

地球一括計上

課題名	炭素循環の気候応答解明を目指した大気中酸素・二酸化炭素同位体の統合的観測研究		
担当研究機関	環境省国立研究開発法人国立環境研究所		
研究期間	2014-18年度	合計予算額 (当初予算額 ベース)	119,942千円 (うち2018年度 21,298千円)

研究体制

(1) 炭素循環の気候応答解明を目指した大気中酸素・二酸化炭素同位体の統合的観測研究 (国立研究開発法人国立環境研究所)

研究概要

1. 研究目的

地球温暖化による世界平均気温の上昇をできるだけ低く抑えるために、人為起源二酸化炭素 (CO₂) の排出を減らすための様々な努力がなされている。しかし、化石燃料の燃焼やセメント製造に伴って全世界で排出されるCO₂は依然として減少傾向を見せず、大気中のCO₂濃度は増加の一途をたどっている。一方、排出される化石燃料起源CO₂の約半分は陸域生物圏および海洋が吸収していると考えられ、実際に大気に蓄積するCO₂の量は排出量の半分程度に抑えられているのが現状である。したがって、陸や海のCO₂吸収量が今後どのように推移するか、特に気候変動に対してこれらの自然の吸収源がどのように応答するかを理解することは、大気中CO₂濃度を安定化させるためのCO₂排出削減策を設定する際にも重要となる。本研究では、大気中のCO₂濃度と同時に炭素循環の指標となる大気中の酸素濃度やCO₂の炭素安定同位体および放射性炭素同位体、さらに表層海水中に溶存するCO₂の炭素安定同位体および放射性炭素同位体の広域観測を行い、地球表層における炭素循環の変動を明らかにし、その時間変動や気候変動との関係を解明することを目的とする。

2. 研究方法

本研究では上記の目的を達成するために、炭素循環解明の有効な指標となる大気中酸素濃度やCO₂の同位体比の広域観測を実施した。酸素は化石燃料の燃焼や生物の呼吸・光合成の過程で一定の比率でCO₂と交換するが、大気-海洋間でのガス交換では酸素とCO₂のフラックスには密接な関連は見られない。したがって、こうした性質に着目することで、CO₂と同時に酸素の大気中濃度の観測から陸域生物圏および海洋のそれぞれのCO₂吸収量を定量的に求めることができる。また、CO₂の炭素および酸素安定同位体比 (¹³C/¹²C比 (δ^{13} C) および¹⁸O/¹⁶O比 (δ^{18} O)) は、大気-海洋間および大気-陸域生物圏間での交換に際して異なる同位体分別効果を示すため、大気中のCO₂の安定同位体比の時空間変化から大気と海洋および陸域生物圏との間の循環に関する情報を得ることができる。一方、放射性炭素 (¹⁴C) は半減期が約5700年であるため、化石燃料起源CO₂は¹⁴Cを含まない。したがって、大気中¹⁴CO₂の時空間分布は化石燃料起源CO₂の寄与率の推定に役立つと期待される。さらに、海洋表層における無機炭酸中の¹⁴Cおよび¹³C/¹²C比の時空間変動は大気-海洋間のCO₂交換の定量的な解析に寄与すると考えられる。

上記の各成分の観測を実施するために、図1. に示されたアジア・太平洋域における広域観測網を整備した。大気観測のためのボトルサンプリングはインドから北米西岸に広く展開した9つの地上ステーションにおいて実施した。また、日本-オーストラリア・ニュージーランド間 (オセアニア航路)、日本-東南アジア間 (東南アジア航路)、日本-北米間 (北米航路) を定期運航する貨物船でもボトルサンプリングを実施した。大気試料は専用のガラス容器またはステンレス容器 (酸素分析には用いない) に加圧

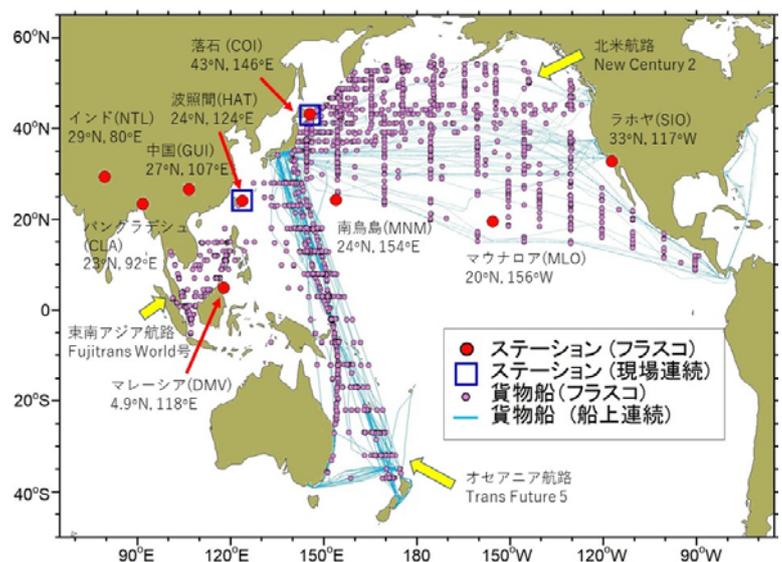


図1. 本研究におけるCO₂同位体および酸素の観測地点

採取（大気圧+1~2気圧）され、研究室において各種成分の分析を実施した。酸素およびCO₂濃度についてはガスクロマトグラフシステム（GC/TCD法）および非分散型赤外分光計（NDIR）をそれぞれ用いた。また、CO₂濃度分析終了後、残りの大気試料からCO₂を分離抽出し、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を同位体比質量分析計により測定した。

酸素濃度についてはより詳細に時間・空間変動を調べるために、GC/TCD法による現場連続観測を、波照間島、落石岬、オセアニア航路（Trans Future 5号（TF5））において実施した。さらに、北米航路ではNew Century 2号（NC2）に燃料電池式酸素計を用いた連続測定システムを搭載し、大気中酸素濃度の連続観測を実施した。

¹⁴CO₂測定用のボトルサンプリングは北米航路およびオセアニア航路においてステンレスボトルを用いて実施した。採取した大気試料は、各種温室効果気体の濃度を測定後、CO₂の濃縮を行って同位体分析に供するよう準備した。また、波照間島、落石岬および南鳥島においてはガラスボトルを用いて、月に1~2回の頻度で¹⁴C用試料採取を継続した。また、波照間島ならびに落石岬において、遠隔地から操作可能なイベントサンプリングシステムを用いて、高CO₂イベント時の大気試料のボトルサンプリングを行った。¹⁴CO₂の分析には、国立環境研究所に導入された小型加速器質量分析計（NIES-CAMS）を用いた。

表層海水の採取は日本と米国（北米航路）及び日本と豪州・ニュージーランド（オセアニア航路）をおおよそ1~2ヶ月で往復する自動車運搬船の航海を利用して実施した。CO₂分圧測定のために船外（水深7m程度）から引き込まれた試料海水の一部を大気と触れないようにして採取し、飽和塩化水銀溶液を添加して実験室に持ち帰った。¹⁴C分析試料は、海水試料中の無機炭酸を真空ガラスライン中でCO₂として抽出したのち、水素を用いてグラファイトに還元し、国立環境研究所所有の加速器質量分析装置を用いて試料中の¹⁴C/¹²C比を計測した。¹⁴C濃度は標準物質と試料との間の¹⁴C/¹²C比の偏差を千分率（ $\Delta^{14}\text{C}$ ）として表現した。

3. 結果・考察

(i) 大気中酸素濃度の観測

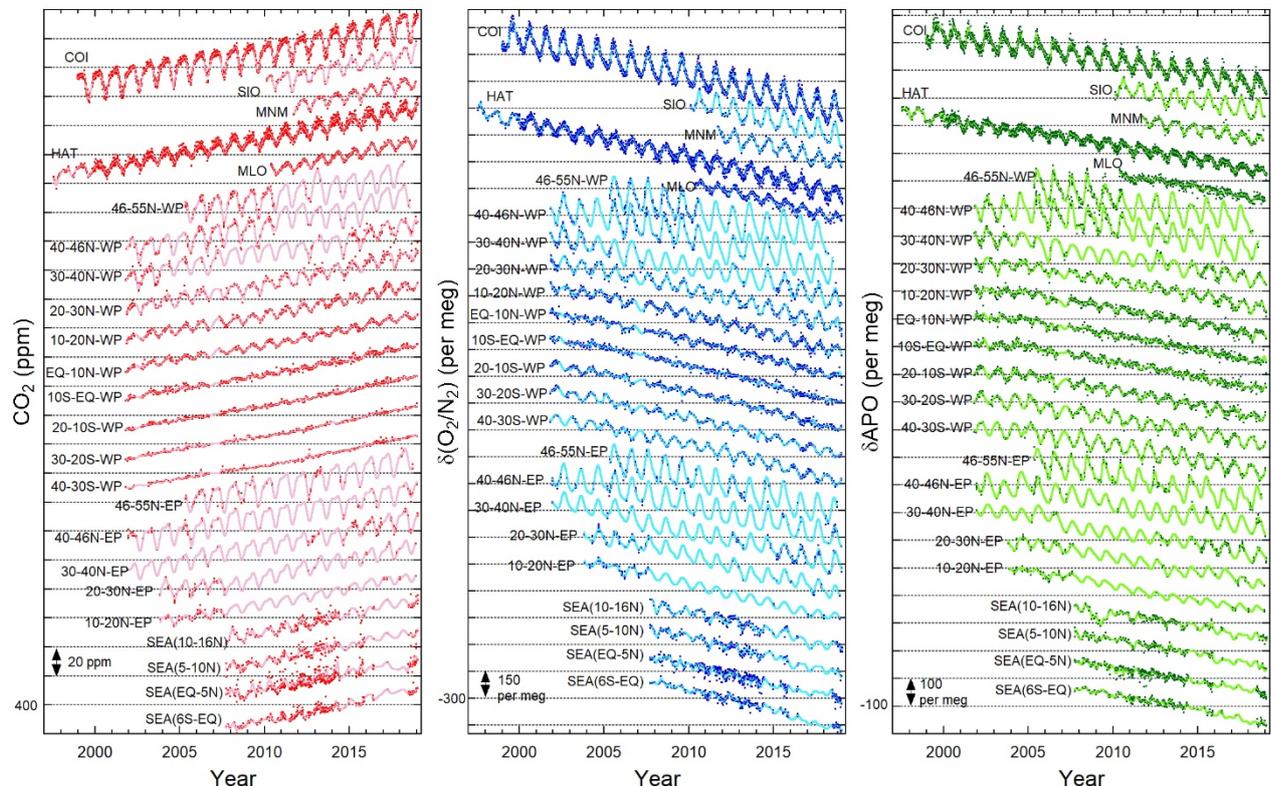


図2. 地上ステーションおよび定期貨物船で観測されたCO₂濃度、酸素濃度（O₂/N₂比）およびAPOの時系列

2019年1月までに地上ステーション（落石（COI）、米国ラホヤ（SIO）、南鳥島（MNM）、波照間（HAT）、米国マウナロア（MLO））と貨物船で採取された大気試料のCO₂および酸素濃度、さらにCO₂と酸素の和として定義される大気ポテンシャル酸素（Atmospheric Potential Oxygen, APO = O₂+1.1×CO₂）の時系列を図2に示す。なお、酸素濃度の変化はO₂/N₂比のある基準からの偏差の百万分

率として表示され、4.8per meg が CO₂ の 1ppm に相当する。また、貨物船のデータは 5~10°の緯度帯毎に分類し、オセアニア・北米航路のデータについては 180°E を境に東西太平洋（EP および WP）に分けて表示した。観測結果を見ると、北米航路では航路が一定でないことや、ボトル本数の制限（各航海のボトル本数は船内で使用許可されたスペースによって決まり、オセアニア航路で 21 本、北米航路で 7 本）のため、北太平洋の高緯度および東部北太平洋のデータ取得率が低いことが分かる。そこで、データ取得頻度を増やすため北米航路を航行する NC2 号においても船上連続測定を開始した（図 3）。観測結果から分かるように、2016 年 9 月頃までは除湿用のトラップのトラブルでしばしば欠測したが、その後トラップを改良し、欠測期間が少なくなっている。NC2 での連続観測によって、北米航路でも密度の高い観測が実現し、北太平洋中緯度帯における APO の季節振幅の経度分布等が明らかとなった。なお、NC2 における大気中酸素濃度の連続測定手法の詳細および初期データの解析結果については、

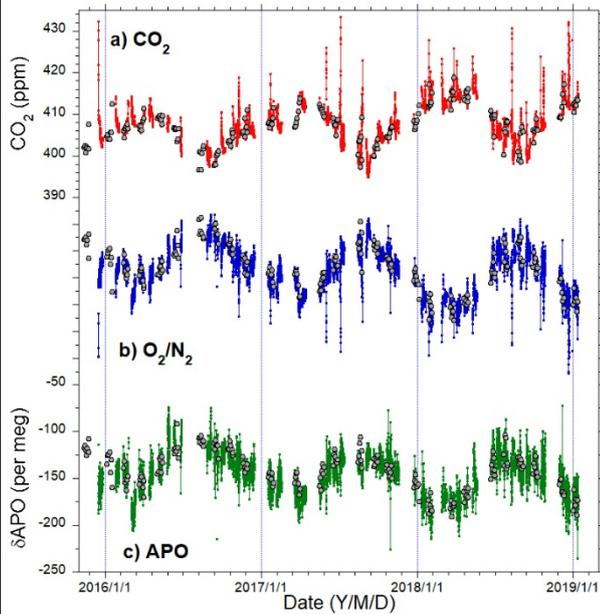


図 3. 2015 年 12 月から 2019 年 1 月までに北米航路を航行する NC2 号の船上で観測された (a)CO₂、(b)O₂/N₂ 比、および (c)APO の時系列 (Hoshina et al., 2018 にデータを追加。)

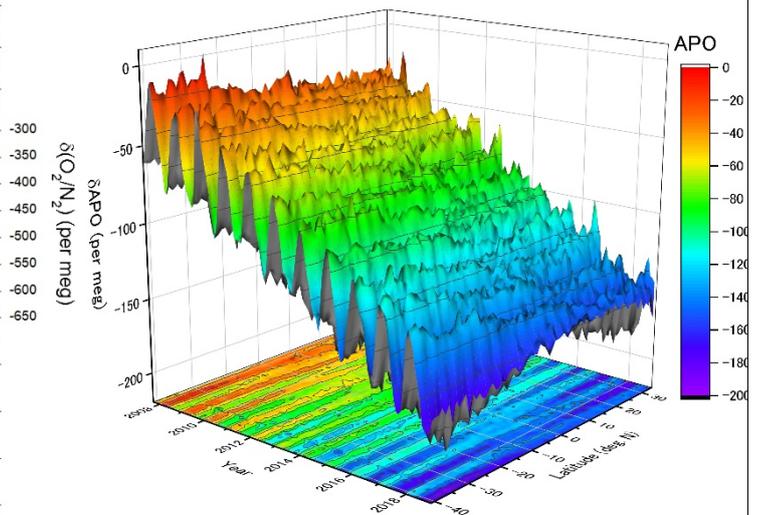


図 4. オセアニア航路を運航する貨物船での連続観測で得られた APO の時間・緯度分布 (Tohjima et al., 2015 にデータを追加)

Atmospheric Chemistry and Physics 誌に掲載された (Hoshina et al., 2018)。

北米航路以外でも、波照間・落石両ステーションとオセアニア航路で大気酸素の連続観測は順調に実施された。オセアニア航路を運航する TF5 号での観測によって得られた APO の時間・緯度分布を図 4 に示す。オセアニア航路は航路・航海頻度共に安定しているため、西部太平洋における APO の時空間変動を詳しく調べるために非常に有効であることが分かった。2018 年末までの観測から、APO の年平均値の緯度分布に見られる赤道極大が 2015/2016 年のエルニーニョ現象時に消失したが、その後 2017 年には赤道極大が再び現れたことが確認された。これまでの観測から、APO の赤道極大は、エルニーニョ現象の指数（ここでは Niño-4 を使用）と逆相関することが明瞭に示された。

ボトルサンプリングで得られた大気試料の酸素および CO₂ 濃度から計算さ

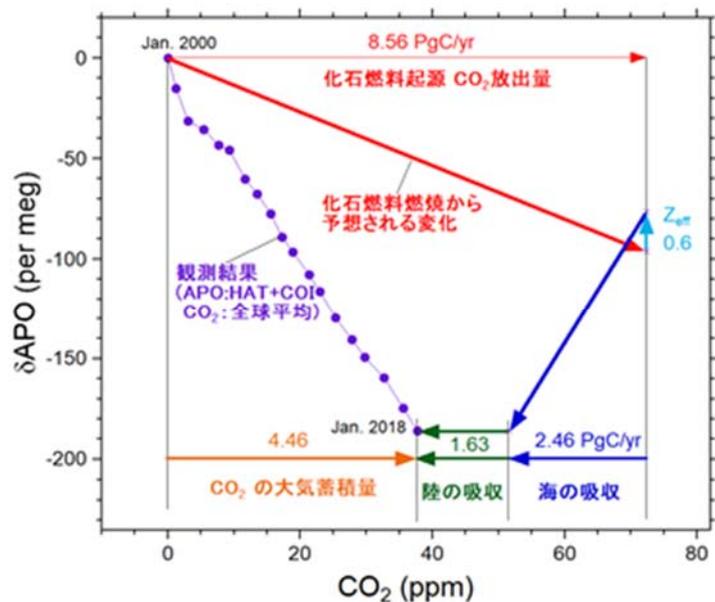


図 5. 波照間・落石での観測結果に基づく 2000 年 1 月から 2018 年 1 月までの 18 年間における炭素収支計算の図解。縦軸・横軸はそれぞれ APO と CO₂ 濃度を表わし、紫は観測値、赤矢印は化石燃料の消費による変化を表わす。

れる APO の経年変化を用いてグローバルな炭素収支を計算した。なお、化石燃料起源の CO_2 (セメント製造起源 CO_2 を含む) 放出量および大気中の CO_2 蓄積量については、グローバルカーボンプロジェクト (GCP) がまとめた値を用いた (Le Quéré et al., 2018)。化石燃料の燃焼による酸素消費量は種類別化石燃料統計と種類別の酸化比から計算した (石炭、石油、天然ガスの酸化比を 1.95、1.44、1.17 として各種燃料の割合から計算する)。また、海洋からの酸素放出量については、海洋観測に基づく深度 0-2000m の貯熱量の変化と、酸素フラックス/熱フラックス比の報告値から推定した。一例として波照間・落石ステーションの観測結果から、2000 年 1 月から 2017 年 12 月までの 18 年間の炭素収支を計算すると、その期間における化石燃料起源 CO_2 の平均排出量 8.6 PgC yr^{-1} に対し、海洋および陸上生物圏の CO_2 吸収量はそれぞれ $2.5 \pm 0.6 \text{ PgC yr}^{-1}$ および $1.6 \pm 0.8 \text{ PgC yr}^{-1}$ となった (図 5)。さらに、波照間・落石のデータに貨物船で得られた西部太平洋でのデータを加えて、海洋および陸域生物圏の吸収量の長期的な変化傾向を調べたところ、海洋は一貫して増加傾向が認められるのに対し、陸域生物圏は 2009 年頃までは増加傾向であったものが、それ以降減少傾向に転じている可能性が示唆された (図 6)。なお、本研究成果については Atmospheric Chemistry and Physics 誌にディスカッションペーパーとして掲載中である (Tohjima et al., 2019)。

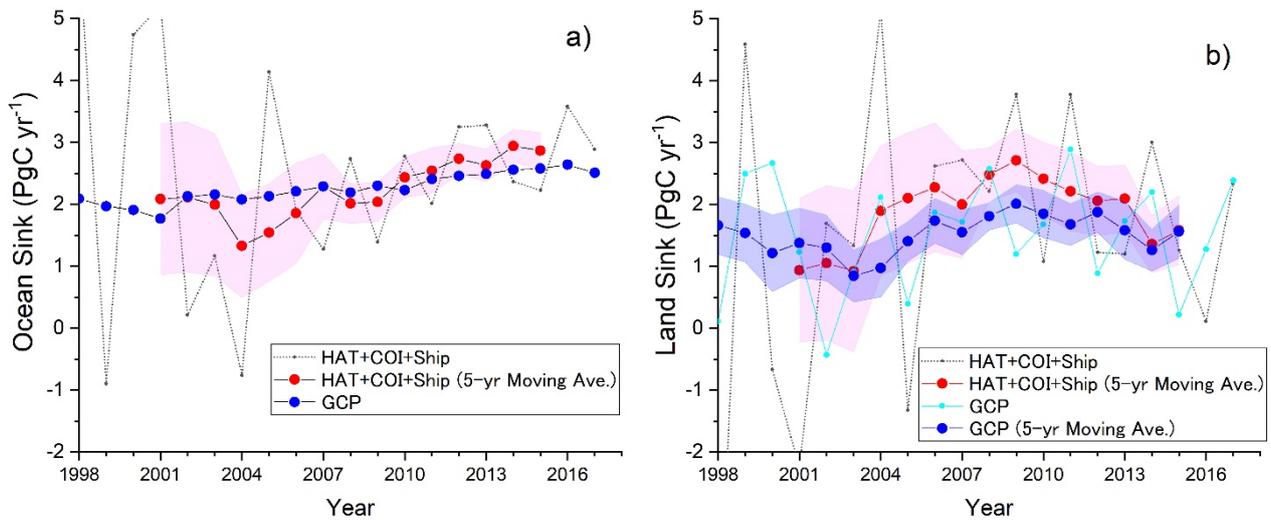


図 6. 波照間・落石およびオセアニア航路の貨物船での観測結果に基づく (a) 海洋および (b) 陸域生物圏の炭素吸収量の年々変化。黒点線および赤丸はボトル観測から計算される炭素収支の年々変動およびその 5 年間の移動平均を表す。また、青丸は GCP の推定結果についての 5 年間の移動平均値を、水色は陸域生物圏の吸収量の年平均値を表す。

(ii) 大気中 CO_2 の同位体 ^{13}C の観測

① グローバルな二酸化炭素収支

同位体比を用いた二酸化炭素のグローバルな収支を求めるために、太平洋上の大気サンプリングと精度管理された同位体比分析を継続して来た。これにより約 25 年間の収支についての時系列が得られた (図 7)。

CO_2 濃度は最近では北半球では 410ppm を超える程度まで増加しており、また同位体比はそれに応じて減少した。季節変動を取り除いたトレンドラインをそれぞれの大気量で重みづけして 30°N から 30°S までの平均の濃度と $\delta^{13}\text{C}$ を作製し、それを基に大気中の炭素収支を検討した。化石燃料起源排出量は 10 GtC/年 で少し頭打ちになっているが、依然高い状態にあった。大気の蓄積速度を観測で求め、同時に炭素の同位体効果に基づき、長期間に海洋、陸域の吸収量を推定した。図 8 には CO_2 の海洋と陸域のフラックスの時系列を示した。海洋と陸域生態系の吸収は全体的に徐々に増加傾向を示しながら、年ごとに変化もみられた。特に陸域の生態系の吸収量は 2008 年ごろに大きくなった後、少し吸収量を減らしつつ推移していた。2015 年のグローバルな気温上昇に合

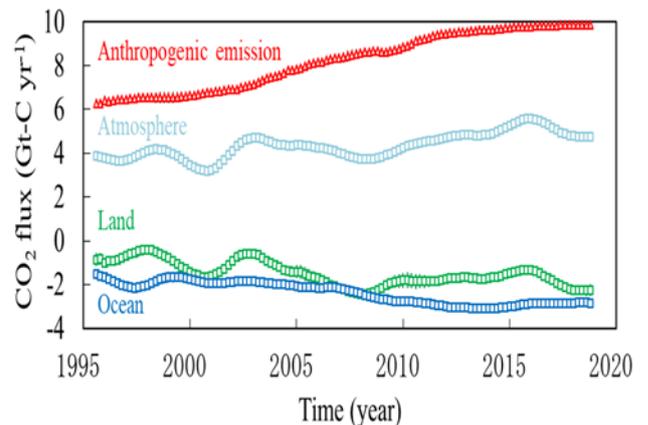


図 7. CO_2 濃度と炭素同位体比から計算された長期的収支変動

わせて吸収量が減少した。その後吸収量は 2GtC/年程度まで回復した。海洋は 2015 年にむけて吸収量が增大してきた。特に 2007 年以降吸収量の増大速度が大きくなっていた。最近では 2014 年までに吸収が 3GtC/年まで最大になった後、2016-2018 年に吸収量が減少するという傾向を示した。これらの観測結果を、GCP のモデル平均と比較した結果、陸域、海洋とも傾向の一致が見られた。これらからは、モデル解析の合理性が評価できる。一方、海洋は部分的に不整合や逆の相関関係などが見られる。これらは、観測データの地域性の問題を考慮すべきかもしれないが、最近の 2 年間の吸収量の低下方向への若干のシフトは、観測とモデルで整合的であった。

②アジア地域の同位体からの炭素循環解析

インド・Nainital (NTL) とバングラデシュ・Comilla (CLA) での CO_2 濃度および $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ の観測結果を、太平洋におけるほぼ同じ緯度帯での観測結果と比較すると、NTL と CLA における CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ の季節変動幅は、それらより大きく周辺での植生の呼吸と光合成による CO_2 の放出と吸収の影響が強いことからその解析を試みた。NTL と CLA の CO_2 濃度 (と $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$) はそれぞれ 1 年に 2 回の低下時期 (と増加時期) を示した (図 9)。これは現地の二期作あるいは二毛作による植生の光合成による CO_2 吸収の影響を強く受けているためだと考えられた。南アジア域で CO_2 濃度のバックグラウンドを示す Cape Rama および北半球中緯度の平均的な CO_2 濃度を示す Mauna Loa と NTL の CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ の年平均値をプロットすると傾きは 0.05‰ppm^{-1} であった。この値は CO_2 濃度の場所ごとの差異が大気-陸上生物圏間の CO_2 交換度合いによって生じていることを意味する。さらに 1-3 月の CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ および 6-9 月の CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ からそれぞれの Keeling plots の切片を求めたところ、6-9 月の Keeling plots の切片は 1-3 月のそれより重かった。これは 6-9 月に NTL と CLA 周辺で栽培されている C4 植物 (トウモロコシやサトウキビなど) の比率が高いことが影響していると考えられた。これらのように、同位体比の解析により地域的な吸収排出の特徴が明らかになることがわかってきたことで、今後モデルに同位体比を組み込んで解析する手法も検討する必要がある。

(iii) 大気中 CO_2 の ^{14}C の観測

波照間と落石の両ステーション、並びに南鳥島で採取されたバックグラウンド大気中の $^{14}\text{CO}_2$ 測定を行った。2004 年から 2012 年の 9 年間の $^{14}\text{CO}_2$ 減少トレンドは、波照間と落石でほぼ同じであったが、2013 年から 2016 年にかけては、波照間の方が落石よりも大きな $^{14}\text{CO}_2$ 減少トレンドを示した。これまで波照間と落石の平均 $\Delta^{14}\text{C}$ 値にはほとんど差が無かったが、2016 年については波照間が落石より約 5‰低い値を示した。また、2013 年以降の波照間では、夏に、平均的な季節変動より数‰~10‰ほど高い $\Delta^{14}\text{C}$ 値が観測された。南鳥島と波照間の CO_2 濃度を比較すると、夏の濃度はほぼ一致するのに対し、秋から春の期間は南鳥島の方が波照間と比べ、数 ppm 低い。 $\Delta^{14}\text{C}$ は、これに対応して、秋から春の期間は南鳥島の方が波照間と比べ高くなっていた (図 10)。これは、秋から春の期間は波照間の方が南鳥島より化石燃料起源 CO_2 が多いためと考えられる。南鳥島と東アジアに近い波照間の差を観測することで、東アジアの化石燃料起源 CO_2 量の季節変動や年々変動を広域で捉えることができる可能性が示された。

また、波照間と落石のイベントサンプリングで採取された大気 CO_2 の放射性炭素同位体比を分析し、短期変動を示した。2016 年から 2018 年に観測された 6 つの高 CO_2 濃度イベントにおいて、化石燃料起源 CO_2 の割合が最も低い (平均 70%) イベントは中国華北部から流入した空気塊で、これまでに得られた知見 (大陸起源の空気塊は陸上生物圏起源の CO_2 をより含んでいる) と整合的であった。また、落石

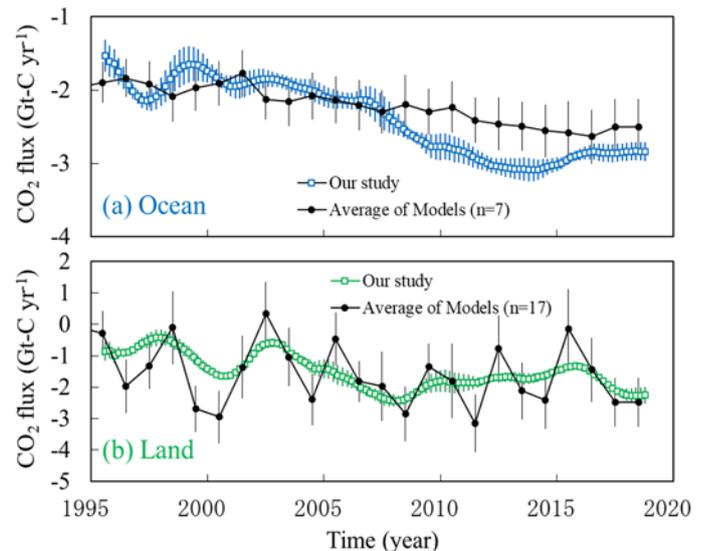


図 8. 海洋(a)と陸上生物圏(b)の CO_2 flux の観測値と GCP モデルとの比較

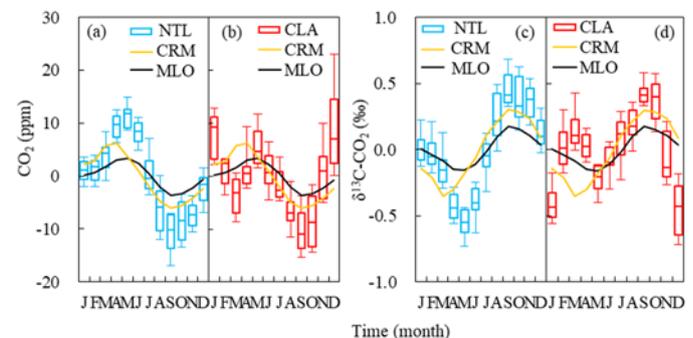


図 9. NTL と CLA の CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ の季節変化

ステーションで2015年6月10～11日に観測されたイベントでは、陸域生態系に起因するCO₂濃度の日変動を捉えることに成功し、陸域生態系がCO₂を放出するとともに大気¹⁴Cが増加することが明らかになった(図11)。また、CO₂濃度が明け方にかけて減少している時もΔ¹⁴Cは増加を続けており、これはΔ¹⁴CがグロスのCO₂放出を捉えていることを反映していると考えられた。サンプリングを継続してΔ¹⁴C分析結果を増やしていくことで、陸域生態系が放出するCO₂の同位体特性とグロスのCO₂放出量の推定を行うことが可能になると期待される。

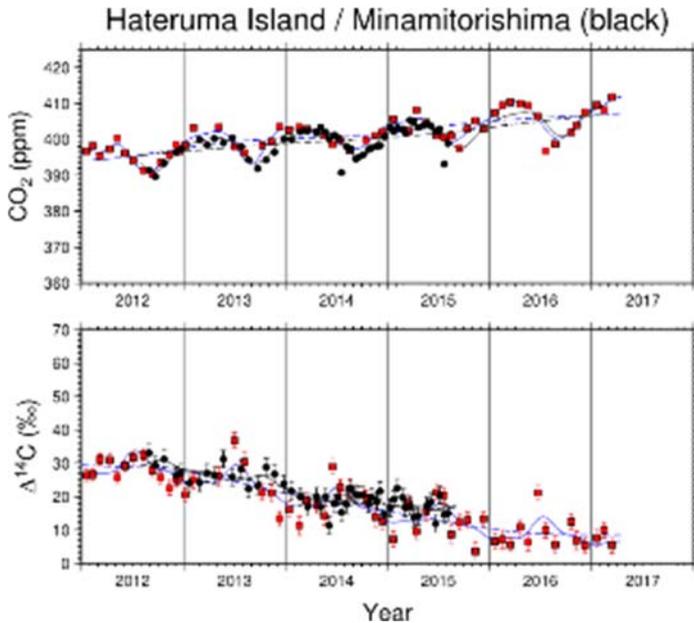


図10. 南鳥島で観測されたCO₂濃度(上)とΔ¹⁴C(下)の時系列(黒)。比較として波照間の観測データを示した(赤)。

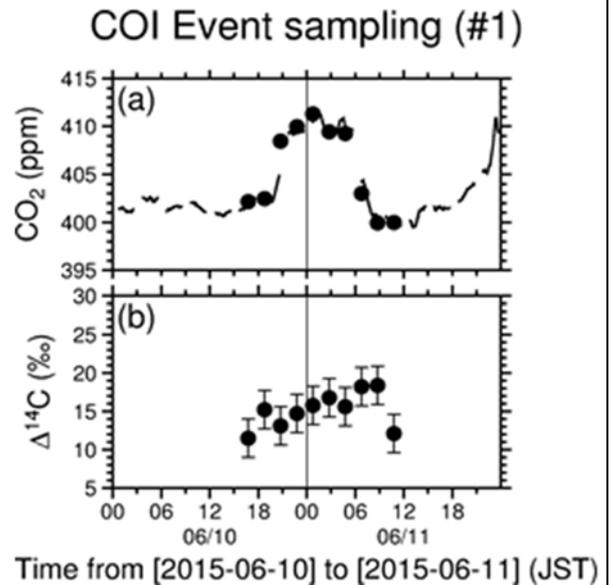


図11. 落石ステーションで2015年6月10～11日に観測された(a) CO₂濃度と(b) Δ¹⁴C。

(iv) 海洋表層水中溶存CO₂同位体・酸素の観測

本研究では、北米航路およびオセアニア航路を航行する貨物船を用いて、表層海水試料の採取および表層海水の溶存CO₂の炭素同位体比の測定を行った。特に、北太平洋表層における放射性炭素(¹⁴C)の経年変化を評価するために、海洋表層が成層化する夏季(便宜上5～9月と定義)に北米航路で採取された試料の¹⁴C測定を優先的に進め、調査を開始した2003年から2016年までの測定が終了した。

北米航路では、大圏コースで米国西海岸へ向かう「西岸航路」と北緯10度付近に位置するパナマ運河を經由して米国東海岸へ向かう「東岸航路」の2つの航路が利用される。したがって、得られた表層のΔ¹⁴C値は北太平洋の非常に広い緯度帯(20～50°N)をカバーしており、その値は-55～+108‰と大きな変動幅を持っていた。過去のΔ¹⁴C値の広域観測(1970年代のGEOSECSや1990年代のWOCEなど)の結果から、北太平洋の40°N以北の高緯度域表層では、冬季の強い鉛直混合の影響を受けて、Δ¹⁴C値が40°N以南に比べて著しく低くなること明らかにしている。このように、海洋表層のΔ¹⁴C値は表層流や海水の鉛直混合、あるいは大気海洋間のCO₂交換速度など、各海域の特徴によって大きく変動する。そこで我々は、¹⁴C分析試料と同時に得られた海水の塩分・水温、これらデータから算出されるポテンシャル密度、さらには試料が採取された地点の緯度・経度と、観測されたΔ¹⁴C値との関係から、北米航路で得られたΔ¹⁴C値をA: 黒潮・黒潮続流域、

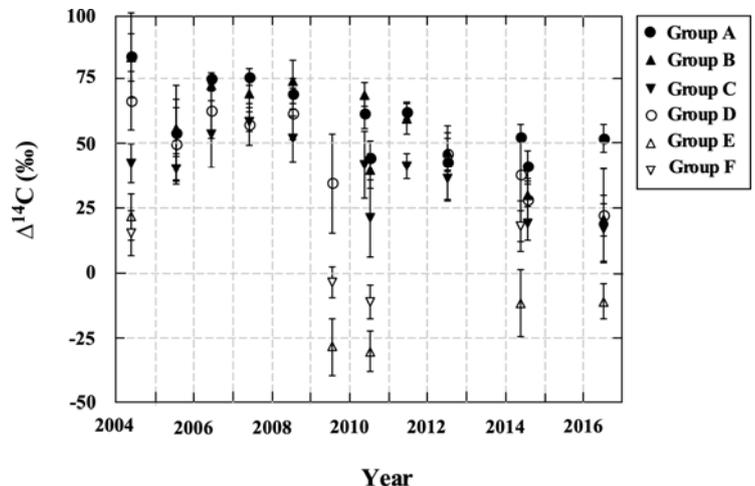


図12. 2004～2016年の間の北太平洋における表層Δ¹⁴C値の長期時間変動

●: A(黒潮・黒潮続流域)、▲: B(北太平洋海流域)、▼: C(カリフォルニア海流域)、○: D(混乱水域)、△: E(亜寒帯海流域)、▽: F(アラスカ海流域)を示す。X軸の目盛りは各年の1月1日を示す。

B：北太平洋海流域、C：カリフォルニア海流域、D：冷水塊と暖水塊が複雑に入り交じる混乱水域、E：亜寒帯海流域、F：アラスカ海流域の6つの海域に大別した。図12には2004～2016年の最近13年間における各海域の $\Delta^{14}\text{C}$ 平均値の長期時間変動を示した。なお、2003年分についてはデータ数に限りがある上に試料採取された海域が限定されていたため、今回のデータ解析からは割愛した。1970年代後半から続く亜熱帯域表層の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の長期減少傾向は現在でも継続しており、黒潮・黒潮続流域、北太平洋海流域及びカリフォルニア海流域における減少速度は、それぞれ-3.3、-5.2、-3.3‰/yrと計算された。しかしながら、2012年以降については黒潮・黒潮続流域ではおおよそ+50‰で一定となっていた。これは西部北太平洋の亜熱帯域表層の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が、2012年には大気中の $\Delta^{14}\text{CO}_2$ と平衡に達したことを示唆したものと考えられる。また、亜寒帯海域やアラスカ海流域の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は亜熱帯域に比べて著しく低い値を示したが、2010年以降は減少傾向が増加傾向に転じた可能性が強く示唆された。これは数十年前に混合層下に蓄積された核実験由来の ^{14}C が、冬季の深い鉛直混合によって表層へ再循環した可能性が考えられる。

4. 成果

4.1 課題関連イベントの開催

環境省職員に対する勉強会（2018年11月7日、環境省）を開催した。

4.2 データ公開・共有の実施

本研究で得られた酸素濃度広域観測の結果の一部は、独・マックスプランク研究所の C. Rödenbeck 博士や、米・スクリップス海洋研究所の R. Keeling 教授らのグループ、ニュージーランド・NIWA の S. Mikaloff Fletcher 博士、ノルウェー・NILU の Rona Thompson 博士、さらにコロラド大の Cynthia Nevison 博士に提供され、大気輸送モデルや海洋モデルを使った研究に利用されている。また、西部大西洋上での大気観測から明らかにされた APO の年平均値の緯度分布のデータは、East Anglia 大の P. Pickers 博士の研究に提供され、彼女らの大西洋における APO の緯度分布の解析に用いられた (Pickers et al., 2017)。

4.3 論文発表

- 1) Tohjima T., Terao Y., Mukai H., Machida T., Nojiri Y., Makyutov S. (2015), ENSO-related variability in latitudinal distribution of annual mean atmospheric potential oxygen (APO) in the equatorial Western Pacific. *Tellus-B*, 67, 25869.
- 2) Yu Hoshina, Yasunori Tohjima, Keiichi Katsumata, Toshinobu Machida, and Shin-ichiro Nakaoka, In situ observation of atmospheric oxygen and carbon dioxide in the North Pacific using a cargo ship, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 9283-9295, 2018, <https://doi.org/10.5194/acp-18-9283-2018>.
- 3) Takafumi Aramaki, Shin-ichiro Nakaoka, Yukio Terao, Seiko Kushibashi, Toshiyuki Kobayashi, Yumi Osonoi, Hitoshi Mukai and Yasunori Tohjima, Variation of surface radiocarbon in the North Pacific during summer season, 2004-2016, *Radiocarbon*, 2019, <http://dx.doi.org/10.1017/RDC.2019.32>.
- 4) Yasunori Tohjima, Hitoshi Mukai, Toshinobu Machida, Yu Hoshina, Shin-ichiro Nakaoka, Global carbon budgets estimated from atmospheric O_2/N_2 and CO_2 observations in the western Pacific region over a 15-year period, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2019, <https://doi.org/10.5194/acp-2019-69>.

4.4 口頭発表

- 1) 遠嶋康徳、寺尾有希夫、向井人史、野尻幸宏、町田敏暢、西部太平洋で観測された APO の年平均値の緯度分布の ENSO イベントに関連した変動について、日本地球化学会第 61 回年会、2014 年 9 月 16-18 日、富山
- 2) 遠嶋康徳、向井人史、町田敏暢、寺尾有希夫、野尻幸宏、2009/2010 年のエルニーニョ時に西部太平洋で観測された年平均 APO の赤道極大の平坦化、日本地球惑星科学連合 2014 年度連合大会、2014 年 4 月 28-5 月 2 日、横浜
- 3) Y. Tohjima, H. Mukai, T. Machida and Y. Terao, Inter-annual variation in seasonal cycle of APO observed at Cape Ochi-ishi and its relationship with SST and NPP, The 5th Symposium on Polar Science, Dec. 2-5, 2014, Tachikawa.
- 4) 荒巻能史、寺尾有希夫、中岡慎一郎、串橋聖子、遅野井祐美、遠嶋康徳、野尻幸宏、向井人史、北太平洋表層水中における炭素 14 の 10 年間の変動、日本海洋学会 2015 年度春季大会、2015 年 3 月 21-25 日、品川
- 5) 遠嶋康徳、向井人史、町田敏暢、寺尾有希夫 (2015) 落石岬における APO トレンド変化率の年々変動と PDO の関係、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 24-28 日、幕張。

- 6) Tohjima Y., Keeling R., Mukai H., Machida T., 2015: Preliminary results on O₂/N₂ scale comparison between SIO and NIES based on flask sampling at La Jolla, 18th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT), Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California. (Sep. 13-17, 2015).
- 7) Tohjima Y., Mukai H., Machida T., Terao Y., Maksyutov S., Nojiri Y., 2015: Spatiotemporal variability in APO in the western Pacific region observed from the NIES observing network. APO workshop, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California. (Sep. 18-20, 2015).
- 8) 野村渉平・向井人史・寺尾有希夫・西橋政秀・遠嶋康徳・町田敏暢・谷本浩志・野尻幸宏、東南アジア域の温室効果ガス濃度、日本気象学会 2016 年度秋季大会、2015 年 10 月 28-30 日、京都
- 9) Terao Y., H. Mukai, Fossil fuel and biogenic partitioning in CO₂ emissions from East Asia determined by high-frequency radiocarbon measurements at Hateruma Island. 18th WNO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT), 2015 年 9 月, La Jolla
- 10) 遅野井祐美・寺尾有希夫・向井人史・小林利行・荒巻能史・近藤美由紀・内田昌男・柴田康行、国立環境研究所における CAMS 導入と現状、第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、2015 年 7 月、仙台
- 11) Osonoi Y., Terao Y., Mukai H., Aramaki T., Kondo M., Uchida M., Kobayashi T., Shibata Y., Installation and current status of CAMS system at NIES. 18th WNO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT), 2015 年 9 月, La Jolla
- 12) 遠嶋康徳、向井人史、町田敏暢、中岡慎一郎：日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 22-26 日、幕張、「大気中の酸素および二酸化炭素の観測に基づく過去 15 年間の炭素収支推定」
- 13) 遠嶋康徳、向井人史、町田敏暢、中岡慎一郎：大気化学討論会 2016、2016 年 10 月 12-14 日、札幌 2015/2016、「エルニーニョ現象の際に観測された年平均 APO の緯度分布の変化について」
- 14) 保科優、遠嶋康徳、勝又啓一、町田敏暢、中岡慎一郎：大気化学討論会 2016、2016 年 10 月 12-14 日、札幌、「貨物船を利用した北太平洋における大気中酸素濃度の連続測定」
- 15) 保科優、遠嶋康徳、寺尾有希夫、勝又啓一、向井人史、町田敏暢、遅野井祐美：日本気象学会 2016 年度秋季大会、2016 年 10 月 26-28 日、名古屋、「酸素や炭素同位体の測定に基づく大気 CO₂ 濃度変動成分の起源推定法の開発」
- 16) Yasunori Tohjima, Hitoshi Mukai, Toshinobu Machida, Yu Hoshina and Shin-ichiro Nakaoka, Atmospheric O₂/N₂ and CO₂ observation in the Pacific region and its application to the global carbon budget estimation, 10th International Carbon Dioxide Conference, Interlaken, Switzerland, 21-25 August 2017. ICDC, Aug. 2. 1, 2017 (Aug. 21 presentation)
- 17) Yu Hoshina, Yasunori Tohjima, Yukio Terao, Keiichi Katsumata, Hitoshi Mukai, Toshinobu Machida, Yumi Osonoi, Separating short-term CO₂ variation into biotic and fossil fuel components based on the atmospheric O₂ and CO₂ continuous measurements, 10th International Carbon Dioxide Conference, Interlaken, Switzerland, 21-25 August 2017. ICDC, Aug. 2. 1, 2017 (Aug. 22 presentation)
- 18) Yu Hoshina, Yasunori Tohjima, Kei-ichi Katsumata, Toshinobu Machida, and Shin-ichiro Nakaoka: Continuous observation of atmospheric oxygen concentration onboard a cargo ship sailing between Japan and North America, 19th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2017), 27-31 August 2017, Empa Dubendorf, Switzerland. (27-28, Aug)
- 19) 遠嶋康徳、保科優、向井人史、町田敏暢、中岡慎一郎、勝又啓一、石澤みさ、白井知子、Shamil Maksyutov、北太平洋における大気中ポテンシャル酸素 (APO) の分布について、第 23 回大気化学討論会 2017、2017 年 10 月 2-4 日、高松 (サンポートホール高松、発表は 10 月 2-3 日)
- 20) 保科優、遠嶋康徳、寺尾有希夫、勝又啓一、高橋善幸、向井人史、町田敏暢、遅野井祐美、荒巻能史、大気中酸素濃度や炭素同位体比等を用いた化石燃料起源 CO₂ の分離手法の検討、第 23 回大気化学討論会 2017、2017 年 10 月 2-4 日、高松 (サンポートホール高松、発表は 10 月 2-3 日)
- 21) Terao Y., Mukai H., Osonoi Y., Observations of atmospheric radiocarbon in carbon dioxide at Hateruma Island and Cape Ochi-ishi, Japan., 10th International Carbon Dioxide Conference, Interlaken, Switzerland, 21-25 August 2017.
- 22) 保科優、遠嶋康徳、寺尾有希夫、町田敏暢、東京における人為起源 CO₂ 推定のための O₂、CO₂ 連続測定、日本気象学会 2018 年度秋季大会、2018 年 10 月 29 日～11 月 1 日、仙台。
- 23) Takafumi Aramaki, Shin-ichiro Nakaoka, Yukio Terao, Seiko Kushibashi, Toshiyuki Kobayashi, Yumi Osonoi, Hitoshi Mukai and Yasunori Tohjima, Variations of surface radiocarbon of the North Pacific in summer season during the past decade, 23rd International Radiocarbon Conference, 2018 年 6 月 18～22 日、トロンハイム、ノルウェー。
- 24) Yasunori Tohjima, Land-ocean flux partitioning, Regional Carbon Cycle Assessment and Processes-2, 2019 March 18-21, Gotemba, Japan.