

地球一括計上

課題名	海洋表層CO ₂ 分圧観測国際データベース形成と海洋CO ₂ 交換広域推定に関する研究		
担当研究機関	独立行政法人国立環境研究所		
研究期間	平成23-25年度	合計予算額 (当初予算額 ベース)	56,803千円 (うち25年度 19,223千円)
研究体制	海洋表層CO ₂ 分圧観測国際データベース形成と海洋CO ₂ 交換広域推定に関する研究 (独立行政法人国立環境研究所)		
研究概要	<p>1. 序 (研究背景等)</p> <p>海洋は地球上で最大の自然CO₂吸収源であり、海洋表層CO₂分圧 (pCO₂) の平均は大気CO₂分圧より低く、その分圧差が海洋CO₂吸収の駆動力になっている。その結果、海洋による人為起源CO₂吸収は、最近10年間 (2002-2011年) における推定では毎年2.4 PgC程度働いていると見積もられ、大気CO₂濃度増加抑制に寄与している。海洋CO₂吸収量の時空間変動を明らかにすることは、全球炭素循環モデルによる海洋吸収の将来予測の精度向上に貢献する。これは、地球温暖化による海洋CO₂吸収量変化予測を通して、人為起源CO₂排出削減必要量の評価に関連する情報を与える重要な地球観測課題である。</p> <p>海洋表層pCO₂は観測でしか測定できないパラメータであるので、その全世界的な観測網の維持・運用を国際協力のもとで行う体制が作られ、日本は北太平洋と西太平洋で重要な役割を担っている。国立環境研究所 (国環研) では、1995年以来北太平洋の海洋表層CO₂分圧観測を継続実施してきており、1995年から2014年の20年間にわたって途切れることなく観測を継続し、北太平洋中緯度以北および太平洋西部海域のCO₂放出・吸収の平均分布とその時系列変化を明らかにしてきた。</p> <p>海洋表層pCO₂データを客観的に集約統合し、国際的に流通させるシステムとして、UNESCO/IOCCP (International Ocean Carbon Coordination Project) によるSOCAT (Surface Ocean Carbon Atlas) 計画が進行し、全球を対象とした海洋pCO₂データベースの構築体制 (国際データセンター) が確立した。本課題では、国環研の北太平洋・西太平洋の貨物船観測をサポートし、国際データセンターへの観測データの迅速な登録を進めるとともに、太平洋域の観測を実施する他機関のデータを国際センターに登録あるいは登録支援するハブ機能を、国環研が果たすことを目的の一つとして提案された。SOCATは、2011年に第1版を一般公開し、引き続き観測データを追加した第2版を2013年6月に公開した。2013年12月に第3版向けのデータ収集を締め切り、その品質管理と公開に向けたプロセスを現在進めている。この一連のデータベースの形成と国際流通の活動において、国環研は本研究課題のもとで太平洋域のハブの機能を果たしている。</p> <p>また、国環研のデータセット、国内他機関の観測データセット、SOCATで得られる国際データベースのデータセットを統合解析し、ニューラルネットワーク手法を用いて、年々の月毎のpCO₂分布推定を行うことが本課題の狙いである。ニューラルネットワークは、水温、混合層深度などの複数の海洋データセットとpCO₂観測値を対照して「脳 (コンピュータ)」に学習させ、観測値のない海域のpCO₂を非線形的に推定する手法であり、海域毎のCO₂吸収放出量を推算するインバース解析などの精度向上に貢献する。本研究課題では、国環研の観測データ利用による北太平洋のpCO₂推定から、国際データベースのデータを利用する太平洋全域のpCO₂分布推定と全球推定の手法開発、加えてpCO₂分布推定結果から全炭酸の分布を得て北太平洋の生物生産分布を解析する研究に発展させた。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>国環研で実施している太平洋域の定期貨物船による海洋表層pCO₂観測のデータ処理・確定プロセスを迅速化し、速やかなデータ公開の実現により国内外のデータ利用促進を図ることを目的とする。地球温暖化対策に貢献する二酸化炭素モニタリングデータの利用促進のための、データ取得技術向上、データ品質向上に加え、効率的なデータ提供システムを整備する。</p>		

ニューラルネットワークは非線形的な現象を扱うのに優れた手法であり、衛星観測や再解析モデルなどで海盆分布が得られる水温・塩分・混合層深度・クロロフィル a 濃度とpCO₂観測値を用いて、計算機にアルゴリズムに基づいた経験学習を行わせ、海盆スケールのpCO₂時空間分布推定を可能にすることを目的とする。本課題では、観測データの少ない海域へのニューラルネットワーク手法の適用性を評価する。さらには、今後の手法展開のために、全球推定を可能とする手法の検討を行う。また、海洋表層の生物生産や鉛直混合で変化する海水中のCO₂の挙動をより直接的に表現するパラメータである全炭酸濃度のマッピングを行うことで、その長期平均場や季節変動を明らかにして、海域のCO₂吸収・放出の制御要因を明らかにする研究を行う。

3. 研究の内容・成果

(1) 海洋pCO₂国際統合データベース (SOCAT) 太平洋ハブ

国環研では、太平洋域で運航している民間貨物船の協力を得て、洋上大気と表層海洋のpCO₂観測を実施している。本課題では、観測データに対してほどこす迅速な高精度品質管理の手法を検討し、改良を行なった。本課題期間中に、船底水温と平衡器水温のセンサーを高精度で正確なものと交換して、水温の校正作業を不要とした。その他のpCO₂データ確定に必要な補助的測定項目の測定を改良し、pCO₂データの品質管理が向上した。加えて、処理プロセス全体の見直しを行い、迅速化を図った。

国環研では、独自のデータ提供プラットフォームとしてWebページSOOP (<http://soop.jp>)を作成し公開している。SOOPでは、SOCATの統一フォームでは公開しきれない情報、たとえば観測装置の設置状況を示す画像や、観測船の要目、連続計測データの標準偏差まで公開している。SOOPで海洋表層のpCO₂データを公開している観測船は、過去の観測プラットフォームであるSkaugran、Alligator Hope、Golden Wattleおよび本課題期間中のプラットフォームであるPyxis、Trans Future 5である。現在も運行しているTrans Future 5の観測データは随時追加更新を行っている。Pyxisでは2001年11月に観測が開始されたが、2013年4月に、設備等の老朽化のため終了とした。その後続船としてNew Century 2に装置を搭載することを関係船社に認めていただき、主な設備をPyxisから移設する作業を行って、2014年4月から観測を開始した。大気観測を行っている2隻の協力貨物船を含め、2014年3月までの観測データの確定がすべて完了し、公開済みとなった。

このように、国環研の定期貨物船によるCO₂観測は、北太平洋航路、西部太平洋航路、アジア航路（大気のみ観測）のすべてで、本課題のもとで観測データの処理・確定の迅速化が進み、船上センサーの一部に問題が生じて再校正や再計算が必要とならない限りは、半年以内のデータ公開が可能な体制となった。これは国内外の同種の観測を行っているプログラムの中で最も早いデータ公開であり、データ活用の利便性を高めている。

SOCATはUNESCO/IOC（国連教育科学文化機関/政府間海洋学委員会）とICSU/SCOR（国際科学会議/海洋研究委員会）が設立したIOCCP（International Ocean Carbon Coordination Project：国際海洋炭素共同プロジェクト）が2007年4月に立ち上げたプロジェクトである。SOCATのねらいは、SOCATのもとに集められた海洋表層CO₂データについて、均一な品質管理（QC）を行ってデータベースの作成を行い、定期的に更新しながら一般に広く公開すること、観測データとメタデータのストレージを長期安定に確保することである。この目的で、データセンターがノルウェーのベルゲン大学に置かれた。また、プログラム開発とサーバー管理はNOAA/PMEL（アメリカ海洋大気庁/太平洋環境研究所）が行っている。データのQCは、現場観測に関係している研究者でなくては行えないものであるため、地域代表研究者（北太平洋については本課題の研究代表者）が分担することとなった。

SOCATプロジェクトでは、Web上でQCを行えるよう閲覧機能を充実させ、緯経度の格子点毎のマッピング、観測要素間の散布図（プロパティ間プロット）、データ比較やダウンロードなどを可能にしたプログラムLAS（Live Access Server）を開発し、サーバー管理を含めNOAA/PMEL（アメリカ海洋大気庁/太平洋環境研究所）が維持している。30度以北の北太平洋のQCについて国環研が引き受け、国内外の他機関のデータを含むQCを実施することとなった。

QCは、観測データとメタデータを評価対象として航海毎に行った。まず、海洋表層のCO₂ほか、大気圧、塩分、海面水温、平衡器水温、平衡器気圧の時系列グラフをLASで参照し、異常値がないか確認する。異常値が発見された場合、その数が50個以上であればQCは保留となり、ベルゲン大学を通じてデータ提供機関に改定を依頼する。次に、メタデータについて、基本的な測定項目に関する情報（観測時期、観測地域、観測項目、観測方法、標準ガスの使用本数と濃度、観測装置の精度）が充足しているか、SOCATが定めた統一基準を満たしているかを精査し、個々のクルーズにA、B、C、D、F、S、Xのフラグ付けを行った。観測データに問題がなく（異常値が50個未満）、メタデータが完全で、統一基準をすべて満たさなければフラグBとなり、データ統合にふさわしいレベルとされた。統一基準を全ては満たさないもののメタデータ・観測データともに問題がなければフラグC、統一基準とメタデータを全ては満たさないが観測データに問題がなければフラグD、観測データに不備があればフラグF（Failure）、観測データに不備があるがデータを更新する予定があるならフラグS（Suspend）、観測デ

ータが他の航海データと重複しているならフラグX (exclude) とされる。フラグAは、同時期に近い場所で観測されたデータがありQC済みのデータ同士で観測データの相互比較が行えて妥当性が確認された場合に付与されるが、同時期の pCO_2 観測のあるデータ数はSOCAT収録データの中で極めて少数である。

SOCAT第1版は2011年9月に一般公開された(図1a)。引き続き2011-2013年にかけて第2版の作成が行われた。国環研は、228航海の観測データとメタデータを第2版に向けて追加提供し、第1版で登録したデータと合わせて392航海分となった(図1b)。国環研では本課題のもとで、各国機関から提出された北太平洋地域の704航海について2013年1月の期限までにQCを行った。国環研が提供した392航海のデータについては、そのほとんどが十分に基準を満たすフラグAまたはフラグBであった。SOCAT第3版用に、メタデータフォーマットが改定され、PYXIS、Trans Future5のメタデータを再提出した。2012年1月から2013年5月Pyxisの38航海分、および、2012年1月から2013年8月のTrans Future5の80航海分を2013年末に提出した(図1c)。

(2)ニューラルネットワーク手法による pCO_2 分布推定の広域適用

国環研では、1995年から日本-北米航路での海洋表層 pCO_2 観測を始め、さらに2006年からは日本-オセアニア航路で同様の観測を行っている。これらのデータセットは、SOOP (<http://soop.jp>) や CDIAC (<http://cdiac.ornl.gov/>)、あるいは前述のSOCAT (<http://www.socat.info/>) を通して公開され、世界各国の研究機関で広く利用されている。本研究ではパラメータ間の非線形・不連続関係を推定することが可能なニューラルネットワーク技術を用いて、これまでの解析手法では再現することが困難であ

った海盆スケールの pCO_2 時空間分布を再現し、得られた分布から年々変動まで考慮した大気海洋間 CO_2 交換量を算出した。本課題の2年度目までに北太平洋(Nakaoka et al., 2013)と太平洋赤道域および南太平洋の pCO_2 分布推定を行ってきた。最終年度においては、対象海域を太平洋全域と南大洋太平洋セクターにまで広げて pCO_2 分布推定に取り組み、当該海域の大気海洋間 CO_2 交換量を見積もった。

本課題の解析で用いるニューラルネットワークは、人間の脳の機能にヒントを得て開発された手法である。この手法は、ニューロンと呼ばれる複数のセルに情報を入力することによって、パラメータ間の関係が当初は明らかでない関係を、観測結果から経験的手法で導くことである。本研究においては自己組織化マップ(Self Organizing Map: SOM)と呼ばれるアルゴリズムを用いた。SOM手法を用いた本研究の pCO_2 分布推定には、トレーニングプロセス、ラベリングプロセス、マッピングプロセスと

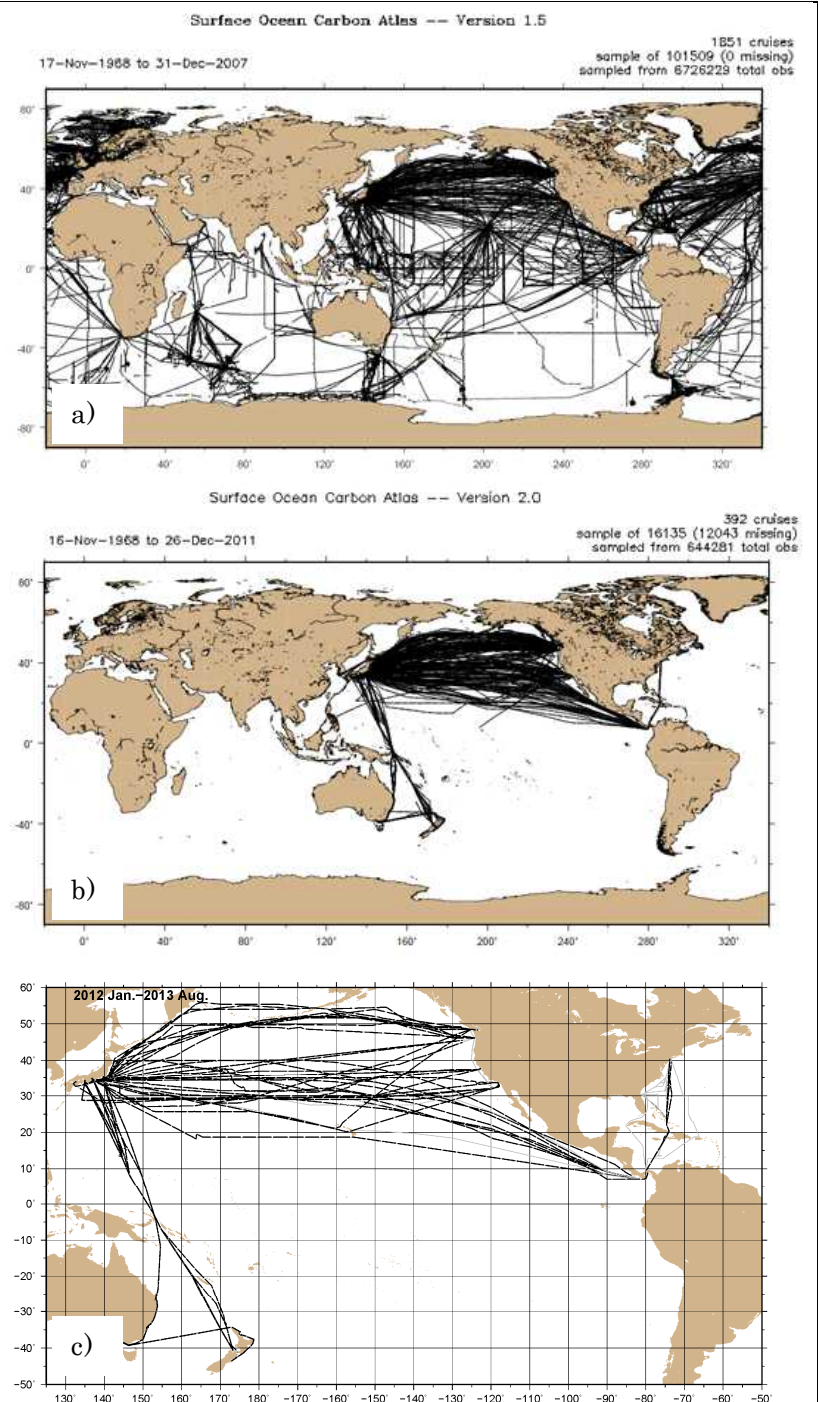


図1 a: 2011年9月公開のSOCAT第1版に収録された全世界参加機関による1968~2007年の海洋表層 fCO_2 観測データ、b: SOCAT第2版までに国環研が提出した海洋表層 fCO_2 観測データ、第2版向けにオセアニア航路が新規追加された、c: SOCAT第3版のために2013年に国環研が追加提出した海洋表層 fCO_2 観測データ

呼ばれる3つのプロセスが存在する。トレーニングプロセスでは、 $p\text{CO}_2$ 以外の海洋物理生物パラメータ間の関連性を調べることで、ひとつひとつのニューロンに海況情報を格納する。次のステップであるラベリングプロセスでは、トレーニングプロセスでトレーニングされたニューロンに観測時の海況が一致した $p\text{CO}_2$ を各ニューロンに割り当てる。さらにマッピングプロセスでは、トレーニングプロセスで使用した各データセットと $p\text{CO}_2$ 値がラベリングされたニューロンを用いて、それぞれの海況に応じた $p\text{CO}_2$ を割り当てていく。

本研究では、北太平洋から南大洋太平洋セクター域（南緯75°から北緯60°、東経120°から西経70°）までの $p\text{CO}_2$ 分布が、極座標で表現できる位置情報とSST（海面水温）、MLD（混合層深度）、CHL（クロロフィルa濃度）、SSS（海面塩分）の自然変動項、さらに大気中に放出された CO_2 が海水中に溶解し $p\text{CO}_2$ が増加する人為変動項によって駆動されていると仮定して $p\text{CO}_2$ 分布を再現する。すなわち、SOMのラベリング過程で $p\text{CO}_2$ を概念的に以下の式で記述する。

$$p\text{CO}_2 = f_{\text{som}}(x, y, z, \text{SST}, \text{SSS}, \text{MLD}, \text{CHL}) + \alpha \cdot (t - t_{\text{ref}}) \quad (1)$$

ここで、 x, y, z はそれぞれ、 $\cos(\text{Lat}) \cdot \cos(\text{Lon})$, $\cos(\text{Lat}) \cdot \sin(\text{Lon})$, $\sin(\text{Lon})$ であり、 α は $p\text{CO}_2$ の経年増加率を示している。本研究においては解析期間中の大気 CO_2 増加率と同じ $1.76 \mu\text{atm yr}^{-1}$ を用いた。また t_{ref} は基準となる年を意味しており、ここでは2005年とし、推定期間は1998年1月から2009年12月までとした。LatおよびLonは緯度と経度である。必要なデータセットは4つのデータセット（SST, MLD, CHL, SSS）からなり、衛星観測や再解析データセットを再格子化して利用した。ラベリングプロセスで使用する $p\text{CO}_2$ 観測値は、前述したSOCATデータベースに登録されている当該海域の1995年から2009年までの観測データを、トレーニングデータセットと同様の時空間格子に格納して利用した。図2に使用した $p\text{CO}_2$ データの分布を示す。この図からも明らかのように、北太平洋（北緯15度以北）では観測が1回以上行われている領域が占めており、特に日本近海では国環研を始めとする日本の研究機関による観測によって観測頻度が多い。また、南大洋太平洋セクター（南緯45度以南）についても海域によっては観測データが充実していることが分かる。一方、南太平洋中央部から東部海域では海洋表層 $p\text{CO}_2$ 観測が非常に少なく、このことが CO_2 収支を推定する際の不確実性を生む主要因となりうる。

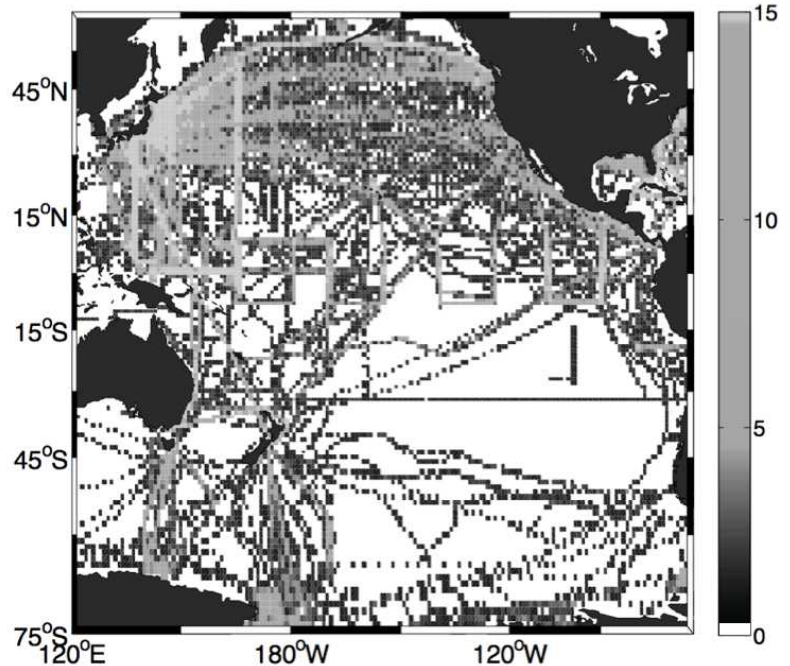


図2 本研究による太平洋全域の $p\text{CO}_2$ 分布解析に用いた推定期間（1998-2009年）内の $p\text{CO}_2$ 観測頻度分布、淡色はデータが多く、白色は観測なし、SOCAT第2版データベースによる

当該海域における平均的な $p\text{CO}_2$ 分布の季節変化を調べるために、再現された1998年から2009年の $p\text{CO}_2$ 分布を月毎に平均化して得られた太平洋赤道域・南太平洋の $p\text{CO}_2$ 気候値マップとTakahashi et al. (2009)によって示された当該海域の $p\text{CO}_2$ 気候値マップを比較した（図3）。本研究で得られた $p\text{CO}_2$ 分布は特徴的な時空間変動について、細かな違いは見られるものの、Takahashiらの結果と概ね良く一致していることが分かる。例えば、冬季（1~3月）には北太平洋のベーリング海から北海道沖にかけては、 $375 \mu\text{atm}$ を超える高 $p\text{CO}_2$ な水塊が見られる一方、北緯20度から40度の緯度帯においては、 $325 \mu\text{atm}$ を下回る低 $p\text{CO}_2$ が分布している様子を再現している。さらに、熱帯域では東部海域から中央部にかけては $400 \mu\text{atm}$ を超える高い $p\text{CO}_2$ 水塊が一年を通して見られる。南緯15度から45度の南太平洋西部海域から中央部にかけては、 $350 \mu\text{atm}$ 以下の低 $p\text{CO}_2$ 水塊が広がっている。また、南大洋太平洋セクター（南緯45度以南）では、7-9月の両者の $p\text{CO}_2$ 分布で南極大陸沖に $375 \mu\text{atm}$ を超える値が見られる点で一致している。海域全体として見ると、両者の差（本研究 - Takahashi et al. 2009）は約 $0.6 \mu\text{atm}$ と非常に小さく、年間の大気海洋間 CO_2 交換量推定に与える影響は小さいと考えられる。

本課題で行ってきた北太平洋、太平洋赤道域、南太平洋の $p\text{CO}_2$ 分布再現から、全球の表層 $p\text{CO}_2$ 分布再現に発展させるために、これまで行ってきたSOMを用いるニューラルネット法だけでなく、別種のニューラルネット法としてBack-Propagation法による試行実験を行った。結果として、全球海洋の気候学的な月毎 $p\text{CO}_2$ 分布推定を行うことができた。SOMの手法で全球の $p\text{CO}_2$ 分布推定を行うためには計

算量が膨大となるのに対して、Back-Propagation手法では計算量を少なくできるという利点があり、全球の $p\text{CO}_2$ 分布推定手法として適した手法となる可能性があることが理解された。

北太平洋海域の表面海水アルカリ度を経験式で推定したうえで、本研究で推定した $p\text{CO}_2$ 分布を炭酸系の関係を用いて全炭酸濃度に変換して解析を行った。図4に2002年から2008年の平均として、全炭酸の分布推定結果を示す。年々の月毎の分布図が得られたことから、全炭酸の季節振幅と塩分変化、海面での CO_2 交換、生物生産の役割を定量的に調べた。特に、下層の高い全炭酸濃度の海水と表層海水の交換が無視できる3月から7月にかけての全炭酸濃度変化に着目した。この期間、全炭酸濃度は、北太平洋西部の40Nを中心とする亜熱帯亜寒帯境界域や、亜寒帯の沿岸域で、大きな低下を示す。この変化のうち、塩分変化の効果は、太平洋赤道域東部を除いて小さい。海面の CO_2 の吸収は、亜寒帯の沿岸域で約50%、北太平洋西部の亜熱帯亜寒帯境界域で30-40%程度全炭酸低下を抑える効果を持っていた。全炭酸濃度の低下から、塩分変化の効果と海面からの吸収・放出量を差し引くと、衛星海色データに基づく正味基礎生産と非常によく似た分布を示した。そこで、Lee (2001) に基づき、全炭酸濃度低下の残差成分を混合層深度積分することで、正味群集生産量(NCP)を求めた。その結果、中緯度域や沿岸域での比較的高いNCPが示された。この分布は、全炭酸濃度低下の残差と同様、衛星海色データに基づく基礎生産量と非常によく似た分布を示した。さらに、NCPは基礎生産量の2~3割の大きさで、一般的に知られている全生産量に対する新生産の比(f-ratioといわれる)と同等であった。

高精度高頻度 $p\text{CO}_2$ 観測を用いた $p\text{CO}_2$ マッピングの結果を用いることで、これまでになく精度で全炭

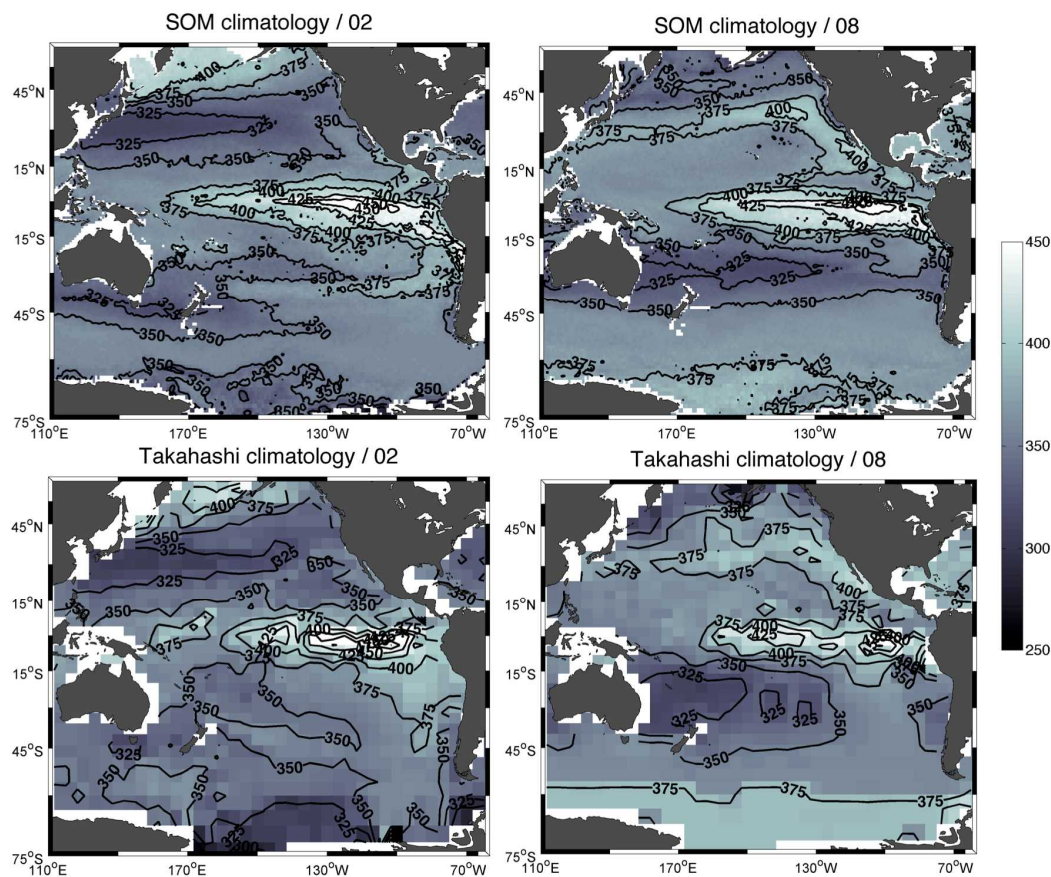


図3 ニューラルネットで得られた太平洋全域の気候学的な $p\text{CO}_2$ 分布(上)と、従来のデータセットから内挿法で推定した先行研究(Takahashi et al., 2009)による $p\text{CO}_2$ 分布(下)との比較。月別分布のうち2月(左)と8月(右)を示した。単位 μatm 。

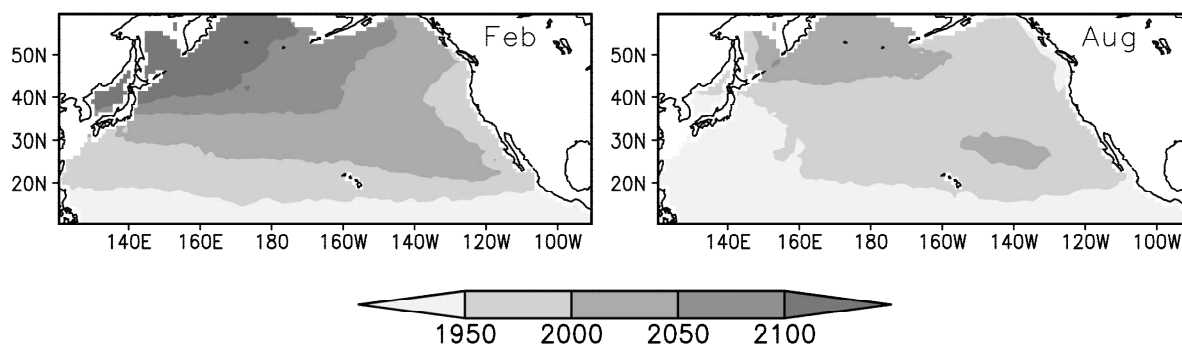


図4 $p\text{CO}_2$ 分布と炭酸系の関係から推定した北太平洋域の表面海水中全炭酸分布、2002~2008年の平均濃度($\mu\text{mol kg}^{-1}$)、2月(左)と8月(右)の分布

酸濃度のマッピングを行うことができた。全炭酸の季節変化から見積もった生物生産量は、観測に基づく生物生産量としては初めて、衛星観測による生物生産量分布と定量的に比較することができた。

4. 考察

国環研の貨物船を利用する海洋表層pCO₂観測データセットは、国環研からWebで公開(<http://soop.jp/>)するとともに、海洋CO₂の国際データベースである米国オークリッジ研究所 CDIAC (Carbon Dioxide Information and Analysis Centre) の海洋表層pCO₂データベースから世界の研究者に提供してきた。これにより、コロンビア大学のTakahashiらとの共同研究による長期間平均の気候値マップ作成がなされ (Takahashi et al., 2009)、広く研究利用されている。しかしながら、CDIACのデータベースはあくまでデータ公開サイトを提供しているだけであり、組織的に全球データセットを収集する目的ではない。全球データの公開を目的とする客観的データベースSOCAT (Surface Ocean Carbon Atlas)をIOCCPのもとで作成する合意がまとまり、本研究代表者が北太平洋の責任者を務めることになった。2008～2010年に実施した先行課題では、海域会合の開催、観測値そのものの信頼性を高めるための測定装置の相互比較実験などを実施してその活動に積極的に協力するとともに、2006年までのデータ登録を行ってその第1版の作成に貢献した。合わせて先行課題では、国環研のデータ処理・確定作業の迅速化を進めることができ国際統合データベースSOCAT第2版作成の要求である2010年までの観測データの品質保証と登録を行った。SOCAT第2版の作成に本課題が貢献し、そのデータ提供と品質管理を世界の中心機関の一つとして進めた。国際データベース作成活動はおおむね順調に進み、当初目標からわずかに遅れたもののSOCAT第2版は2013年6月に一般公開された。続くSOCAT第3版のためには、国環研は2013年12月までにデータ提出を完了し、今後中心機関の一つとなって品質管理作業を進める。また本課題の実施により、国環研の海洋pCO₂観測データの処理・確定作業には、一段の迅速化がなされ、データ回収後、約半年以内という世界の海洋pCO₂観測機関の中でデータ提供が最も迅速となり、この分野の世界の研究に大きな貢献をしている。

ニューラルネットワーク手法は、非線形的な現象を扱うことができる解析手法であり、先行課題において国環研の貨物船による観測が貢献してデータ密度の高い北太平洋域への適用検討を実施し、本課題開始でその確定解析値を得た。最終年度には、北太平洋から南大洋太平洋セクターまでの広範囲な海域について本手法を用いてpCO₂を推定し、先行研究である Takahashi et al. (2009) の気候学的分布とも整合的な結果を得ることができた。また、エルニーニョ期やラニーニャ期のpCO₂分布を再現し、20世紀最大と言われる1998年のエルニーニョ期には赤道域東部海域の湧昇が抑えられ、400 μatmを超える高いpCO₂水塊がほとんど見られなくなることを明らかにした。さらに太平洋全域の大気海洋間CO₂交換量の時空間分布を明らかにし、エルニーニョ・ラニーニャの気候変動に伴って大気海洋間CO₂交換量に変化する様子を捉えた。さらに、ニューラルネットワーク手法による北太平洋の高解像度の年々変化を含むpCO₂マッピングの利用研究として、アルカリ度、全炭酸マッピングを行うことで全球海洋の生物生産 (NCP) を推定した。さらに本研究で得られた全炭酸濃度の時空間変動は、太平洋10年規模変動 (Pacific Decadal Oscillation) によって駆動されていることが始めて明らかとなった。

5. 波及効果

地球観測においては、観測のグローバル化が重要な目標になる。海洋観測では、海水温と塩分観測のグローバル化が最初の目標であり、1960年代に観測船と一般商船で使い捨て型水温センサーXBTを利用する観測のネットワーク化から全球観測の取り組みが始まった。次世代の全球観測化として自動昇降して水温塩分を計測する漂流ブイARGOが開発され、その観測ネットワークに世界各国が参加することで2000年代前半には全球海洋の観測が可能になった。海洋化学では漂流ブイ観測が困難なため、船舶観測のネットワーク化が現実的であり、表層CO₂観測のデータ統合であるSOCAT計画が2007年に開始された。これまでに世界の海洋表層CO₂観測機関のほとんどがデータ提供に応じるようになったのでSOCATの活動は極めて効果的であり、観測そのものへの新たな投資をすることなく、世界データの統合が実現した。

SOCATのような国際データセンター確立の活動は、衛星観測で実現できることが少ない他の地球観測分野でも見習うべき国際データ統合活動である。一国の努力では絶対に不可能な全球観測を国際協力で統合データベースを作成して実現するSOCATの活動の方法を、他の地球観測分野が見習うことは大きな波及効果であろう。国際データセンターにかかる経費はそれほど大きいものではないが、長期にわたりサポートする国・機関が必要である。わが国は、海洋表層CO₂観測に取り組む機関が多くあり、国環研の他、気象庁・気象研、JAMSTEC、水産総合研究センターがSOCATへのデータ提供に応じている。観測データでの貢献および本課題で実施している地域ハブ活動の貢献は重要であるが、今後はより積極的に世界データセンター維持への貢献も望まれる。