

B-7 北太平洋の海洋表層過程による二酸化炭素の吸収と生物生産に関する研究

(4) 高頻度観測データを利用した北太平洋域の海洋表層二酸化炭素分圧の時空間分布のモデル化に関する研究

環境省国立環境研究所

地球環境研究グループ 温暖化現象解明研究チーム 野尻幸宏、向井人史
(委託先) 東海大学海洋学部海洋工学科 久保田雅久

平成8～12年度合計予算額 65,415千円
(うち、平成12年度予算額 14,461千円)

[要旨] 国立環境研究所地球環境研究センターで行っている定期貨物船による北太平洋高緯度域のCO₂分圧観測のデータを解析した。海水-大気のCO₂分圧差($\Delta p\text{CO}_2$)の季節変化を関数化して、海洋グリッド毎に結果を解析した。多くの海域で年間1周期の調和関数成分が卓越する。しかし、本州東方海域では年間2周期成分が強く、春と秋に $\Delta p\text{CO}_2$ が低下する。千島・カムチャッカ半島沖の西部亜寒帯循環海域とベーリング海では、3月に $\Delta p\text{CO}_2$ 最大、9月に最低となるはっきりとした季節変動が認められ、春季の生物生産とともに $\Delta p\text{CO}_2$ が低下し、冬季の鉛直混合にともない $\Delta p\text{CO}_2$ が上昇することがわかった。これに対し、東部北太平洋高緯度海域のアラスカ湾では、季節変動幅が小さく、年間を通して $\Delta p\text{CO}_2$ はゼロないしわずかにマイナスであった。北太平洋中央部中緯度域では、5月に $\Delta p\text{CO}_2$ 最大、11月に最小の季節変化を示し、水温変動に伴う変化が卓越することがわかった。全季節を通した平均では、亜寒帯循環の北の縁辺を除くと正味のCO₂吸収があることが明らかになった。衛星観測で得られる風速を用いると、対象とした海域である北太平洋北緯34度以北の正味のCO₂吸収量は、年間0.34GtCであることが明らかとなった。

CO₂吸収・放出過程と生物化学過程の関連を解析した。全季節のデータが高頻度で得られる高緯度北太平洋のカナダから日本への西向き航路のデータを用いた。海洋のCO₂分圧データと栄養塩である硝酸のデータの季節変化とその間の相互関係に注目した。その結果、海域のpCO₂と硝酸のデータには正の相関が見られたが、その勾配は海域で一定していなかった。そこで、pCO₂の測定値をその海域の平均水温で規格化したところ、温度補償pCO₂と硝酸の関係に、よりよい正の相関があることがわかった。また、温度補償pCO₂と硝酸の勾配は海域によらず一定であり、生物粒子の炭素/窒素比と矛盾しないことがわかった。このことから、高緯度北太平洋のpCO₂の季節性が、主として春から夏の生物生産と冬の鉛直混合で支配されていることが明らかになった。

[キーワード] 二酸化炭素、海水中分圧、北太平洋、高頻度時系列観測、時空間分布

1. はじめに

海洋のCO₂吸収・放出収支を解明する観測として、表層CO₂分圧測定が従来から行われてきた。大気海洋間のCO₂交換量は、大気と海洋表層のCO₂分圧の差・水温・風速から計算できる。海洋表層のCO₂分圧(あるいはフガシティ)は、海水の鉛直混合・水温変化のような物理過程と、表層の植物プランクトンによる光合成のような生物化学過程で、変化する量である。結果として生じ

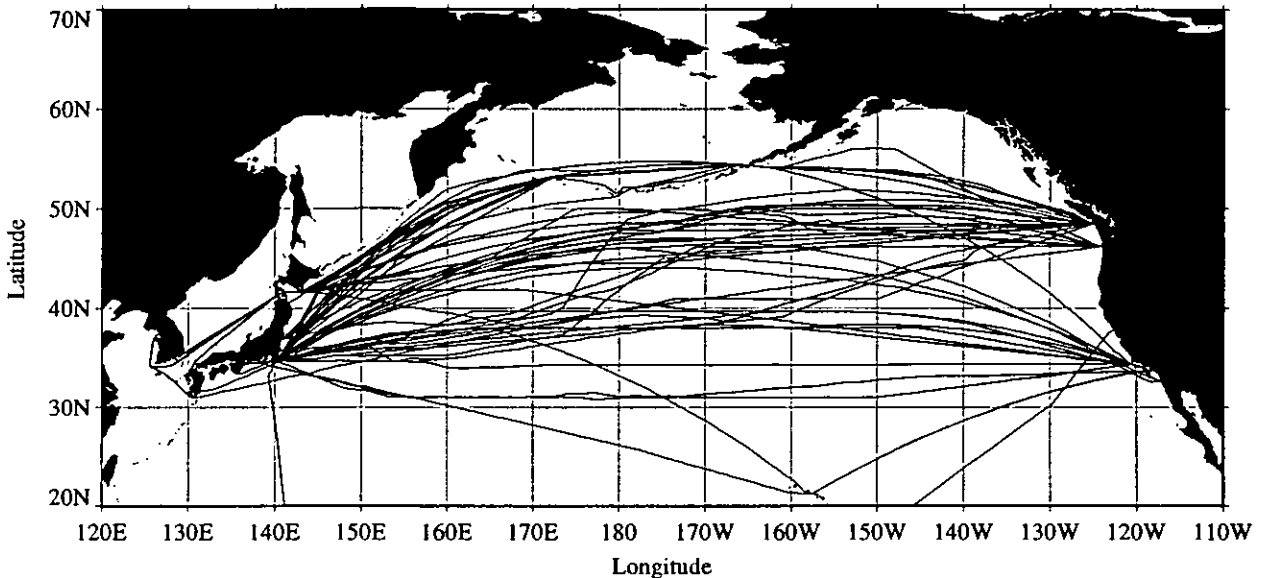


図1 M/S Skaugran による観測航跡図 (1995年3月から1999年3月までの34往復航海)

た分圧差と、水温・風速に応じた大気海洋間交換によって、現実の値は達成されるので、ダイナミックに変化する量である。このため、海域、季節による変化が大きい。海洋調査船では、季節変化をカバーするCO₂分圧観測は困難で、十分に観測が行われた海域はなく、データの不十分さが、海洋のCO₂吸収量推定に大きな不確定性をもたらし、炭素循環モデルの問題となってきた。定期航路船を利用すると、特定の海域についてならば、全季節をカバーする観測が行える。荒天が多い冬の高緯度域観測も可能である。

2. 定期貨物船による北太平洋高緯度海域のCO₂観測

国立環境研究所地球環境研究センター事業による北太平洋の温室効果気体のモニタリング観測は、日本/カナダ・アメリカ間に就航しているSeaboard International Shipping, Canada所属のノルウェー船籍製材運搬船M/S Skaugranの協力で行っている。この船は、カナダ材を日本に運ぶ航海を年間8回程度行っている。pCO₂は、機関室内に設置した測定装置で連続的に計測されており、便乗している観測要員が運転している。通常の貨物船運行航路でCO₂分圧データを全ての季節を通して取得している。95年3月に機材設置完了し観測開始した。99年9月までの期間に38往復観測航海を行い、終了した。図1が観測航路の記録である。航路は出港地、気象、海況に合わせて決められ一定しない。日本からの目的港は北米西岸の港（バンクーバー、ポートランド、ロスアンジェルス、サンジエゴなど）である。また、目的港が同じでも、夏季に比べて冬季は、厳しい海況を避けて南よりの航路を取ることが多い。日本に向う航路では、出港地はバンクーバーであることが多い。1997年までは、航路はアラスカ湾、ベーリング海をとる一定のもの（ほぼ大圏航路）であり、ベーリング海を抜けたところから、航海によって異なる日本の入港地に向けた航路をとった。ただし、1998年以降、ベーリング海航路をとらずに、南よりを航行する例があるようになった。

機関冷却水配管に枝管を取付け、船底(8-12m)から海水を連続採取している。機関室内に設置した2方式のCO₂分圧測定装置、水温塩分計などに海水を連続的に供給する。毎分のデータ収録とともに、化学分析用の定時(1日4回)採水を行っている。作業は、常時2名便乗している観測要員が行っている。大気海洋の分圧差計算に必要な気圧と大気中CO₂濃度も同時に連続測定している。CO₂測定値はすべて、環境研1995標準ガススケールで標準化したガスを基準にして分析している。

3. 大気・海洋CO₂分圧算出

船上観測されたCO₂分圧値は、乾燥空気中のCO₂分圧、いわゆるxCO₂である。これは、船内の配管を海水が通過する際に避けられない水温上昇の影響を受けている。M/S Skaugranは米国NOAAのTRANSPAC観測に協力していて、航海中毎日XBT(投込型水温深度プロファイラー)で水温を実測している。その結果、船外水温をXBT実測値(水深10m)から求めることができた。船内の水温塩分計の値を、毎日のXBTデータと比較し、水温に対する昇温幅の関数を得た。通常水温が低いほど船内温度との差が大きくなり昇温幅が大きくなる。また、昇温幅は流量の関数でもある。吸水管の流路抵抗が鉄錆の蓄積で相当に変化したため、1995年3月の観測開始時(約0.5°C)に比較して、1996年夏には、昇温幅が著しく大きく(最大2.0°C)なった。また、船の積み荷の量で給水圧が変動する影響も受けて複雑である。1996年12月には配管の交換、1997年2月には配管の断熱工事を行い、その後は、3°C以下の低水温の海域でも0.4°C以下の昇温幅で押さえることができるようになった。また、1997年5月以降は、配管の船底に近い部分に温度センサーを取り付け、その温度値から、より正確な水温上昇が求められるようになった。

まず、実測されたCO₂(温度未補正)に対し、気圧と水蒸気圧(気圧・塩分から計算できる)を補正して、平衡器水温・湿潤状態のCO₂フガシティ(fugacity)を計算した。次に、Weiss(1982)による式を用いて、船外水温からの昇温がfCO₂に与える効果を補正し、現場水温のfCO₂とpCO₂を求めた。大気CO₂の変化とともに表現する目的には、乾燥空気中CO₂分圧が適当な場合もあり、水温補正xCO₂にも再換算した。

4. pCO₂のデータのマッピングとよる季節変化の解析

この北太平洋貨物船による観測データセットは、観測船によるものと比較して、格段に時空間的カバーに優れているが、その航路が積み荷、目的地で変動するため、単純な時系列データ解析で、時空間分布を端的に捕らえることが、困難であった。そこで、本課題では、その解析方法を研究して、北太平洋全域のΔpCO₂マッピングを行った。

船上で観測されているデータは、海水-大気分圧差(ΔpCO₂)で表現して解析に供した。pCO₂の絶対値での表現では、観測年次が異なるものを比較することができないが、海水-大気差はその比較を容易にする。

Skaugranが航走する東経145度から西経125度の海域について、海域グリッド毎にpCO₂の季節変化関数を観測データから算出した。データを経度方向に5度毎に区切った。この経度帯について、pCO₂、水温、塩分などの平均値を求めた。次にデータを、緯度方向に4区画に区切った。図1の縦棒線がその区画の範囲を示す。区画は、観測データによる季節のカバーが十分となるように、調整した。すなわち、まず航跡がある範囲の北と南の2つのグリッドを観測データのない間隔が4

ヶ月を上回らない範囲で最小の範囲に決めた。南の領域の限界を北緯34度に定め、それより南のデータは解析に用いないこととした。次にその内側の領域を南北に2分割しデータ間隔が4ヶ月を上回らない範囲で最小の範囲を決めた。この内側の領域の区画には、データ間隔が4ヶ月を上回る例外がわずかにあるが、緯度範囲を調節しながら得られる季節関数が緯度・経度方向のグリッド間で連続的に変化することを確認して調整した。季節関数は次のような1年1周期および2周期成分を持つ調和関数である。

$$\Delta p\text{CO}_2(n,t) = a + b \sin(2\pi t) + c \cos(2\pi t) + d \sin(4\pi t) + e \cos(4\pi t)$$

ここで、 n は緯度、 t は時間（年、1月1日を0、12月31日を1とする）、 a, b, c, d, e がデータの回帰分析で得られる定数である。東端の経度帯ではデータのある緯度が限られていたため3分割とした。このような緯度範囲分割を行ったのは、 $p\text{CO}_2$ の季節変化関数が、緯度によって大きく変化することが従来の解析で明らかになってきたためである。観測データが限りなく密に得られる場合、できるだけ狭い緯度範囲で解析すると、より正確な季節変化推定となる。

結果として得られた $p\text{CO}_2$ の季節変化関数の例が図2である。図1の全区画（75区画）で同様な季節関数を求めた。これらの季節関数によって推定される $p\text{CO}_2$ と実際に観測された $p\text{CO}_2$ との差を求めた結果は平均 $17\mu\text{atm}$ であった。すなわち、北緯34度以北の北太平洋全領域の $p\text{CO}_2$ が時間(Julian day)の関数で表現され、その推定の誤差が $17\mu\text{atm}$ 程度であると考えられた。

結果から、海域毎の $\Delta p\text{CO}_2$ 変動の季節性、振幅の違いが明らかになった。図3がマッピングの結果であって、二酸化炭素の吸収域と放出域を色分けして示してある。三陸沖は、春と秋に $\Delta p\text{CO}_2$ が低くなる CO_2 の吸収域である。西部亜寒帯循環海域と呼ばれる千島沖・カムチャッカ半島沖では、冬季の $\Delta p\text{CO}_2$ 増大が顕著であるが、夏季の低下も大きく、振幅が大きい。このことは、春から夏の生物生産の大きさと冬季の鉛直混合による亜表層水からの CO_2 の回帰を示している。アラ

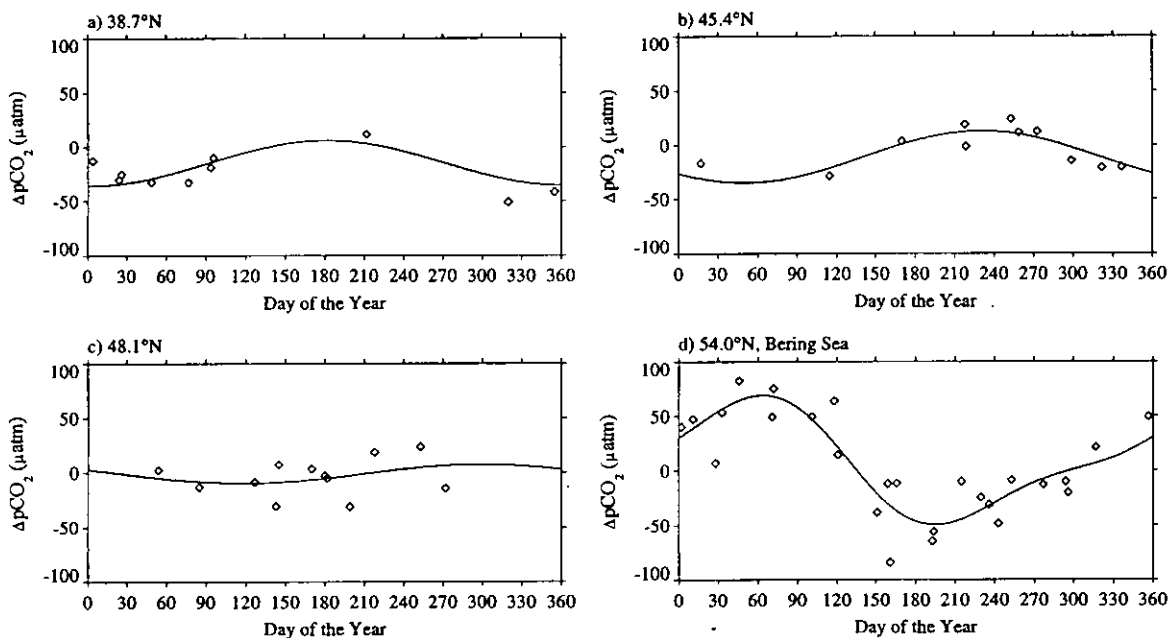


図2 M/S Skaugran 観測のデータから得た $p\text{CO}_2$ 季節変化関数の例、西経 175 度、a)-c)は太平洋、d)はベーリング海。

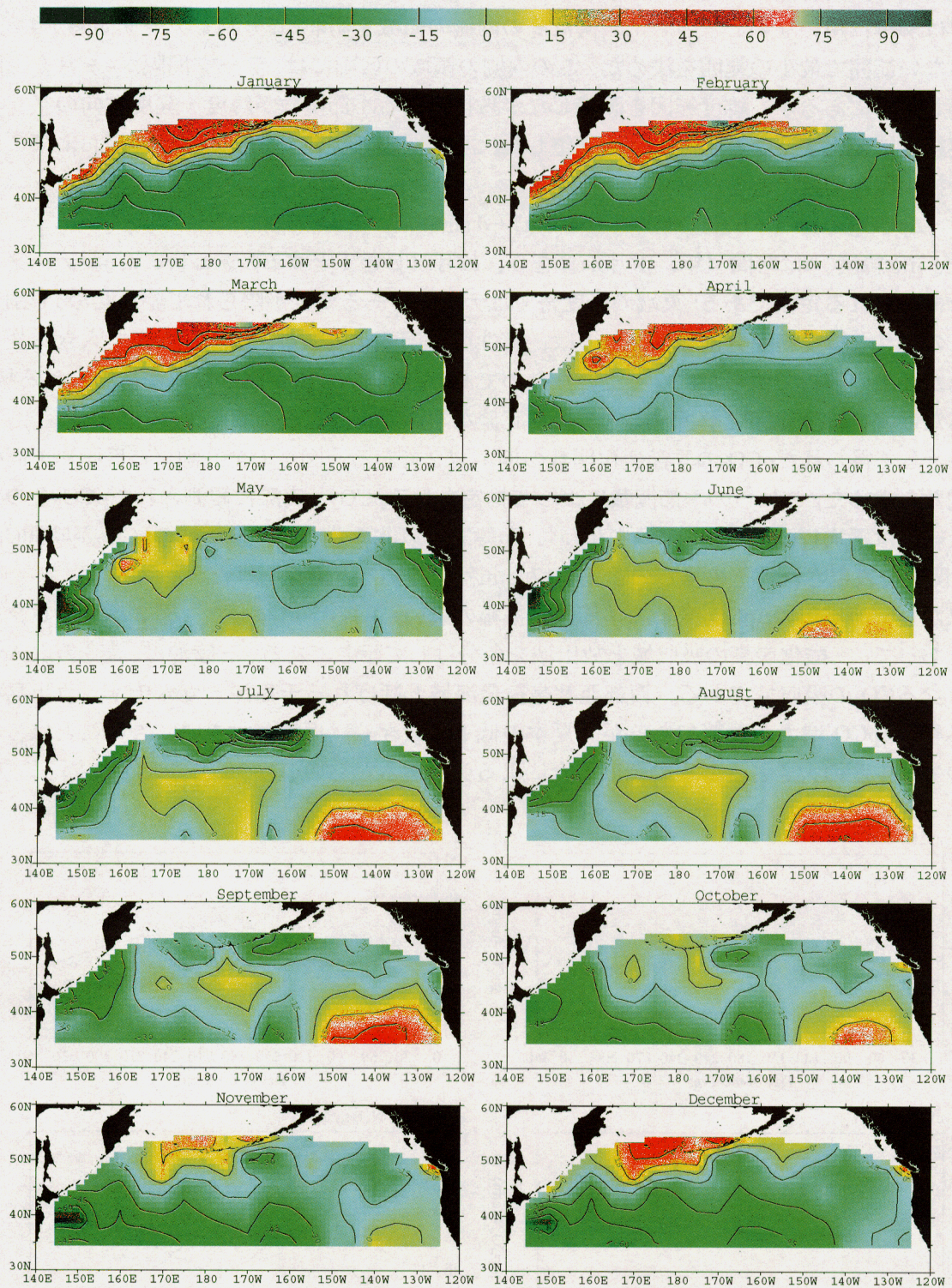


図3 国立環境研究所によるM/S Skaugran観測（1995年3月から1999年3月の34往復航海）で測定されたデータに基づいて解析した北太平洋の海洋-大気の二酸化炭素分圧差（ μatm ）

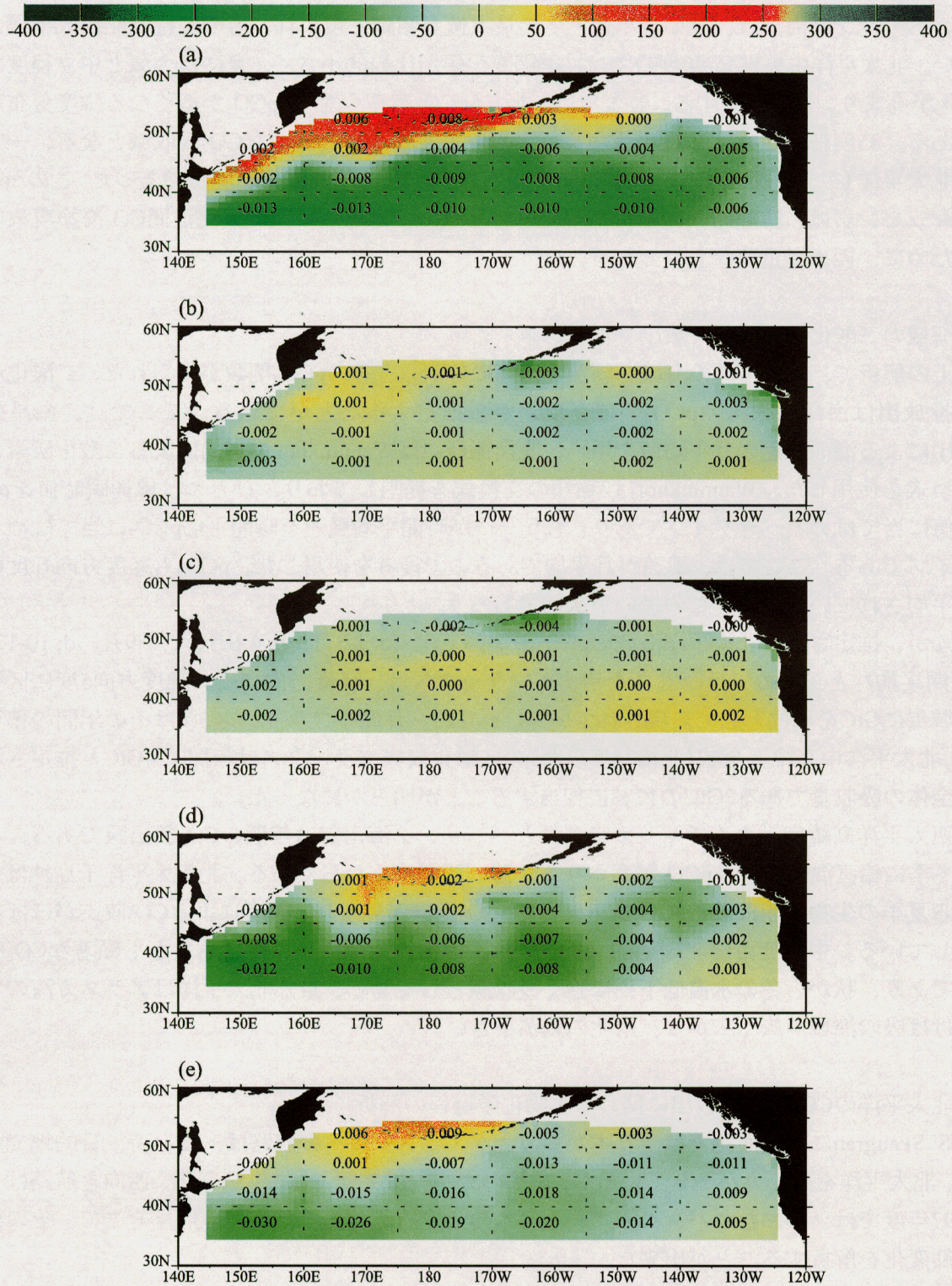


図4 推定された北太平洋海域の pCO₂ の季節変化 (a; 1-3 月、b; 4-6 月、c; 7-9 月、d; 10-12 月、e; 年間平均) と正味のフラックス。pCO₂ はカラーバーで示した μatm が単位である。フラックスは経度方向 15 度、緯度方向 5 度に区切った海域毎に GtC を単位として表現した。a-d は 3 ヶ月間のフラックス、e はその年間の積算である。マイナスが海域の吸収、プラスが放出を表わす。

スカ湾では季節変化幅が小さく、年間を通して大気よりわずかに低い $p\text{CO}_2$ を示す弱い吸収海域である。ベーリング海では、夏の最小値と冬の最大値が明瞭に現われ、その振幅は北西太平洋より大きい。北太平洋中央部45-40度帯では、季節変化幅が比較的小さく、夏には大気と中立程度まで $\Delta p\text{CO}_2$ が高まり、冬に低下する。ここでは、北で $\Delta p\text{CO}_2$ が高く南で $\Delta p\text{CO}_2$ が低くなる緯度分布が顕著である。35度帯の冬季は $p\text{CO}_2$ が大気よりかなり低くなって、重要な CO_2 吸収域となる。一方、東部北太平洋(アメリカ西岸沖)では、 $\Delta p\text{CO}_2$ は夏に高くなる季節変化が明瞭であった。この $\Delta p\text{CO}_2$ 広域マッピングは、実測結果のみに基づくという点で、地球規模大気/海洋間 CO_2 交換現象の解明のために、極めて重要なものである。

5. 海域の二酸化炭素吸収・放出フラックス

以上の解析で、北太平洋の海域を細かい区画に分割し、その $p\text{CO}_2$ 関数が得られた。二酸化炭素の交換放出は海洋-大気の $p\text{CO}_2$ の差と風速から推定することができる。ここでは、衛星観測(SSM)による海面風速の月平均値を用い、交換係数にはWanninkhof [1992]による二酸化炭素のガス交換式を使用した。Wanninkhofは2種類の交換式を提唱しており、ひとつは風速瞬時値を $p\text{CO}_2$ 瞬時値に当てはめるべきタイプであり、もう一つが時間平均風速を時間平均 $p\text{CO}_2$ に当てはめるべきタイプである。ここでは、風速が月平均であるので後者を使用した。 $p\text{CO}_2$ も経度方向5度の範囲で平均されているので、この扱いが適切であろう。

図4が、推定された北太平洋海域の $p\text{CO}_2$ の季節変化(a; 1-3月、b; 4-6月、c; 7-9月、d; 10-12月、e; 年間平均)と正味のフラックスを示す。フラックスは、経度方向15度、緯度方向5度に区切った海域毎に GtC を単位として表現されている。a-dは3ヶ月間のフラックス、eはその年間の積算である。北太平洋中高緯度全域(北緯34度以北)の二酸化炭素フラックスは年間 0.24GtC と推定され、海洋全体の吸収量である 2GtC の12%に相当することが明らかになった。

北西太平洋高緯度、カムチャッカ半島沖とベーリング海南部は年間の CO_2 放出源である。これは、冬季に鉛直混合により $p\text{CO}_2$ が高まりまた強い風が吹くからである。北西太平洋千島沖は、春季から夏季の生物生産による $p\text{CO}_2$ 低下と冬の $p\text{CO}_2$ 上昇が見られ、両者による CO_2 収支がほぼバランスしている。中緯度西部北太平洋(日本の東)が観測対象海域の中でもっとも顕著な CO_2 吸収海域であり、秋から冬の水温低下期に強く吸収源として働く。東部北太平洋はアラスカ湾の北部を除けば吸収海域が広く広がり、南北の差が小さい。

6. 北太平洋の CO_2 吸収・放出に関わる生物化学過程の解析

M/S Skaugranによる観測では、日本からカナダ・アメリカへの航路は、積み荷、目的地で変動して、北太平洋を広くカバーしているが、季節のカバーは完璧ではない。一方、西向き航路は1995-1997年度では、おおむねバンクーバー-日本の一定航路であった(図5)。そこで、その詳細な季節変化を解析することが出来た。

図5で示したM/S Skaugran西向き航路(SK01W-SK23W, 1995年4月-1998年1月)23航海から、経度5度毎の平均データで解析を行った。航路の平均緯度 ± 2.5 度の南北範囲を船が通った場合のみデータを選択した。カリフォルニアからの航海(SK23W, 1998年1月)の東太平洋部分を除くと、ほぼ全航路が ± 2.5 度の緯度帯を通り、季節性の検討に緯度の影響はほとんどないと考えられた。

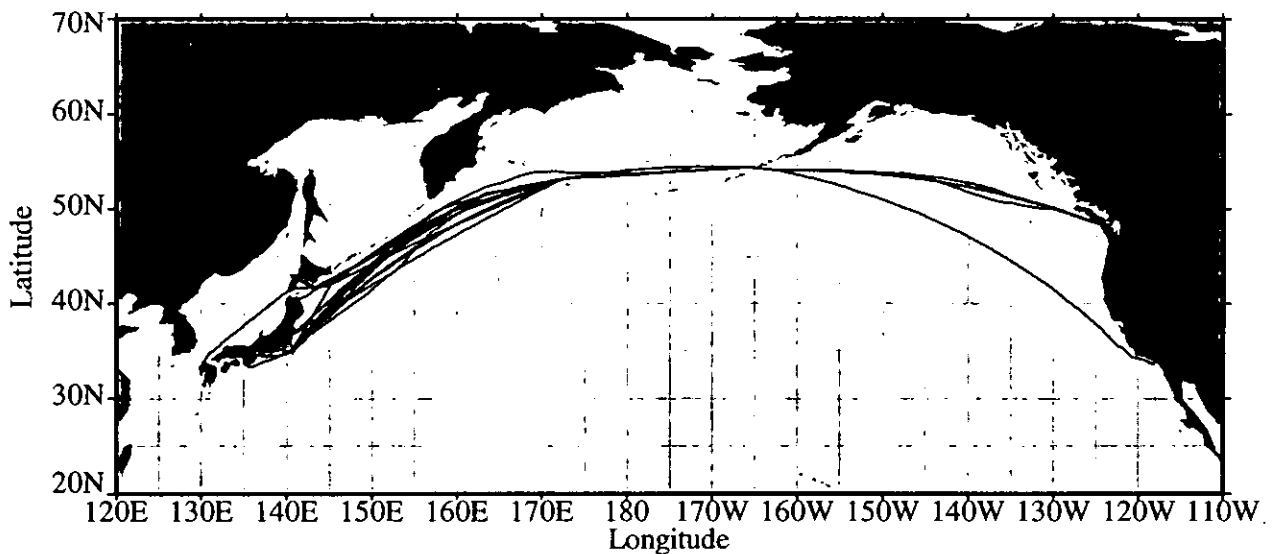


図5 日加間貨物船観測における西向き航路航跡図(1995年4月-1998年1月の23航路)

pCO₂、水温の観測データは毎分のデータ取得による連続データである。航海毎に経度5度毎の平均値を算出した。一方、栄養塩類は6時間おきの採水による持ち帰り分析であるので、連続データではないが、経度5度毎の解析では、経度帯当たり約3試料のデータが得られるので、平均を算出して用いた。

図6が東経150度におけるデータ解析例である。図6(a)がpCO₂の季節変化であり、1-4月が大気より高いpCO₂、6-11月が大気より低いpCO₂を示すが、6-11月の期間は比較的一定のpCO₂である。この海域での硝酸の変動が図6(c)である。近似関数では2-3月に最大値5μM、9月に最小値4μMであるが、夏の時期は年による変動が大きい。pCO₂と硝酸の相関は図6(f)に示され、確かに正の相関がある。一方、観測で得たこの海域の表面水温の変化が図6(b)である。12度という大きな夏と冬の水温差がある。ここで、二酸化炭素の溶解度の水温変化から求めたpCO₂の温度係数0.00423/degを用いて、この海域の平均水温に補償したpCO₂が図6(d)である。この図の場合、温度補償前のpCO₂の季節変化関数と温度補償後の関数の両方を示し、その変化をハッチで示した。温度補償したpCO₂変化は、全炭酸の変化とおおむね対応するものである。例えば、pCO₂の測定値は6月から9月にかけてほとんど変化しないが、その間水温は上昇を続けて最高水温に達する。その間CO₂の溶解度は低下して行くにもかかわらず、pCO₂が増大しないということは、CO₂が生物生産に利用されて全炭酸が減少して行っていることを意味する。また、全炭酸濃度が変化しないならば、2-3月の低水温の時期には、CO₂の溶解度増大が影響し、pCO₂は低下する。しかしながら、この時期にpCO₂が高まるということは、混合層深度が深まって、亜表層から全炭酸の高い海水が表層に供給されて、表層の全炭酸が増大していることを意味する。温度補償したpCO₂と硝酸の相関を求めたグラフが図6(e)であり、極めてよい相関を示した。

同様な解析を、ベーリング海中央部で行うと、図7(a), (b)のようになった。この場合、年間の水温差がやや小さいため、温度補償の大きさが小さい。図7(c), (d)はアラスカ湾中央部の西

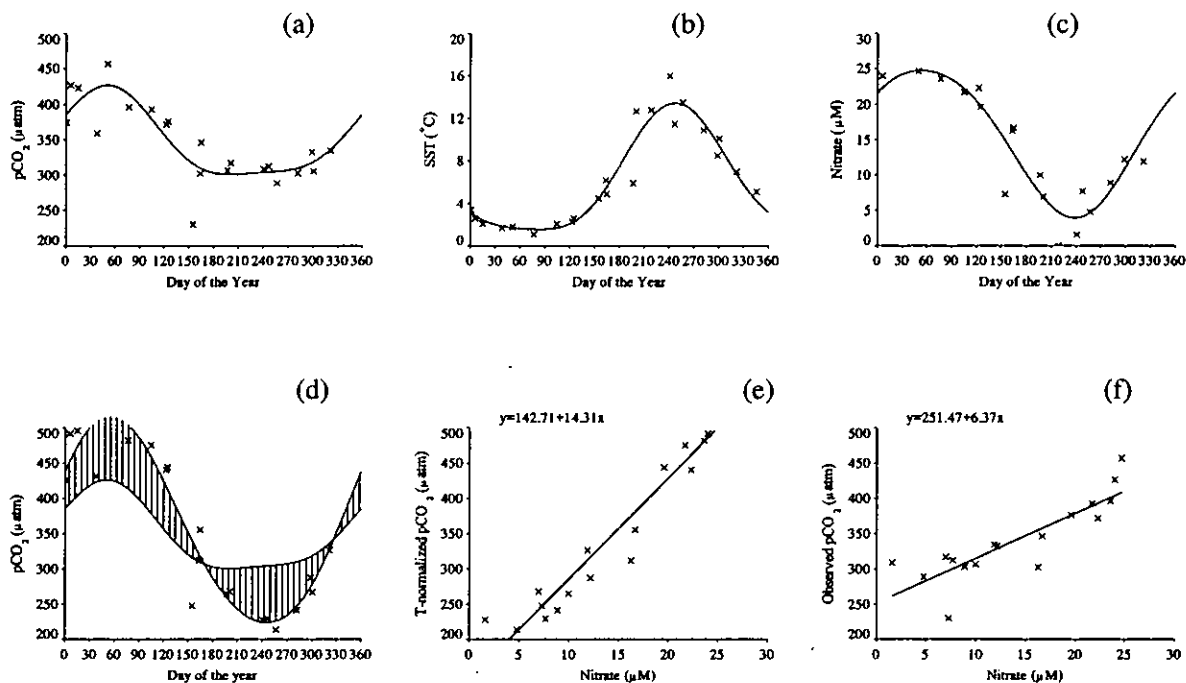


図6 M/S Skaugran 観測西向き航路の東経150度付近(千島列島沖)での (a) pCO₂の季節変化、(b)表面水温の季節変化、(c)硝酸濃度の季節変化、(d)温度補償 pCO₂の季節変化、(e)温度補償 pCO₂と硝酸の相関、(f) pCO₂と硝酸の相関

経145度のデータであり、温度補償をしないpCO₂では季節変化がほとんど認められない。このことは一見すると、この海域での生物生産の寄与が極めて小さいことを示しているかに思えるが、温度補償を行うと、pCO₂に明瞭な夏の低下が見られる。硝酸の季節振幅は10µM程度と、西部亜寒帯太平洋やベーリング海と比較して小さいが、温度補償pCO₂の季節振幅の大きさとよく対応している。ベーリング海のpCO₂の季節振幅は千島沖東経150度より大きい、硝酸の季節振幅はやや小さい。ここで、温度補償を行うと、pCO₂の季節振幅が千島沖150度より小さくなり、硝酸の季節振幅とよく対応していることがわかる。このように、硝酸や温度補償pCO₂の振幅は相当に異なるが、その温度補償pCO₂と硝酸の勾配がほぼ一定値であることがわかった。

そこで、東経145度から西経130度までの全航路範囲で解析を行い、温度補償したpCO₂と硝酸の関係式を求めた。直線関係は全経度帯で明瞭に見られ、その勾配は12.8から17.3の範囲にあって、ほぼ一定値(平均15.0±1.2µatm/µM)を示した。温度補償したpCO₂と硝酸の勾配を炭素/窒素のモル比に換算するために、この海域の平均的な水温(7°C)、塩分(32.7‰)、アルカリ度(2230µmol/kg)を用いて計算したところ、炭素/窒素比は6.7であった。これはいわゆるRedfield比(C:N:P=106:16:1)とほぼ等しいものであった。このことは、この海域の夏のpCO₂低下に表層での植物プランクトンによる効果が大いこと、また、冬の炭酸の回帰が亜表層までの鉛直混合によることを意味すると考えられた。亜寒帯北太平洋での中層100m以深の海水では炭酸と硝酸が深度とともに濃度増加する際の増加の炭酸/硝酸モル比は10程度であって、Redfield比より炭素に富む。すなわち、冬の混合深度が100m程度であってそれより非常に深くはない。西部北太平洋高緯度域では、水深100m

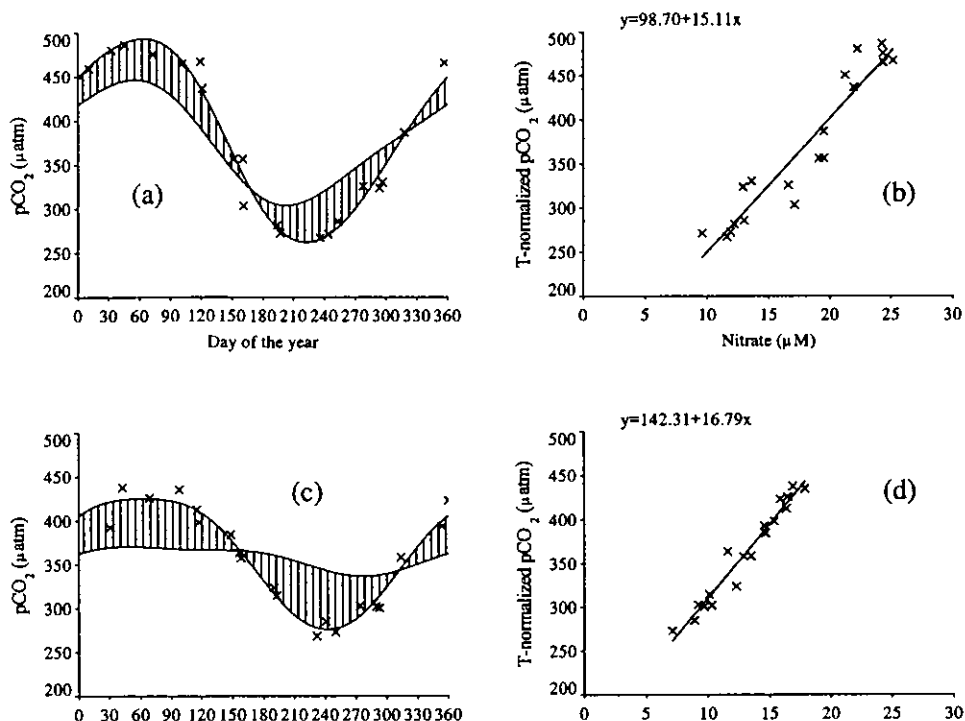


図7 M/S Skaugran 観測西向き航路の日付変更線付近(ベーリング海)での (a) 温度補償 pCO₂ の季節変化、(b)温度補償 pCO₂ と硝酸の相関、西経 145 度付近(アラスカ湾中央)での (c) 温度補償 pCO₂ の季節変化、(d)温度補償 pCO₂ と硝酸の相関

に水温極小層があって、そこから深い層に至る強い塩分躍層がある。これは、強い密度成層を作り、それ以深の鉛直混合を強く妨げていることと整合的である。

このように、表層海洋のpCO₂観測データの解析から、海域の炭素循環・物質循環の推定が可能となった。表層水温は衛星観測から全球データが得られる。これにクロロフィルの衛星データを組み合わせることで、硝酸の濃度推定ができることが最近わかってきた。このような、硝酸濃度変化とpCO₂変化の解析は、全球のpCO₂推定に役立つ。

[国際共同研究等の状況]

相手先 カナダ政府水産海洋省海洋科学研究所、1997年3月および1998年3月研究者を招聘し国立環境研にてワークショップ開催、1995年以来日加間貨物船による観測維持協力、試料化学分析協力およびデータ解析協力を継続している

相手先 米国NOAA太平洋環境研究所、1996年11月および1998年3月研究者を招聘し国立環境研にてワークショップ開催、1998年11月以来観測データ解析の共同研究を実施

国際シンポジウム開催 1999年1月 つくばにて2nd International Symposium, CO₂ in the Oceansを開催。国外参加者70名、国内参加者160名。

[研究発表の状況]

(1) 誌上発表 (学術雑誌)

- Y. Nojiri, J. Zeng, C. S. Wong and T. Kimoto, Ship-of-opportunity measurements of pCO₂ in the North Pacific with complete seasonal coverage, in 'Biogeochemical Processes in the North Pacific', 87-90, edited by S. Tsunogai, Japan Marine Science Foundation (1997)同論文集に関連論文3件。
- Y. Nojiri, C. S. Wong and T. Kimoto, Measurement of pCO₂ in the High latitude Northern Pacific, *Caribbean J. Sci.*, 32, 274-276 (1996).
- Y.Nojiri, Y.Fujinuma, J.Zeng and C.S.Wong, Monitoring of pCO₂ with complete seasonal coverage utilizing a cargo ship M/S Skaugran between Japan and Canada/US, Proceedings of the 2nd International Symposium, CO₂ in the Oceans, 17-23, CGER-NIES (1999)同論文集に関連論文6件。
- J.I.Goes, T.Saino, H.Oaku, J.Ishizaka, C.S.Wong and Y.Nojiri, Basin scale estimates of sea surface nitrate and new production from remotely sensed sea surface temperature and chlorophyll, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1263-1266 (2000).
- Y.Obayashi, E.Tanoue, K.Suzuki, N.Handa, Y.Nojiri and C.S.Wong, Spatial and temporal variabilities of phytoplankton community structure in the northern North Pacific as determined by phytoplankton pigments, *Deep-Sea Res.*, 48I, 439-469 (2001).
- P.Murphy, Y.Nojiri, D.E.Harrison and N.K.Larkin, Scales of spatial variability for surface ocean pCO₂ in the Gulf of Alaska and Bering Sea: toward a sampling strategy, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1047-1050 (2001).

(2) 口頭発表

- Y.Nojiri, Y.Fujinuma, J.Zeng and C.S.Wong, Seasonal and spatial characteristics of fCO₂ in the northern North Pacific monitored by a ship-of-opportunity, PICES 7th Annual Meeting, Oct. 1998, Fairbanks, Alaska.
- Y.Nojiri, Y.Fujinuma, J.Zeng and C.S.Wong, Monitoring of pCO₂ with complete seasonal coverage utilizing a cargo ship M/S Skaugran between Japan and Canada/US, 2nd Int. Symp. CO₂ in the Oceans, Jan. 1999, Tsukuba, 同シンポジウムで他4件。
- Y.Nojiri, P.Murphy, J.Zeng and C.S.Wong, Estimated distribution of new production in the North Pacific using high density data set of pCO₂ measured by M/S Skaugran as a Japan-Canada cooperative program, JGOFS Open Science Conference, Apr. 2000, Brest.
- C.S.Wong, Y.Nojiri, J.Zeng and W.K.Johnson, Seasonal and spatial variability of CO₂ and nutrients in North Pacific Ocean (34°N-54°N) observed by the ship-of-opportunity M/V Skaugran for a Japan-Canada cooperative program, JGOFS Open Science Conference, Apr. 2000, Brest.

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし