出来ないが、世界はこれまでに開発には至っていない。そこで、本研究申請に必要  
な仕様の観測船平均巡航速度12ノットでの以下の開発・改良を実施する。従来のものと比べ、**(a)**  
大気からの気泡貫入をなくすため、深く潜行させるための曳航体の重量化（本体総重量100kg、  
本体はステンレス使用、内部はタングステン使用）、**(b)**水中内での曳航体本体の安定性の向上を  
図るための尾翼の改良、**(c)**曳航体先端にある採水取り組み口での乱流発生を抑制するための改良  
（採水取り部分の形状の改良）、**(d)**曳航体から観測船まで海水をくみ上げるために必要な採水ポン  
プが気泡を発生しないような改良（ペリスタポンプの導入）等を実施する。ペリスタポンプは  
現有しているものを流用する。曳航体本体の作成は、流体力学の知識・海洋観測機器改良の実績  
のある板金・溶接業者に曳航体作成を依頼する予定である。ここで実証試験での破損等のトラブ  
ル、鉛直多層での採水、複数船舶での使用も考慮し、**(b)曳航体本体の作成4式を備品申請する。**

また、本申請で定量化される生物生産応答の妥当性を評価するため、現場での生物生産量と物  
理環境との比較する必要がある。このため、中立ブイによる現場生物生産量と物理環境の把握を  
実施するため、備品申請として、**(c) GPSブイ・送受信機を本申請予算で措置する。**

また、申請者らのみで研究計画で示した観測を行うのは困難が予想されるため、開発・観測の  
集中する当初の2年半について、**(d) 船上観測作業や測定・データ解析に従事する研究支援者1  
名を本予算によって措置する。**

**研究費の応募・受入等の状況・エフォート**

本欄は、第2段審査(合議審査)において、「研究資金の不合理な重複や過度の集中にならず、研究課題が十分に遂行し得るかどうか」を判断する際に参照するところですので、本人が受け入れ自ら使用する研究費を正しく記載していただく必要があります。本応募課題の研究代表者の応募時点における、(1)応募中の研究費、(2)受入予定の研究費、(3)その他の活動、について、次の点に留意し記入してください。なお、複数の研究費を記入する場合は、線を引いて区別して記入してください。具体的な記載方法等については、研究計画調書作成・記入要領を確認してください。

「エフォート」欄には、年間の全仕事時間を100%とした場合、そのうち当該研究の実施等に必要となる時間の配分率(%)を記入してください。

「応募中の研究費」欄の先頭には、本応募研究課題を記入してください。

科学研究費補助金の「新学術領域研究(研究領域提案型)」又は「特定領域研究」にあつては、「計画研究」、「公募研究」の別を記入してください。

所属研究機関内で競争的に配分される研究費についても記入してください。

**(1) 応募中の研究費**

資金制度・研究費名・研究期間(配分機関等名)	研究課題名(研究代表者氏名)	役割(代表・分担の別)	平成22年度の研究経費(期間全体の額)(千円)	エフォート(%)	研究内容の相違点及び他の研究費に加えて本応募研究課題に応募する理由
【本応募研究課題】 基盤研究(A)(一般) (H22~H24)	海洋の気体交換フィードバックシステムと生物生産応答に関する研究	代表	9,850 (26,750)	15	北太平洋高緯度海域の表層混合層の炭素・窒素物質変動ならびにそのフラックスの定量化、ならびに、これらに対する生物生産の応答の評価するのが、本応募申請である。(研究期間全体の直接経費総額:49,850千円)
挑戦的萌芽研究 (H22~H23)	海洋における二酸化炭素吸収変動量の高精度決定法の開発	代表	3,500 (5,000)	20	海洋のCO <sub>2</sub> 吸収評価の新規方法を提案し、実証する研究であり、本応募申請とは研究対象が異なる。このため、左記研究申請を行った。(研究期間全体の直接経費総額:5,000千円)
基盤研究(S) (H22~H24)	オホーツク海と北太平洋亜寒帯域をつなぐ熱塩/物質循環システムの実態解明(若土 正暁)	分担	1,000 (5,000)	10	オホーツク海の物質循環解明に特化した研究であり、本応募申請とは研究対象が異なる。このため、左記研究申請を行った。

研究機関名 北海道大学

研究代表者氏名 渡辺 豊

研究費の応募・受入等の状況・エフォート（つづき）					
（2）受入予定の研究費					
資金制度・研究費名・研究期間（配分機関等名）	研究課題名（研究代表者氏名）	役割（代表・分担の別）	平成22年度の研究経費（期間全体の額） (千円)	エフォート(%)	研究内容の相違点及び他の研究費に加えて本応募研究課題に応募する理由
1 特定領域研究(計画研究)(H18～H22)	海洋の温室効果気体の長期変動と気候へのフィードバック効果	代表	8,000 (45,600)	15	長期変動による温暖化物質のフラックスの定式化を図り、気候フィードバック解析を目的とする研究であり、時間規模を数十年規模に設定している。このため、本応募申請とは研究対象が異なる。このため、左記研究申請を行った。(研究期間全体の直接経費総額：63,100千円)
基盤研究(S)(H20～H24)	潮汐混合の直接観測と潮汐18.6年振動に関わる海洋・気候変動解明(安田一郎)	分担	1,000 (13,000)	10	北太平洋で現在起こっている海洋振動18.6年周期に関わる海洋物質循環の変動を把握するためのメカニズム解明研究であり、本応募申請とは研究対象が異なる。このため、左記研究申請を行った。
(3) その他の活動 [上記の応募中及び受入予定の研究費による研究活動以外の職務として行う研究活動や教育活動等のエフォートを記入してください。]				30	
合 計 (上記(1)、(2)、(3)のエフォートの合計)				100 (%)	