ISSN 0917-0820

地球環境研究センターニュース

独立行政法人 国立環境研究所

Center for Global Environmental Research

Vol. 24 No. 9

2013年（平成25年）12月号（通巻第277号）

【上空の温室効果ガスを観測する「空飛ぶ実験室」（写真提供：日本航空）（10 ページ参照）】

Contents

●明らかになった北太平洋表層の二酸化炭素の分布
ー海洋モニタリング事業の成果ー 2

●アジア低炭素社会の実現に向けて
ー環境研究総合推進費 S-6 シンポジウム報告ー 6

●インタビュー：「空飛ぶ実験室」が上空の二酸化炭素濃度観測を変えるー CONTRAIL プロジェクトー 10

● 2013 年度ブループラネット賞受賞者による記念講演会（1）
〇ゼロエミッションを前提とした大気 CO_2 濃度の安定化 15

●伝統と先進の街で考えたこと：英国オックスフォード大学・環境変動研究所における派遣研修の報告 19

●最近の研究成果 21

●アクセスランキング 25

明らかになった北太平洋表層の二酸化炭素の分布
ー海洋モニタリング事業の成果ー

地球環境研究センター　特別研究員　安中 さやか
地球環境研究センター大気・海洋モニタリング推進室　研究員　中岡 慎一郎
地球環境研究センター　上級主席研究員　野尻　幸宏

1. 背景

海洋は地球上で最大の CO_2 吸収源であり、人為起源 CO_2 の約 3 割に相当する毎年 2.3 GtC（ギガトンカーボン＝ 10 億トン炭素換算 CO_2）程度が海洋に吸収されていると見積もられています。海洋と大気との間で CO_2 濃度バランスが崩れた時、それが平衡に戻るまでには長い時間がかかります。このため、人間活動によって急に高まった大気 CO_2 濃度に対して海水中の CO_2 濃度の上昇は追いついていません。すなわち、海洋表層 CO_2 分圧（注 1）の平均は、大気 CO_2 分圧の平均より低くなっています。ただし、海洋による吸収は一様に起こっているわけではなく、海域や季節によって、大きく変化します。CO_2 を吸収する状況やその仕組みを明らかにするために、海洋全域を観測して、海洋表層 CO_2 分圧の空間分布とその時間的変動を知る必要があります。しかし、海洋は広いため、研究用の観測船による従来型の観測では、海洋表層 CO_2 分圧の空間分布とその時間的変動の把握は難しく、十分に理解されてきませんでした。

国立環境研究所（以下、「国環研」という）は、協力貨物船で海洋表層 CO_2 分圧を長期間継続的に観測し、そのデータと分布を広域に推定する手法を組み合わせて、北太平洋海域（北緯 10 度から 60 度、東経 120 度から西経 90 度）の CO_2 分圧の分布を得ました。さらに、CO_2 分圧の分布推定の結果から、海洋中に溶け込んだ CO_2 の総和である全炭酸濃度（注 2）の分布推定を行い、その時空間変動

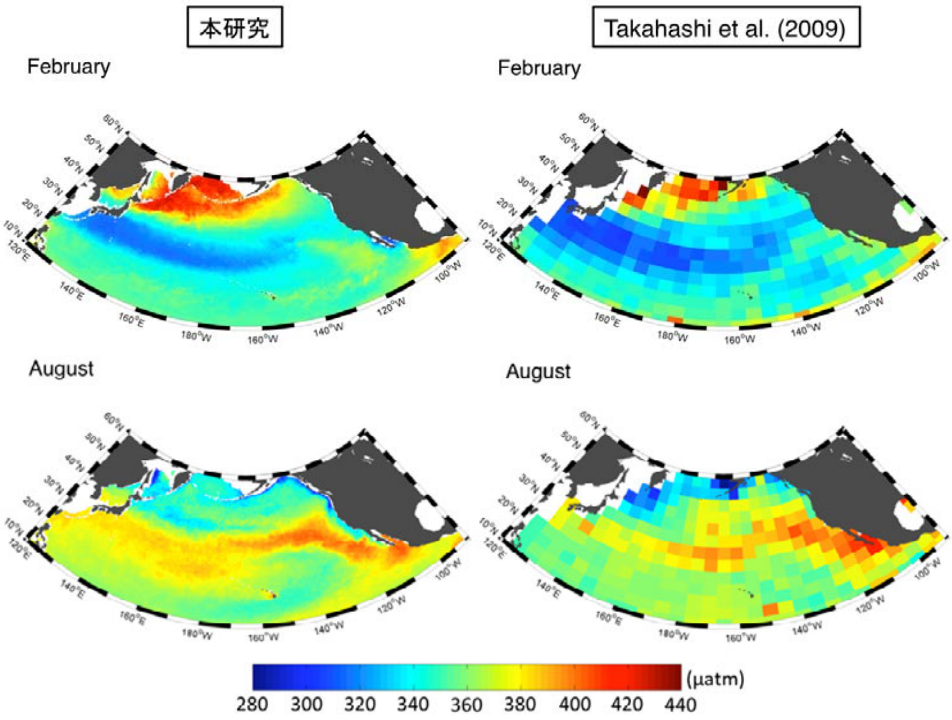


図 1　本研究と Takahashi et al. (2009) で得られた CO_2 分圧平年値の分布

を明らかにしました。今回論文で発表した解析期間は、2002 年 1 月から 2008 年 12 月の 7 年間です。

2. 海洋二酸化炭素分圧の観測

国環研では、1995 年以来、太平洋域を運航している貨物船で、洋上大気と海洋表層の CO_2 観測を実施しています。論文の解析期間においては、北米航路貨物船 Pyxis と、オセアニア航路貨物船 Trans Future 5 の 2 隻（ともにトヨフジ海運（株）所属）で海洋表層の CO_2 観測を行ってきました。

計測項目は、大気と海洋（表層海水と平衡にした空気）の CO_2 濃度、塩分、海面水温、および正確な観測値とする補正のために必要な温度・圧力などで、連続に計測できるため、空間・時間的に密なデータが得られます。北太平洋域では、これまでに約 35 万点のデータが得られています。また、観測データは、精度確認の後に表層海洋 CO_2 分圧の国際共同データベース（Surface Ocean CO_2 Atlas: SOCAT）に収録されています。

3. 海洋二酸化炭素分圧・全炭酸濃度の分布推定

（1）CO_2 分圧時空間分布推定

協力貨物船による頻繁な観測で、CO_2 分圧観測データが研究観測船と比べて飛躍的に多く得られるようになったうえに、同じ海域の繰り返し観測が可能になりました。しかしながら、短期間（たとえば 1 ヶ月間）で、北太平洋全域をカバーしているわけではありません。そこで、衛星観測やデータ解析から全域がカバーされる海洋表層パラメータ（海面水温、海面塩分、クロロフィル a 濃度［注 3］、混合層深度［注 4］）と CO_2 分圧の関係性を用いて、CO_2 分圧の分布を推定しました。各パラメータと CO_2 分圧の関係は単純な関数で示すことが難しいので、ニューラルネットワークの一種である自己組織化マップを用いた手法を採用しました。この手法は、北大西洋の CO_2 分圧推定に有用であることが知られており、本研究で初めて北太平洋に適用されました。今回の手法では、緯度経度 1/4 度の解像度で CO_2 分圧の分布を表すマップができました。

本研究で再現された CO_2 分圧値を 7 年間平均して得たマップと Takahashi et al.（2009）によって示された月毎の CO_2 分圧平年値を比較しました（図 1）。Takahashi et al. によるマップは、海洋の CO_2 吸収の研究をするとき、標準的な海洋 CO_2 分圧値を与えるマップとして頻繁に用いられる有名なものです。両者の分布は似ていますが、本研究の CO_2 分圧推定は解像度が高く、海洋循環の特徴をより正確にとらえています。たとえば、2 月の北太平洋高緯度域において本研究の推定は、ベーリング海から北日本沿岸にかけて、東カムチャツカ海流に沿うように、連続した高い CO_2 分圧が見られています。また、アリューシャン列島からカルフォルニア沖にかけての沿岸域で、生物活動が盛んになる春から秋にかけての低い CO_2 分圧が再現されています。

太平洋赤道域東部で数年おきに起こるエルニーニョ・ラニーニャ現象は、北太平洋の気候に大きな影響を与えます。赤道域の CO_2 分圧がエルニーニョ・ラニーニャ現象に伴って大きく変化することは知られていましたが、北太平洋全域の CO_2 分圧に影響を及ぼすかどうかは知られていませんで

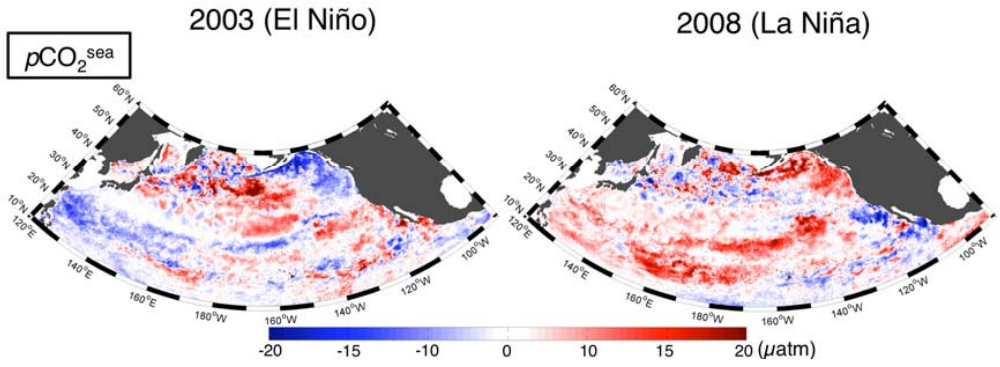


図 2　2003 年冬季と 2008 年冬季の CO_2 分圧の偏差

した。そこで、典型的なエルニーニョの年である2003年とラニーニャの年である2008年冬季（1月から3月）のCO_2分圧の平年値からのズレ（偏差）を調べてみたところ、2003（2008）年は平年に比べて、亜熱帯域西部で分圧が低く（高く）、亜熱帯東部では分圧が高い（低い）ことがわかりました（図2）。そして、前者は海面水温の変化に対する応答、後者は混合層深度の変化に対する応答と解釈できました。

（2）全炭酸濃度の分布推定

次に、CO_2分圧の推定結果を用いて、海洋中の全炭酸濃度の分布推定を行いました。CO_2分圧は、水温に依存して大きく変化するのに対し、全炭酸濃度は、海洋CO_2の挙動をより直接的に表現するパラメータで、主に海洋表層の生物生産や鉛直混合で変化します。全炭酸濃度は連続計測が難しく、CO_2分圧に比べて観測データ数が非常に少ないため、その広域マッピングは、これまで不可能でした。

図3に、7年間で平均した2月と8月の全炭酸濃度の推定値を示します。全炭酸濃度は、湧昇流のある亜寒帯域（北海道北東沖など）で年間を通して高く、亜熱帯域で低い特徴があります。また、冬季に深い鉛直混合により、ほぼ全海域で極大値をとり、春の生物生産により、夏に多くの海域で極小値をとります。

さらに、冬から夏にかけての全炭酸濃度の低下に対して、塩分変化や海面でのCO_2交換を考慮することで、生物生産（正味群集生産）を見積もりました。その結果、中緯度域や沿岸域において生物生産が活発であることがわかりました（図4）。この分布は、衛星海色データに基づく生物生産（正味基礎生産）と非常によく似た分布でした。なお、全炭酸濃度にみられている年々変動については、今後、解析する予定です。

4. 今後の展望

CO_2分圧の推定は、海域のCO_2の放出・吸収の空間的分布やその時間的変化を見積もるのに有用です。また、全炭酸濃度の時空間変化をより詳しく解析すれば、海洋中のCO_2循環メカニズムの解明に貢献できると考えています。さらに、本研究で使用した手法を、全球のCO_2分圧分布推定に拡張できれば、温暖化予測に用いられる地球規模炭素循環モデルのよい指針にもなると期待されます。海洋のCO_2吸収やCO_2循環が、増加する大気CO_2濃度や変化する気候のもとでどう推移するかを明らかにすることは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）をはじめ、今後の地球温暖化を考えるために必要な科学的知見です。

5. 謝辞

国環研の貨物船による観測は、船社並びに港湾関係諸機関の協力で継続されています。ここで感謝の意を表します。

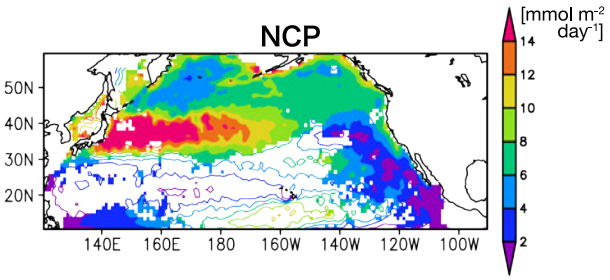


図4　冬から夏にかけての全炭酸濃度の低下から見積もられた正味群集生産

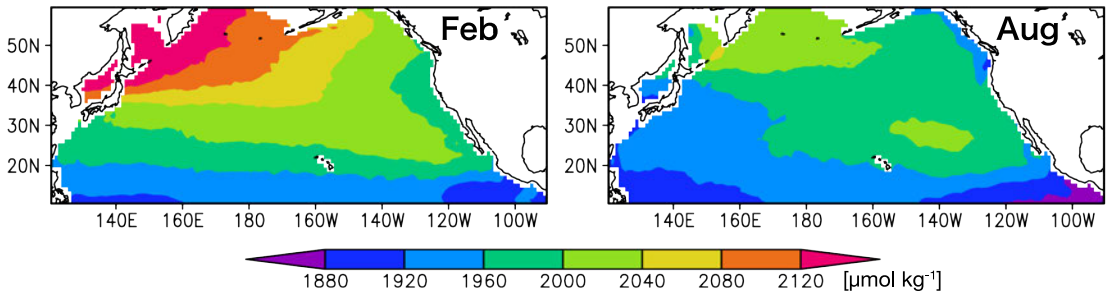


図3　2002～2008年の7年間で平均した2月と8月の全炭酸濃度分布

この内容は、平成25年9月発行の「Biogeosciences」および「Journal of Geophysical Research-Oceans」に学術論文として掲載されるとともに、国立環境研究所から平成 25 年 10 月 10 日付で記者発表されました。

発表論文：

Nakaoka S., Telszewski M., Nojiri Y., Yasunaka S., Miyazaki C., Mukai H., Usui N.（2013）Estimating temporal and spatial variation of ocean surface pCO_2 in the North Pacific using a self-organizing map neural network technique. Biogeosciences, 10, 6093-6106, doi:10.5194/bg-10-6093-2013.

Yasunaka S., Nojiri Y., Nakaoka S., Ono T., Mukai H., Usui N.（2013）Monthly maps of sea surface dissolved inorganic carbon in the North Pacific: Basin-wide distribution and seasonal variation. Journal of Geophysical Research-Oceans, 118, 3843–3850, doi:10.1002/jgrc.20279.

記者発表:http://www.nies.go.jp/whatsnew/2013/20131010-2/20131010-2.html

---

（注 1）海水中に溶存ガスとして存在する CO_2 の量を、圧力を単位として示す指標

（注 2）海水中にガス・分子・イオンとして存在している CO_2 の総量

（注 3）クロロフィル a は植物プランクトンの主要な光合成色素であり、人工衛星から海色を観測してクロロフィル a 濃度を算出し、植物プランクトンの量として示される。

（注 4）海洋表面から深さ方向に密度が変化しない（水温・塩分が一定）層の深さを混合層深度といい、その深さまで海水は良く混合しているとされる。

アジア低炭素社会の実現に向けて
ー環境研究総合推進費 S-6 シンポジウム報告ー

社会環境システム研究センター　統合評価モデリング研究室長　　増井 利彦

1. はじめに

2013 年 10 月 17 日に、国連大学ウ・タント国際会議場にて、環境省環境研究総合推進費 S-6（アジア低炭素社会に向けた中長期的政策オプションの立案・予測・評価手法の開発とその普及に関する総合的研究）の一般公開シンポジウム「アジア低炭素社会へのチャレンジーアジアはリープフロッグで世界を変えられるか？ー」が開催されました。この研究プロジェクトは、2009 年に開始され、今年度が最終年度の課題です。研究プロジェクトでは、世界の平均気温の上昇を産業革命前と比較して 2℃以下に安定化することを目標として掲げ、今後、経済発展とともに温室効果ガス排出量の伸びが著しいと見なされているアジアを対象に、低炭素社会の実現に向けた様々な対策を検討するものです。研究プロジェクトの構成は、当初は 5 つのテーマで開始されましたが、前期 3 年が終了した時点で再編が行われ、後期 2 年については 4 つのテーマで分析を行っています。4 つのテーマは、図 1 に示すように、2℃目標に向けたアジアの将来シナリオを取りまとめるとともに現状の政策を評価する「シナリオチーム」、アジアにおける低炭素社会構築のための制度設計や資金メカニズムを分析する「ガバナンスチーム」、物質の観点から低炭素社会の構築を目指す「資源チーム」、交通や都市に着目した「交通チーム」で構成されています。さらには、各チームからの代表者からなる「シナリオタスクフォース」を組織し、表 1 のようにアジア低炭素社会を実現するための様々な施策を昨年

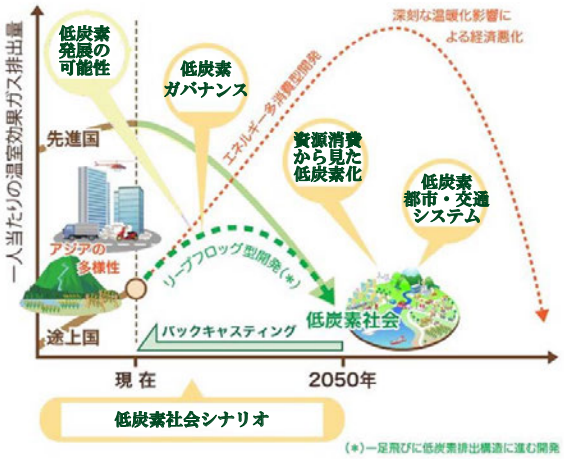


図 1　アジア低炭素研究（推進費 S-6）の全体構成

表 1　本プロジェクトで取りまとめたアジア低炭素社会の実現に向けた「10 の方策」

方策 1：階層的に連結されたコンパクトシティ【都市内交通】
方策 2：地域間鉄道・水運の主流化【地域間交通】
方策 3：資源の価値を最大限に引き出すモノ使い【資源利用】
方策 4：光と風を活かす省エネ涼空間【建築物】
方策 5：バイオマス資源の地産地消【バイオマス】
方策 6：地域資源を余さず使う低炭素エネルギーシステム【エネルギーシステム】
方策 7：低排出な農業技術の普及【農業・畜産】
方策 8：持続可能な森林・土地利用管理【森林・土地利用】
方策 9：低炭素社会を実現する技術と資金【技術・資金】
方策 10：透明で公正な低炭素アジアを支えるガバナンス【ガバナンス】

度までに「10の方策」として取りまとめてきました。今年度は、これまでの定性的な検討を基礎に、「10の方策」の定量的な結果の評価を行いました。本稿では、シンポジウムの進行に沿って、本プロジェクトの成果を示していきます。

2. シンポジウムの内容

シンポジウムは、関荘一郎環境省地球環境局長、住明正国立環境研究所理事長の挨拶からはじまり、プロジェクトリーダーである甲斐沼美紀子国立環境研究所フェローによる全体説明が行われました。2013年9月に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第一作業部会の第5次評価報告書の内容も踏まえて、このプロジェクトの目標である世界の温室効果ガス排出量を半減させることの意味が説明されるとともに、各チームでの検討内容が報告されました。また、こうした研究成果を実際の社会に活かすことを目的として設立されているLoCARNet等の国際的な活動についてもあわせて紹介されました。

次に、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）のHeinz Schandl博士から、「アジアにおけるグリーン成長・低炭素成長に向けた進捗」と題する招待講演が行われました。Schandl博士は、持続可能な資源利用と低炭素発展は、社会にとって大きな挑戦であり、その実現のためには、ライフサイクル全体で資源利用を評価し、低炭素発展に向けた適切な政策が必要であることを強調されました。

セッション1「資源･交通からみた低炭素アジア」では、テーマ2「ガバナンスチーム」のリーダーである蟹江憲史東京工業大学准教授のコーディネートのもと、テーマ4「資源チーム」のリーダーである森口祐一東京大学教授が「資源生産性からみた低炭素社会への道」を、テーマ5「交通チーム」のリーダーである林良嗣名古屋大学教授が「アジアにおける低炭素交通システム実現のための戦略と手段」を､それぞれ報告しました。森口教授からは、国際資源パネルが2011年に報告した、経済成長と資源消費や環境負荷の増大を切り離すことが可能であること（いわゆるデカップリング）が紹介されるとともに、この考え方に基づいた資源生産性の観点からの低炭素研究の成果が報告されました。特に、ストックからみた鉄やセメントの管理や質的な改善が重要であると指摘されました。一方、林教授は、バンコクにおける公共交通整備の歴史を振り返りつつ、2050年のアジア低炭素社会を実現する交通システムと都市像のビジョンについて示すとともに、その実現に向けた3つの戦略（不要な交通需要を回避するAVOID戦略、低炭素交通手段に転換するSHIFT戦略、輸送エネルギー消費効率を改善するIMPROVE戦略）を中心に、研究成果を報告しました。

休憩をはさんで、2件目の招待講演「2℃目標に向けた中国のエネルギー展開」が、中国発展改革

写真1　セッション1「資源・交通からみた低炭素アジア」の2件の研究成果報告の終了後に、基調講演を行ったSchandl博士らも交えて行われた討論の様子

写真2　セッション2「アジア低炭素社会シナリオ」で2件の研究成果報告の終了後に､基調講演を行ったJiang博士らも交えて行われた討論の様子

委員会 能源研究所の Kejun Jiang 博士から行われました。Jiang 博士が計算する中国の低炭素化に向けた排出経路のうち、2℃目標に向けたシナリオでは、中国でも 2020 年以降には二酸化炭素排出量の伸び率をマイナスにする必要があることが示されました。また、次期 5 カ年計画に向けて、深刻化する大気汚染問題の解決に向けた取り組みも紹介されました。

セッション 2「アジア低炭素社会シナリオ」では、甲斐沼フェローのコーディネートのもとで、テーマ 1「シナリオチーム」を代表して、世界モデルを用いた結果を筆者が、各国の研究者や政策決定者が作成した個別のシナリオの成果を松岡譲京都大学教授が、それぞれ紹介しました。世界モデルの結果では、筆者が表 1 に示した「10 の方策」として取り上げられた各方策を定量化する過程を説明するとともに、それぞれの方策によるエネルギー消費量の変化や土地利用への影響等を示しました。また、図 2 に示すような温室効果ガス排出量の推移を示し、アジア全域では、方策 6（エネルギーシステム）による効果が最も大きく、次いで方策 3（資源利用）の順となっており、2050 年には「なりゆき」社会の排出量と比較して 69% の削減、2005 年の排出量と比較しても 38% の削減となることを紹介しました。あわせて、これまでの各国の低炭素社会の実現に向けた動きから、それぞれの対策をいかに実践するかが問われており、既に各国において自発的に実践されつつある様々な取り組みを大切にしつつ、リープフロッグ型の発展経路が実現できるように支援していくことが重要と報告しました。なお、定量化の詳細につきましては、当日配布しました冊子「アジア低炭素社会の実現に向けて－ 10 の方策によりアジアはどう変化するか－（http://2050.nies.go.jp/file/ten_actions_2013_j.pdf）」を参照して下さい。松岡教授からは、国や都市など個々の取り組みが、どのようなツールを用いて、どのような手順で行われたかが説明されました。これまでの実際の取り組みから、低炭素社会政策を立案、実行する国や地域のリーダー及び地域住民の強力な支持はもちろんのこと、低炭素社会研究・調査活動について現地の関係者と理解を共有することが重要であり、低炭素社会の実現には、とりまとめを担う人材の養成が必要となるとなることが示されました。

3. 2℃目標は達成できるか？

各報告に対しては、コメンテーターのほか会場の参加者から、アジアで実際に取り組まれている事業を踏まえた質問が出されるなど、本プロジェクトが実践のための研究であることが強く印象づけられたシンポジウムとなりました。世界の平均気温を産業革命前と比較して 2℃以下に安定化する

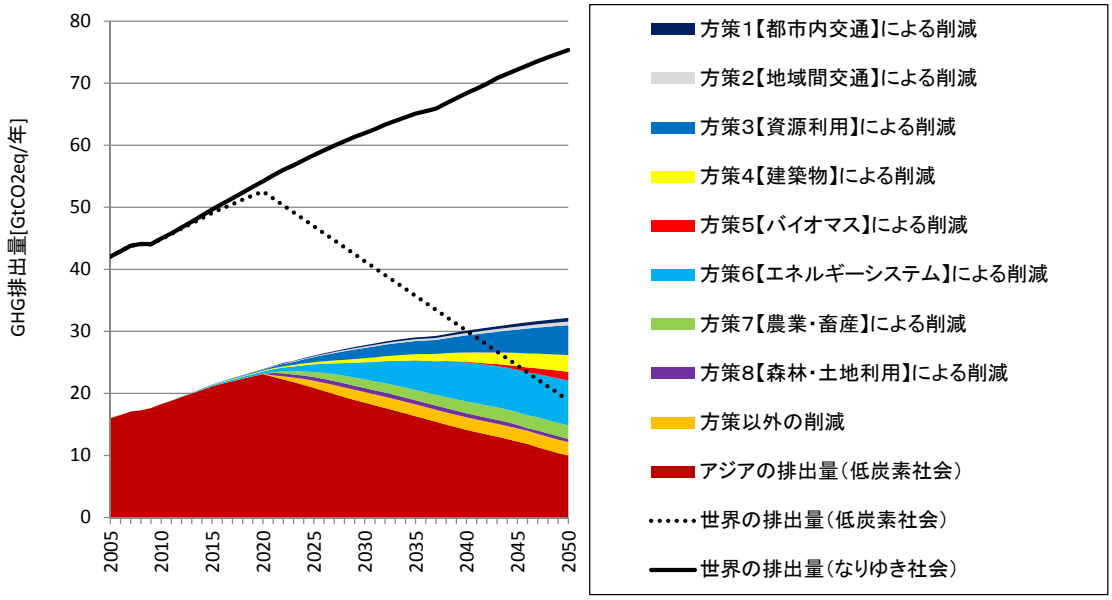


図 2　表 1 に示した方策に対応する温室効果ガスの削減量と低炭素社会での排出量

という目標は、達成可能であり、そのための具体的な取り組みとその効果についても明らかにすることができたと考えています。一方で、目標の実現は容易ではなく、そのためには非常に多くの取り組みが必要であり、一刻も早く取り組むことが鍵になるといえます。残念ながら、日本では、東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、温室効果ガス排出削減に向けた取り組みは後退したかのように見えますが、長期的な目標に向けて我々は今何ができるかを考えるとともに、アジアの国々がリープフロッグ型の発展を実現するために何ができるかを検討し、実践していく必要があるといえます。推進費 S-6 は今年度で終了しますが、国立環境研究所においては今後も低炭素社会の実現に向けた研究をさらに深めるとともに、実践的な活動もあわせて実施したいと考えています。

なお、本シンポジウムの詳細や本プロジェクトの成果は、http://2050.nies.go.jp/ に掲載されていますので、あわせてご覧下さい。

インタビュー：「空飛ぶ実験室」が上空の二酸化炭素濃度観測を変えるーCONTRAIL プロジェクトー

民間定期航空機による温室効果ガス観測、コントレイル（Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIrLiner: CONTRAIL）プロジェクト（注 1）が第 19 回日韓（韓日）国際環境賞（注 2）を受賞しました。CONTRAIL プロジェクトは、国立環境研究所、気象庁気象研究所、日本航空（以下、JAL）、（株）ジャムコ、公益財団法人 JAL 財団の産学官連携で進められています。国立環境研究所の担当者である地球環境研究センター大気・海洋モニタリング推進室長の町田敏暢さんに地球環境研究センターニュース編集局の広兼がお話をうかがいました。

Win-Win がもたらす成果

広兼：この度は CONTRAIL プロジェクトの第 19 回日韓（韓日）国際環境賞受賞おめでとうございます。第 40 回環境賞環境大臣賞・優秀賞（関連記事を参照）に次ぐ受賞ですね。

町田：ありがとうございます。CONTRAIL プロジェクトは 2005 年に始まり、これまでいろいろな賞に応募してきましたが、なかなか受賞できませんでした。今回連続して賞をいただいたことは、このプロジェクトに携わるすべての人にとって励みになると思います。

広兼：CONTRAIL プロジェクトが高い評価を受けるのはどういうところが優れているからだと思われますか。私は Win-Win というか、企業と研究所がそれぞれ「得意なこと」を担当して一つのプロジェクトを成功させたことだと思いますが。

町田：研究者の視点からは、世界で初めて民間定期航空機に二酸化炭素（CO_2）濃度連続測定装置（Continuous CO_2 measuring Equipment: CME）を搭載して連続観測し、世界でも例のない高精度のデータを取得、上空の CO_2 濃度のデータの質と量を飛躍的に向上させたことです。また、大規模な予算を必要とせず、関わっている人員も少ないという極めて効率のよいプロジェクトといえます。社会一般の評価としては、産学官連携プロジェクトの成功例とも捉えられているようです。JAL は CSR（社会的責任）を重視していますが、研究成果が加わったことで実際の社会に役立つものになったと思います。このように研究者にとっても参画した企業にとっても協働したことで実りあるものになりました。おっしゃるとおり Win-Win ですね。CONTRAIL プロジェクトの成功は、国内外の他の産学官連携プロジェクトにもいい影響を及ぼすことができるでしょう。これが今回評価されたことの一つだと思っています。

産学官の協力体制で進められるプロジェクト

広兼：自動大気サンプリング装置（Automatic Air Sampling Equipment: ASE）や CME は日本独自の開発と考えてよいでしょうか。また、主として国立環境研究所が開発したものでしょうか。国立環境研究所、気象研究所、JAL、ジャムコ、JAL 財団の役割分担を教えてください。

町田：日本独自の開発ですが、それ程難しい技術ではありません。ASE は CONTRAIL プロジェクトが始まる前から気象研究所が中心に行っていた JAL の大気観測プロジェクト（以下、旧 JAL プロジェクト）で使用されていました。気象研究所が JAL と共同で開発したものです。それを CONTRAIL プロジェクト用に改良しました。

CME の開発は、国立環境研究所が 1990 年代から実施していたシベリア上空の航空機観測がスタートです。その後、NASDA（宇宙開発事業団：当時）が行っていた飛行機観測キャンペーンに、シベリア観測で使用した CO_2 観測装置を改良して参加しました。この時点で飛行機に搭載する技術が確立されました。さらに、カイトプレーン（小

型の無人飛行機）用に小型化・軽量化（本体 1kg の制限）に成功しました。そして、旧 JAL プロジェクトの終了を見据えて次の計画を話し合ったときに、国立環境研究所の小型の CO_2 濃度測定装置が採用されたのを受けて、CME を開発したのです。開発は国立環境研究所ですが、製作しているのはジャムコです。ジャムコがネジに至るまですべての部品を航空機用に作りました。

世界の CO_2 観測に貢献する技術

広兼：日本発の技術が世界標準となって世界の CO_2 観測に貢献するということが素晴らしいですね。ところで、ヨーロッパの方式は日本とは大きく違うものでしょうか。

町田：旧 JAL プロジェクトで製作した ASE は限られた機体にしか搭載できなかったので、飛行機を限定した搭載許可を得て観測していました。私たちが CONTRAIL プロジェクトを始めるとき、世界標準の装置を作ることが目標でした。それが ASE と CME です。ボーイング 777-200ER 型機とボーイング 747-400 型機に搭載できる装置をつくり、米国連邦航空局と日本の国土交通省航空局から搭載許可を取得しました。しかし、世界の同じ型の飛行機ならすぐに搭載できるわけではなく、飛行機を改良した後にはそれなりの許可申請が必要になりますので、世界標準を作りましたが、簡単には広まりませんでした。

一方、ヨーロッパでは CONTRAIL プロジェクトの前から民間飛行機でオゾンを観測するプロジェクトがありました。その後、CONTRAIL プロジェクト開始を受けて温室効果ガスを観測する独自の観測装置の開発を始めました。現在は IAGOS（In-service Aircraft for a Global Observing System）という新しいプロジェクトに変わっています。ヨーロッパではここ数年、レーザーを使った観測装置－キャビティリングダウン分析計－が急速に普及しており、それを搭載しようとしています。

B787 に CME と ASE を搭載

広兼：最新機のボーイング 787 型機に CME や ASE を搭載する予定はあるのですか。

町田：787 型機は運行域が広がるので興味があります。将来 B787 で観測が始まる頃には CONTRAIL プロジェクトでもキャビティリングダウン分析計を使った観測を実施したいと考えています。その前の段階として 787 型機に ASE と CME を搭載してデモンストレーション飛行をする計画があり、ボーイング社と共同で工事が進んでいます。実は新しい航空機は今までとは異なる炭素繊維（カーボンファイバー）という素材を多く使っているため、JAL の整備部門も経験がなく、改修は簡単ではないと聞いていました。しかし、製造元のボーイング社では CONTRAIL プロジェクトのことを知っていて、環境部門の人も関心をもっており、協力していただけることになりました。ボーイング社で行っているエコデモンストレーターフライト（環境に役立つものを搭載して飛行）の次の計画は 787 型機で実施する予定ということなので、ASE と CME を搭載することになり、現在工事をしています。エコデモンストレーターフライトでは、装置は貨物室の空きスペースではなく客室の一部を取り払って設置するなど、完全に民間航空機に乗せる仕様にはなっていませんが、装置が 787 型機に搭載され、問題なく飛行できたという実績ができますし、飛行中に装置をチェックできます。この経験によって将来の搭載申請もしやすくなると思います。

観測頻度が増すと新しい成果が

広兼：今後データが蓄積していくと考えられますが、データの密度に目標値のようなものはありますか（どのくらいのデータが採れたら満足と言えるのでしょうか）。

町田：ある場所の CO_2 濃度の変動を理解するには、その場所の季節変化を把握することが必要です。ですから季節変動がとれるくらいの観測密度が必要になってきます。1 か月に 1 回、最低でも年間 12 回観測できるようにしたいと常に思っています。さらに観測回数が増えると、これまでにない新しい成果が得られます。たとえば、成田空港では毎日のように CO_2 の観測ができ、高気圧や低気圧の移動に連動した数日規模の CO_2 濃度変化が上空でも起こっていることがわかりました（関連記事を参照）。

広兼：離発着の多い成田空港は固定ステーション並みに地上付近のデータ数があると思いますが、昼間のデータしか採れませんね。そのために固定モニタリングステーションほどはデータ価値ないということになってしまいますか。成田空港に固定ステーションを新設すると上空のデータと相まって有効なデータセットになるのでしょうか。

町田：CO_2 濃度が日変化するのは地上付近だけです。地上から 1km までの境界層から上は昼夜の差がほとんどありませんから、夜でも変わらない結果になると思います。

広兼：CME や ASE で得られたデータは貴重で、世界の研究者に利用されているとのことですが、何か国、何件ぐらい利用されているのでしょうか。また、その成果はどのようなところに活かされているのでしょうか。

町田：現在までに 15 か国から約 100 件のデータ利用申請を受けています。申請数は日本と外国と半々くらいです。ウェブサイト（http://www.cger.nies.go.jp/contrail/）のデータ利用規約に同意していただければ、誰にでもデータを提供しています。学会発表や論文発表で引用するときは、事前に内容を確認させていただいています。

CONRAIL プロジェクトの今後の展開：観測項目と観測範囲を広げたい

広兼：JAL 以外の日本の航空会社に関心はありますか。

町田：民間の航空会社は採算がとれない路線が変更になったり廃止になったりするので、常に一喜一憂しています。日本のほかの航空会社にも興味はありますが、JAL ほど路線が広がっていませんし、特に南半球への飛行がないことが研究上の最大の不利な点になっています。

広兼：CONTRAIL プロジェクトは今後どんな展開を考えていますか。別の温室効果ガスや環境汚染物質を追加して計測する計画はありますか。

町田：ヨーロッパのようにキャビティリングダウン方式により、メタンや一酸化炭素なども観測したいと思っています。キャビティリングダウンはいくつか種類があり、亜酸化窒素を観測できるものも出てきましたから、組み合わせて使い、連続観測を実施したいと思います。それができると温室効果ガス研究の世界は変わります。

広兼：南米、アフリカには JAL は運航されていませんが、ヨーロッパ便がその地域を飛べば世界を網羅することになりますか。

町田：私がアドバイザリーメンバーになっているヨーロッパの IAGOS プロジェクトは南米もアフリカも飛行しますから、CO_2 観測が開始されれば CONTRAIL と相補関係になります。アジアはデータの空白域です。デリー、ジャカルタ、バンコック、シンガポールについては地上データもほとんどないので、CONTRAIL プロジェクトのデータは貴重です。先日、気象研究所の研究者がインドの CO_2 の放出・吸収量の推定誤差が縮まったという研究論文を発表しました。このように、南半球と、データ空白域の南米、アフリカ上空は是非進めたいですね。

町田敏暢さん
地球環環境研究センター
大気・海洋モニタリング推進室長

「子どもの頃の夢と今のプロジェクトとは何か関係がありますか？」との問いに、町田さんは、
「子どもの頃、研究者になろうとは思っていませんでしたが、乗り物は好きでした。大人になった今でも飛行機を見学するのはいつもワクワクします。」

（注 1）日本航空が運航する航空機に二酸化炭素濃度連続測定装置（Continuous CO_2 measuring Equipment: CME）と自動大気サンプリング装置（Automatic Air Sampling Equipment: ASE）を搭載して上空大気中の温室効果ガス等を観測。

（注 2）日韓国交正常化 30 周年にあたる 1995 年、東アジア地域の経済発展と環境保全の調和を図るために毎日新聞社と朝鮮日報社が共同で創設。

＊このインタビューは 2013 年 10 月 30 日に行われました。

COMTRAIL プロジェクト　離陸から安定飛行への航跡

2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013

2003年 9月 文部科学省「科学技術振興調整費」を獲得、観測装置の開発開始

3月 開発した2つの装置が米国連邦航空局（FAA）の環境試験（地上試験）に合格
10月 初号機である747-400型機（機番JA8917）【1機目】の機体改修を実施、両装置を搭載
10〜11月 FAAと日本の航空局から追加型式承認（STC）取得、装置を搭載した航空機の運航が可能になる
11月 CMEの初観測飛行実施（初フライトはバンコック）
12月 ASEの初観測実施（シドニー路線）

2月 747-400型機（機番JA8921）【2機目】の機体改修実施
3月 777-200ER型機の初号機であるJA705J【3機目】の機体改修実施
4月 環境省地球環境保全試験研究費の補助を受け本格的観測開始
10〜11月 777-200ER型機の2号機にあたるJA703J【4機目】と3号機のJA707J【5機目】の機体改修を実施、5機体制での観測開始

10月 747-400型機によるブリスベン路線でのASE観測開始

3月 オーストラリア路線でのASE観測中止
4月 オーストラリア路線で手動サンプリング（MSE）観測開始
4月 グアム路線でのASE観測開始

3月 グアム路線でのASE観測中止
4月 ホノルル線でのASE観測開始
5月 CMEが5000回目の観測飛行実施
9月 ホノルル線でのASE観測中止
10月 ボーイング747-400型機での観測が全て中止、ボーイング777-200ER型機3機【3〜5機目】での観測体制になる

4月 ボーイング777-200ER型機によるシドニー路線でのASE観測開始

4月
ボーイング777-200ER型機によるヨーロッパ路線でのASE観測開始

6-9月
777-200ER型機のJA708J【6機目】とJA709J【7機目】の機体改修を実施、5機体制での観測開始

3-8月
777-200ER型機のJA702J【8機目】、JA710J【9機目】、JA711J【10機目】の機体改修を実施、8機体制での観測開始

747-400型機　777-200ER型機

JA8917 JA8921 JA705J JA703J JA707J JA708J JA709J JA702J JA710J JA711J

退役

■□■□■　関 連 記 事　■□■

□ CONTRAIL プロジェクトに関する過去の記事は以下からご覧いただけます。

○町田敏暢「観測現場から—JAL— 航空機の『おなか』の中」2006 年 12 月号
○町田敏暢「観測現場から—JAL— 世界を旅する CME」2008 年 2 月号
○町田敏暢「CONTRAIL プロジェクトが始まって 5 年経ちました」2010 年 12 月号
○白井知子「成田上空の二酸化炭素濃度の短周期変動 —民間航空機を利用した大気観測結果の解析—」2013 年 3 月号
○町田敏暢「長期観測を支える主人公—測器と観測法の紹介— [5] 旅客機で CO_2 を測る：民間航空機搭載型の自動 CO_2 測定装置」2013 年 3 月号
○広兼克憲「『空飛ぶ実験室』コントレイルプロジェクト、環境大臣賞を受賞！」2013 年 9 月号

CME 観測ルートのイメージ

2013 年度ブループラネット賞受賞者による記念講演会 (1)

2013 年度のブループラネット賞受賞者である松野太郎博士（海洋研究開発機構地球環境変動領域特任上席研究員）とダニエル・スパーリング博士（カリフォルニア大学デービス校教授）による記念講演会が、2013 年 11 月 1 日、国立環境研究所大山記念ホールで行われました。講演内容（要約）を 2 回に分けて紹介します。

ブループラネット賞および受賞者の略歴については旭硝子財団のウェブサイト（http://www.af-info.or.jp）を参照してください。

ゼロエミッションを前提とした大気 CO_2 濃度の安定化

松野太郎さん（海洋研究開発機構地球環境変動領域特任上席研究員）

これまでの大気 CO_2 濃度の「安定化」の概念に私は疑問を感じました。従来考えられていた安定化よりゼロエミッションの方がいいのです。本日はこのことについてお話しいたします。

1. 従来の「安定化」概念の再検討

国連気候変動枠組条約の第 2 条には「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする」とあります。「安定化」は、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）第 3 次評価報告書統合報告書に載っている図によると、「増えていた大気中の二酸化炭素（CO_2）濃度が一定になり、長い時間をかけて温度も上がらない」ということです。ところが同報告書では、大気中の CO_2 濃度が一定になっても少量の排出が 1000 年にわたり続きます。CO_2 排出の削減努力をあるところで止めてしまうのはちょっと考えると不自然です。これには海洋による吸収が関係しています。

(1) 海洋のメカニズム

海洋が CO_2 を吸収するメカニズムについて説明します。太陽によって海水が温められますが、温かい水は軽いので安定成層となり混ざりません。しかし、風が吹くと、黒潮のような海流が生まれこれと自転の効果によって、温かい水は 10 ～ 20 年かけて数百ｍの深さまで届き、循環します。一方、極では冷却により塩分濃度の高い水が熱塩循環で深層水や底層水をつくります。海洋全体をみたす深層水は数千 m の深さのところから 1000 年以上かけてゆっくり上がってきます。現在、海のなかでは産業化以前の空気になじんだ水が 9 割を占めています。大気－海洋間で自然の平衡状態であったものが、大気中の CO_2 濃度が増えると、10 年位たって水深 400m くらいまでよく混じり、大気と表層海洋の CO_2 濃度は平衡になります。しかし深層は昔のままです。1000 年以上かけて深層循環により全海洋の水が混合され、新しい平衡状態に向け CO_2 を吸収しつづけます。

統合報告書に示された「安定化」では、世界（人類社会）が劇的な排出削減を達成した後に排出削減のペースを遅くしてしまうのですが、なぜでしょ

うか？　これは、「安定化＝一定濃度を保つ」という前提から逆算して出てきた結果にすぎないからです。炭素循環プロセスにおいて、海洋などの自然吸収があるため、それに対して CO_2 濃度を「安定化レベル」に保つ（減少させない）のに必要とされる排出量です。そこで、これを排出継続安定化（emissions keeping stabilization）と呼ぶことにします。

(2)「ゼロエミッション安定化」という従来と異なる安定化概念

「安定化」を目指して削減努力をするのであれば、緩めることなく継続し、目標とする安定化濃度での自然吸収量（現排出の10～20%程度）より十分低いレベルまで排出量を減らす、つまり実質的ゼロエミッションにすれば、CO_2 濃度は減少に転ずることができます。同時に温度上昇も頭打ちとなり、ゆっくりと下降します。最終的（約1000年後）には、産業化以前と同じような、何千年も続く「安定な平衡状態」に落ち着きます。

(3) Z650 と E450 の比較

CO_2 濃度だけを対象にして2種の安定化を比較します。目標濃度レベル450ppm（産業化以前の水準からの世界全体の平均気温が2℃以下に相当）の従来型安定化 E450 と、21世紀中の CO_2 総排出量650GtC（ギガトン＝10億トン炭素換算 CO_2）のゼロエミッション型安定化 Z650 です。650GtC にした理由はいくつかあります。Z650 は IPCC の温室効果ガス排出シナリオである SRES シナリオのなかで最も排出量の低い B1 を念頭に置き設定しましたので、世界全体で共有可能な目標になるかと思います。B1 シナリオでは、2100年時点で産業化前からの気温上昇を2.3℃、21世紀中の排出総量が800GtC となっています。しかし、B1 シナリオは相対的に CO_2 が多く、メタンなど他の温室効果ガスの寄与は少ないので、それを考慮し650になりました。もう一つのポイントは、2050年に温室効果ガス排出半減というものです。2005年の世界の排出量は8GtC で、途上国と先進国がほぼ同じでした。2050年に先進国は半減可能ですが、途上国はむしろこれからどんどん増えるのですから、元に戻すくらいがちょうどいいということで、2050年には先進国分だけ半減の25%減ですと6GtC です。排出量の減少率については、年2%くらいなら比較的達成可能とみました。650はこういう経緯でできた数字です。

比較結果をご紹介します。Z650 の CO_2 削減については、2160年にゼロ、CO_2 濃度は一時480ppm で E450 より高い値になりますが、その後下降します。温度は1.8℃を少し超えますがその後下がります。一方 E450 は、CO_2 濃度のピークは Z650 より低いのですが、ピーク後もだらだらと排出が続きます。450ppm に対応する温度は2℃ですが、安定化後もどんどん上がって2.1℃に近づいていきます。

次ページの図からわかるように、Z650 では、2030～2150年の期間、従来の安定化で2℃目標に対応する濃度450ppm を超えピークは480ppm にもなります。しかし、海洋の熱容量のおかげで温度上昇は1.8℃どまりで、無事危険温度をすりぬけます。2100年より先に排出をゼロに近づけることにより、当面の排出量を大きくしながら温度上昇を実現させないのです。

2. CO_2 以外の効果を含め2℃を超えない2種の安定化

メタンなど他の温室効果ガスも考慮し、産業化以前の水準からの世界全体の平均気温が2℃以内となる場合の2種の安定化排出経路の比較をしました。従来型安定化は IPCC 第5次評価報告書（AR5）のための温暖化実験用排出および濃度シナリオ RCP2.6（放射強制力 2.6W/m^2）とします。ゼロエミッションでは Z520（21世紀中の CO_2 排出量520GtC）となります。これは新たに自分たちで作成したものです。メタンなど他の温室効果ガスとエアロゾ

ルを合計した正味の放射強制力のつじつまが合うように計算をすると、21 世紀中の排出量は 520GtC になります。

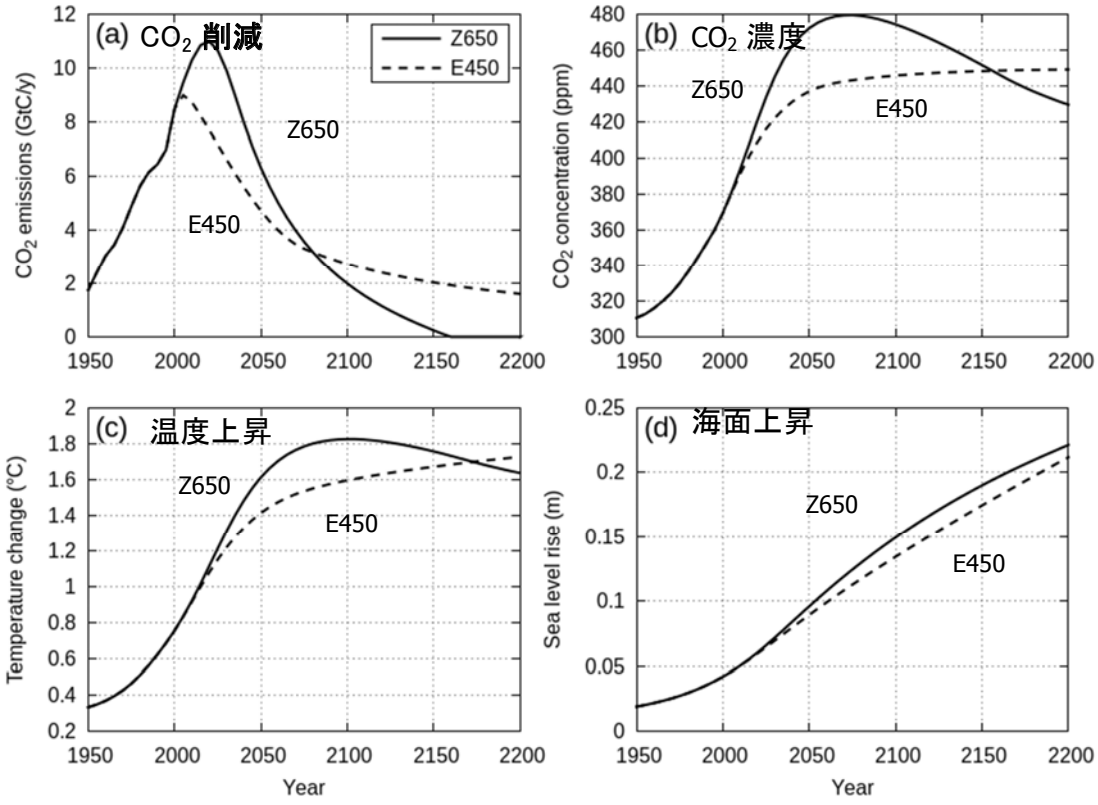
(1) Z520 と RCP2.6 との比較

Z520 と RCP2.6 とを比較してみました。RCP2.6 では CO_2 以外の温室効果があるので、2℃を守るためには CO_2 濃度を 450ppm ではなく、400 ～ 410ppm にしなければなりません。温度上昇については、2℃以下の小さなピークのあと少し下がりますが、また安定化温度 2℃に向け上がっていきます。それに対して Z520 は 2℃を守るにもかかわらず 500ppm を超えることになりますが、その後減少します。温度上昇は 2℃をピークに下がっていきます。2000 年と比較した 2050 年の温室効果ガス排出量は、Z520 が 54％、RCP2.6 が 33％となりました。Z520 は「2050 年半減」よりちょっぴり多いのですが、2℃目標で従来型安定化を目指す RCP2.6 は半減どころか 2/3 減だったのです。

(2) 疑問への回答

動機の一つ、期待したことは、ゼロエミッション安定化なら同じ温度上昇 2℃の制限のもとでも、「2050 年の排出量 50％削減」よりも多くできる排出経路があるに違いないと思ったことです。2050 年半減は RCP2.6 で、温度上昇 2℃制限から出てくるものだと思っていましたが、結果的にはそうではなかったのです。RCP2.6 が、IPCC 第 4 次評価報告書第 3 作業部会報告書で示された六つの安定化目標と世界平均気温上昇幅との関係を示した表の中のカテゴリー I の代表と考えたからです。ところがカテゴリー I のシナリオはすべて 2000 年から 2010 年までの現実の排出量の増加を考慮していません。現実と矛盾した仮定のもとに作られていたのです。450ppm 相当で安定化（昇温 2℃）のための「2050 年に 2000 年に比べて温室効果ガス排出量 50％削減」という目標は、不適切なシナリオ研究に基づいたものでした。

2℃安定化を目指す RCP2.6 は 21 世紀後半にマイナスエミッションとなるので温度上昇を 2℃以下にとどめるのは無理だと言われていましたが、そうではないということがわかりました。RCP2.6 は私が示したゼロエミッションという考え方を入れて



Z650（実線）と E450（点線）の比較

いない、従来の安定化、目標濃度を決めた安定化だからです。AR5 では、2013 年 9 月に公表された第 1 作業部会報告書も 2014 年公表予定の第 3 作業部会報告書も長期の議論で従来の安定化を離れ目標濃度を示していません。

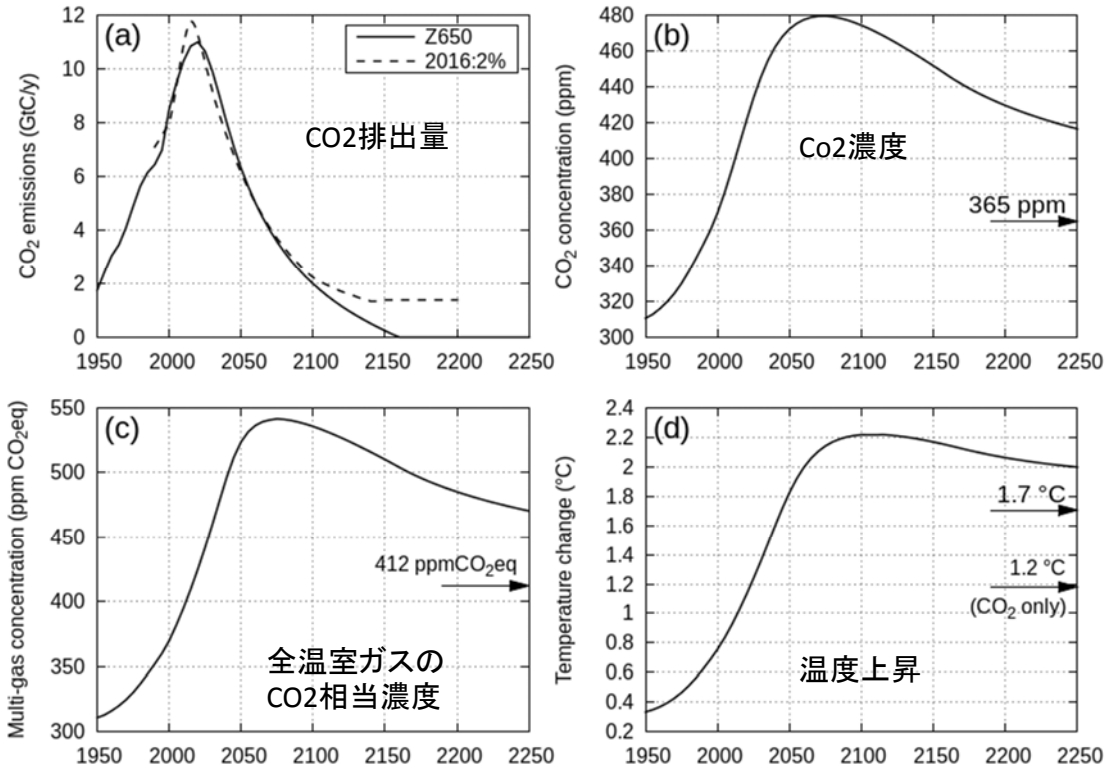
3. 実際問題に適用できるゼロエミッション安定化シナリオの提案

これまでご説明したとおり、Z650 は実際に適用できることを念頭に置いて設定したもので、以下の特色があります。

・同一の温度上昇制約のもとでは、従来の安定化に比べて近い将来にはより多い排出が許容される。
・温度上昇のピークは相対的に短い期間で終わる。
・最終的な平衡時の昇温は従来の安定化の場合より低い。CO_2 排出だけを考慮すると最高温度上昇は 1.8℃、メタンなど他の温室効果ガスの効果を加えても 2℃を少し超える程度。

メタンなど他の温室効果ガスを含む場合の Z650 シナリオによる将来予測結果では、先進国が温室効果ガスを 2050 年に 2000 年比 60 ～ 80% 削減できれば、開発途上国へ排出をより多く割り振ることが可能です。途上国は途中で 1.5 倍くらいまで増やしても構わず、その後 2050 年に 2000 年の排出量に戻せばよいことになります。これは社会・経済的に大きな意義があると思います。

（文責：地球環境研究センターニュース編集局）



現実的な場合（他の温室効果ガスを含む）Z650 シナリオによる 2250 年までの予測計算の結果

伝統と先進の街で考えたこと：英国オックスフォード大学・環境変動研究所における派遣研修の報告

地球環境研究センター気候変動リスク評価研究室　主任研究員　　塩竈 秀夫

1. はじめに

国立環境研究所（国環研）の派遣研修制度により 2012 年 11 月より 2013 年 10 月まで英国オックスフォード大学の環境変動研究所（Environmental Change Institute: ECI）に客員研究員として滞在し、現地の研究者と共同研究を行う機会をいただきました。現地での生活や研究の様子などについて報告させていただきます。

2. オックスフォード大学とオックスフォードでの生活について

オックスフォード大学は、言わずと知れた名門大学で、世界の大学ランキングでトップ 10 に入ります。英語圏では最も古い大学で、少なくとも 11 世紀（日本なら平安時代）には講義が行われていたそうです。40 以上のカレッジからなる総合大学で、そのなかの 1 つベリオール・カレッジでは、滞在中に創立 750 周年の祝賀イベントが行われていました。また伝統あるクライスト・チャーチ・カレッジ内の大聖堂で行われた礼拝には、エリザベス女王夫妻も出席していました。

このように伝統があり、有名な大学ですが、そのステータスをさらに高めていこうという努力も怠っていません。たとえば、私の滞在中には、論文のオンライン・オープン（論文の PDF ファイルを、インターネット上で無料で入手できる制度。そのかわりに執筆者が出版社に一定額を支払う）が義務化されました。研究者は、オンライン・オープンの費用を確保しなければならないので大変ですが、論文の読者数と引用数を引き上げる上で効果的な方法であることは間違いないでしょう。

このような有名大学で勉強・研究をしたいと、世界中から優秀な学生・ポスドクが集まってきます。私は、研究センターに所属していたので、学部の学生と接する機会はなかったのですが、大学院生やポスドクは半数以上がイギリス国外から集まっているという印象を受けました。

大学のあるオックスフォード市は、ロンドンから西に車や電車で 1 時間ほどの場所にあります。「大学の中に街がある」といわれるほど、どこにいっても大学の建物と、その関連施設であふれています（写真 1 ）。またオックスフォード市は、田園風景で名高いコッツウォルズ地方の東端でもありますので、車で少し走れば、雄大な景色が広がっています。首都から 1 時間ほどで、教育研究機関が集中し、周りには田園風景という状況は、つくば市と似ていました（歴史の長さは全く違いますが）。

オックスフォード市とその近郊は、教育水準が高くて、治安も良く、日本人コミュニティーもあって、小さな子供連れの我が家にはよい場所だったのですが、大きな問題がありました。それは、不動産の見つけにくさと、家賃の高さです。オックスフォード市の隣のキドリントンという静かな村（ECI までバスで 30 分ほど）に住んだのですが、そこでも月々の家賃が日本円で 20 万円弱しました。ポスドクの方々は給料がよいわけではないので、生活は楽ではないようです。それでもオックスフォード大学に人が集まるのは、そこでの経歴

写真 1　オックスフォード大学のキャンパス（オール・ソウルズ・カレッジ）の様子。このような歴史的な建造物があふれている。

が、その後のよりよいポジション（よい給料）につながるからだそうです。国環研で仕事をすることが、その後のよりよいキャリアに結びつくという状況を作れれば、人材は集まってくるのでしょうが、簡単なことではないと感じました。

3.ECI での研究

私が在籍した ECI は、1987 年に設立された環境変動に関する学際的な研究所で、気候、生態系、水資源、食料、エネルギー、インフラストラクチャーなど、幅広い分野の研究を行っています。イメージとしては、英国の国環研といったところです。英国における気候変動に対する適応策研究をサポートする United Kingdom Climate Impacts Programme のホストも行っています。

私は、この研究所の中の Myles Allen 教授の気候変動研究グループに加わりました（写真 2）。Allen 教授は、英国気象局の研究者達とともに、「過去の気候変動の検出と要因推定に関する研究（Detection and Attribution of climate change; D+A）」の標準的な解析手法を作り上げた人物です。またグリッドコンピューティング技術を用いて、一般の方々のパソコンの CPU 空時間を利用して気候モデルを走らせ、膨大な数の気候変動数値実験を行うプロジェクト climateprediction.net（CPDN: www.climateprediction.net）を立ち上げ、過去の気候変動の理解と将来予測の不確実性に関して、数々の画期的な論文を発表してきました。実は、私が 2004 年に国環研に入所して最初に行った気候変動研究は、D+A に関するものでした。その際に Allen 教授が国環研までポスドクを派遣してくれて、解析手法を教わって以来の関係です。その後、専門家会合などで毎年のように顔を合わせてきましたが、そのたびに長期滞在研究を勧められてきており、10 年弱の年月を経て実現したことは感慨深いことでした。Allen 教授は多忙を極める人物なのですが、CPDN の毎週の打ち合わせには可能な限り出席してプロジェクトの重要な部分を把握していること、また研究をデザインする段階で既に Nature などに投稿できるようなアイデアを盛り込んでいることなど、彼がどのように研究グループをマネージしているかを間近で見られたことは、今後の研究スタイルを考える上で大変参考になりました。また CPDN や英国気象局の研究者と、気温変化、水循環変化、異常気象の要因推定、気候変動緩和策など様々な研究テーマに関して議論を行えたことは、大きな刺激になりましたし、いくつかの研究テーマに関しては共同研究を立ち上げました。Allen 教授とは、気候変動予測の不確実性低減に関する研究を行い、現在論文投稿の準備をしています。

写真 2　CPDN の打ち合わせの様子。一番左が塩竈、左から 3 番目が Allen 教授。気候科学の専門家とコンピュータ科学の専門家が合同でプロジェクトを進めている。

写真 3　左は、工事中の ECI の様子。右は、その間こもっていた図書館。

4. おわりに

7月から改修工事のために居室を追い出されて数ヶ月間図書館で仕事をする羽目になるなど（写真3)、いろいろ大変なこともありましたが、そういったことを含めてよい経験になりました。このような機会を与えてくださった国環研、できるだけ仕事を振らないでくださった皆様、同時期にECIで研修をしていて公私ともお世話になった肱岡靖明さん（社会環境システム研究センター)、支えてくれた家族に感謝しています。この研修の経験を、今後の研究生活の糧にしていきたいと考えています。

最近の研究成果

地球環境研究センター職員および地球温暖化研究プログラムメンバーによる最近の研究成果を紹介します

近隣街区の持続可能性評価の実態の分析：米国、英国、日本の都市のケーススタディ

地球環境研究センター GCP 国際オフィス　事務局長　SHARIFI Ayyoob（シャリフィ アユーブ）

本研究では、近隣街区の持続可能性評価の実態を理解し、評価ツールの特徴を明らかにするために、建築物の総合的な環境性能を評価する指標であるLEED-ND（米国)、BREEAM Communities（英国)、CASBEE-UD（日本）においてそれぞれ高く評価された3つの事例の分析を行った。分析対象として選定したのは、Hoyt Yards（ポートランド都心部のPearl Districtに位置するブラウンフィールド再開発事業；LEED-NDのプラチナ評価を獲得)、MediaCityUK（マンチェスター造船所跡地を再整備する大規模事業の一部；BREEAM Communitiesの Excellent評価を獲得)、越谷レイクタウン（CASBEE-UDの Excellent評価を獲得）である。本分析により、評価の実践では、例えば越谷レイクタウンの例では、公共スペースが偏在するなどの短所が明らかになり、さまざまな評価の軸が必要になることがわかった。

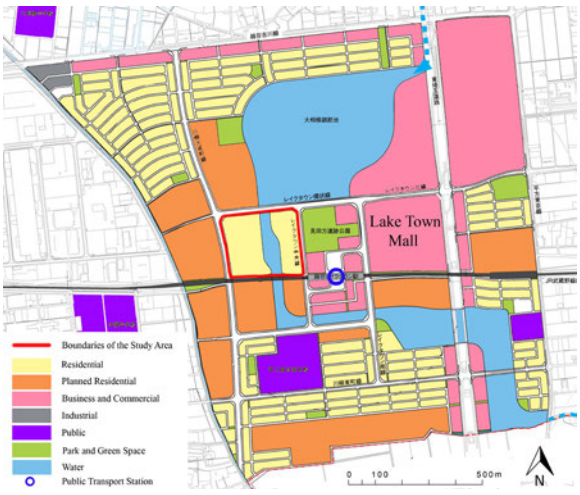


図1　越谷レイクタウンの都市計画用途の状況。CASBEEでの評価は高いが、各用途が分離されている点が、用途の混合を評価するLEEDから低い評価となることが明らかになった。

＊この論文は、前所属の名古屋大大学院においてすすめたGCPのイニシアティブ（URCM）の研究成果をまとめたものです。

【本研究の論文情報】

タイトル：Neighborhood Sustainability Assessment in Action: Cross-Evaluation of Three Assessment Systems and Their Cases from the US, the UK, and Japan.

著者：Sharifi A., Murayama A.

掲　載　誌：Building and Environment, (2013) DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.11.006

衛星「いぶき」(GOSAT) から得られた二酸化炭素濃度の検証 ―世界 47 か所の航空機観測データを用いて―

地球環境研究センター衛星観測研究室　特別研究員　井上 誠
地球環境研究センター　森野 勇、内野 修、吉田 幸生、横田 達也、町田 敏暢ほか

主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの全球濃度分布とそれらの変動を明らかにするために、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT, http://www.gosat.nies.go.jp) が 2009 年 1 月に打ち上げられ、順調に観測を続けている。GOSAT は現在稼働中の数多くの衛星の中で対流圏の温室効果ガスの観測を主目的とする唯一の衛星であるが、GOSAT データが科学的に利用されるためには信頼性の高い観測データによるデータ質の評価（検証）が必要である。

そこでわれわれは、民間航空機を利用した大気観測プロジェクト（CONTRAIL, http://www.cger.nies.go.jp/contrail/, 注 1)、NOAA、米国エネルギー省（DOE)、国立環境研究所、米国の研究航空機 HIAPER を用いた大気観測キャンペーン（HIPPO, http://www.eol.ucar.edu/projects/hippo/)、及び国立環境研究所と宇宙航空研究開発機構（JAXA）の共同観測による航空機観測データを用いて、GOSAT に搭載されている温室効果ガス観測センサ（TANSO-FTS, 注 2）の短波長赤外域から推定された二酸化炭素のカラム平均濃度データ（2012 年 6 月に公開された Ver. 02.00）の検証を行った。検証に用いた航空機観測の地点は 47 か所であり、その分布はアジア・オセアニア域、シベリア域、北米大陸、ヨーロッパを中心として広範囲に及ぶ（図 1)。高度ごとに得られた航空機観測データから二酸化炭素のカラム平均濃度を算出し、観測地点近傍の GOSAT データと比較した。その結果、GOSAT の二酸化炭素の方が 1 ～ 2 ppm 程度低い傾向にあるものの、GOSAT データと航空機観測データはよい一致を示した（図 2)。今後、GOSAT データを用いた温室効果ガスの研究が活発に行われていくことが期待される。

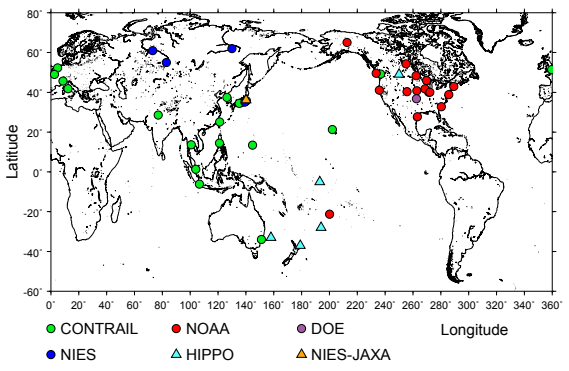


図 1　GOSAT の検証に用いた航空機観測地点

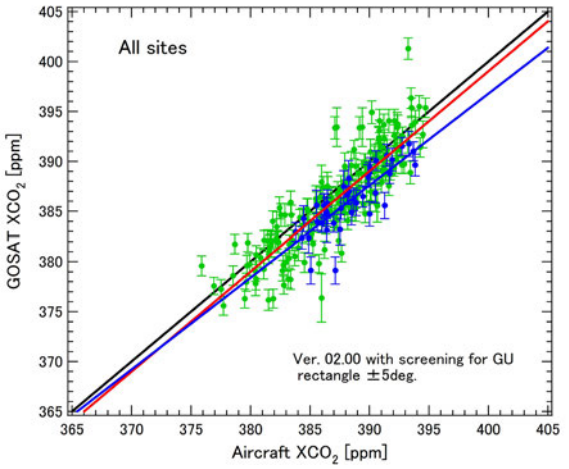


図 2　GOSAT と航空機観測により得られた二酸化炭素のカラム平均濃度の相関図。緑色、青色の点はそれぞれ陸域、海域の GOSAT データ。赤色、青色の実線はそれぞれ陸域、海域データの回帰直線で、黒い実線は両データが一対一に対応する線。

（注 1）町田敏暢「CONTRAIL プロジェクトが始まって 5 年経ちました」地球環境研究センターニュース 2010 年 12 月号

（注 2）吉田幸生「長期観測を支える主人公―測器と観測法の紹介―(4)　避けては通れない雲とエアロゾル：宇宙から温室効果ガス濃度を推定する TANSO-FTS」地球環境研究センターニュース 2012 年 12 月号

【本研究の論文情報】
タイトル：Validation of XCO_2 derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data.
著　者：Inoue M., Morino I., Uchino O., Miyamoto Y., Yoshida Y., Yokota T., Machida T., Sawa Y., Matsueda H., Sweeney C., Tans P. P., Andrews A. E., Biraud S. C., Tanaka T., Kawakami S., Patra P. K.
掲 載 誌：Atmospheric Chemistry and Physics (2013) doi:10.5194/acp-13-9771-2013.

長江・黄河流域における水資源の不均衡及び灌漑と生態系劣化の関連性の評価
～水資源の偏在性と生態系劣化の関係から見えてくるものは何か？～

地球環境研究センター気候モデリング・解析研究室　主任研究員　　中山 忠暢

中国の北部（黄河流域）と南部（長江流域）での水文気象の多様性は食料需要の増大・利用可能な水資源の減少・洪水リスクの増加等の関係を更に複雑にする。環境資源の不均衡を是正するための２大国家プロジェクトである三峡ダム及び南水北調（注１）が全ての水問題を解決する保証はなく、社会経済及び環境影響を考慮した最適な水輸送量を評価するためにも高精度な水文生態系モデルが必要である。本研究では、灌漑・河道網・ダム操作・水輸送等の複雑なサブシステムを結合したプロセスベースの水文生態系モデル NICE（National Integrated Catchment-based Eco-hydrology）（図１）・衛星画像解析・現地観測データを併用することによって、両流域における水資源の不均衡とそれに伴う生態系劣化（注２）の関連性について評価した。また、両プロジェクトの予測シミュレーションを行うことによって、流域の水文生態系に及ぼす影響及び水ストレス・作物生産量・生態系劣化のジレンマが解決するかどうかを検討した（図２）。この統合システムは水文学及び生物地球化学循環の観点からの複雑なメカニズムの再検討のみならず、世界で多発している水資源の不均衡に対する効果的な越境問題の解決に対しても役立つと思われる。

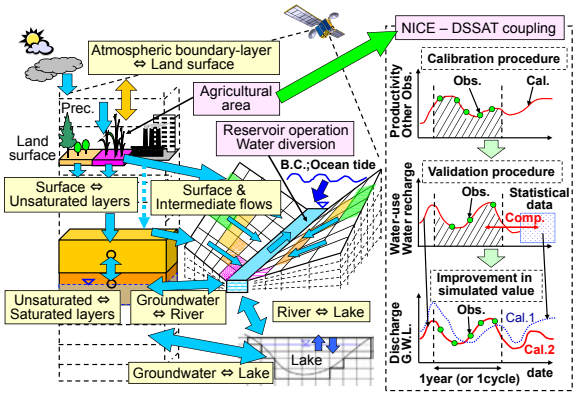


図１　水文生態系モデル NICE の概念図。様々な植生から構成される自然地モデル・主要作物や灌漑を含む農業生産モデル・管路網や都市構造物を含む都市モデル・ダム操作や水輸送モデル等、様々なサブモデルから構成される。NICE の詳細については、下記論文情報の中の引用文献、及び CGER スーパーコンピュータモノグラフ（注３）を参照。

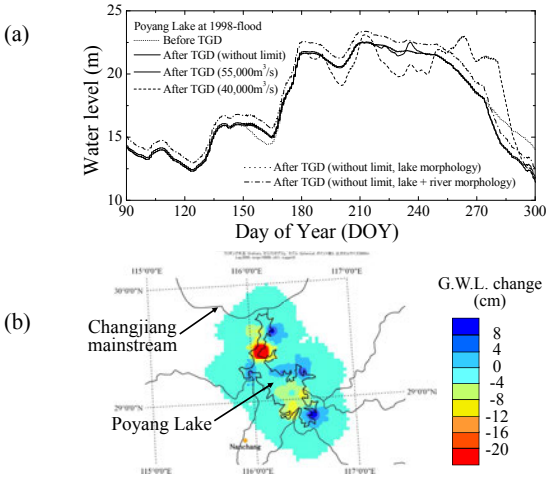


図２　三峡ダム及び南水北調に伴う（a）ハンヨウ湖の水位変化、及び（b）湖周辺の地下水位変化の予測シミュレーション結果。人為的影響によって表面流のみならず地下水流も含めた水循環全体が大きく改変されることを示している。

（注 1）南水北調とは、中国南部の水を北京などの大都市の多い北部に送り慢性的な水不足を解消するプロジェクトのこと。

（注 2）ここでの生態系劣化は、国連ミレニアム生態系評価（Millennium Ecosystem Assessment: MA）における供給・調整・文化的・基盤サービスの劣化のことを示す。

（注 3）Nakayama T. : Development of process-based NICE model and simulation of ecosystem dynamics in the catchment of East Asia (Part IV). CGER's Supercomputer Monograph Report, 20, NIES, 2014 年 1 月出版予定。

【本研究の論文情報】

タ イ ト ル：Evaluation of uneven water resource and relation between anthropogenic water withdrawal and ecosystem degradation in Changjiang and Yellow River basins

著者：Nakayama T., Shankman D.

掲載誌：Hydrol. Process., (2013) DOI: 10.1002/hyp.9835

気候予測の信頼性向上に向けて～対流圏調節の不確実性の理解

地球環境研究センター気候モデリング・解析研究室　主任研究員　　小倉 知夫

大気中の二酸化炭素濃度の増加に対して対流圏（地表面から上空 9 ～ 17km まで）はどれくらいの速さで応答するのでしょうか。近年の研究では対流圏が従来考えられていたよりも短い時間（数日～数週間）で応答することが指摘され、「対流圏調節」と呼ばれて注目を集めています。温暖化に伴う気候変化を数値モデルで正しく予測するには、この対流圏調節をモデルで現実的に表現することが必要です。しかし、対流圏調節を複数のモデルで計算すると、下層雲の分布等にモデル間で大きな違いが生じることが指摘されています。われわれは、特に大きな違いが見られる 3 つの気候モデル（MIROC3.2 medres, MIROC5, HadGEM2-A）に注目して、対流圏調節にモデル間で違いが生じる仕組みを調べました。その結果、二酸化炭素の増加によって生じる放射の変化（瞬時放射強制力）が対流圏中層（上空 6km 付近）で一致しておらず、これがモデル間に違いを生む大きな原因と分かりました。また、瞬時放射強制力の計算を気候モデルで行った場合と、より精密なライン - バイ - ライン法で行った場合とで比較したところ、MIROC5 と HadGEM2-A の結果が MIROC3.2 medres よりも正確なことが分かりました。今後はこうした知見を気候モデル改良に生かすことで、温暖化予測の信頼性向上につなげることが重要と考えます。

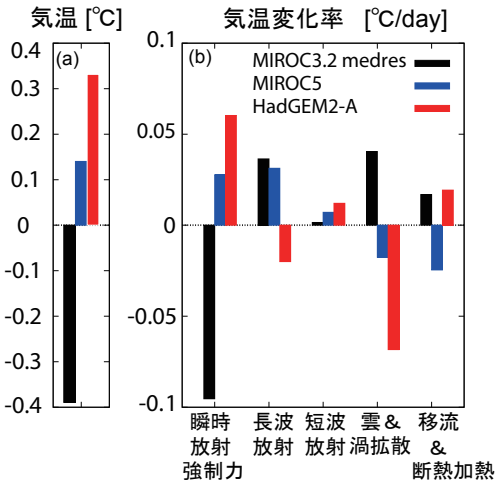


図 1　大気中の二酸化炭素濃度 4 倍増に対する (a) 気温の応答、および (b) 様々な物理過程から生じる気温変化率の応答。低緯度の対流圏中層における 30 年平均値を 3 つの気候モデル（MIROC3.2 medres, MIROC5, HadGEM2-A）について示す。

【本研究の論文情報】

タイトル：Importance of instantaneous radiative forcing for rapid tropospheric adjustment.

著者：Ogura T., Webb M. J., Watanabe M., Lambert F. H., Tsushima Y., Sekiguchi M.

掲載誌：Clim. Dynam., (2013) DOI : 10.1007/s00382-013-1955-x

アクセスランキング

2013 年 6 月～ 2013 年 11 月累計

順位	タイトル	執筆者等	掲載号
1	「地球温暖化は進行しているのか？」研究者とメディア関係者の対話	岡山大学大学院自然科学研究科 教授 野沢徹・地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 研究員 横畠徳太	2013 年 4 月号
2	長期観測を支える主人公―測器と観測法の紹介―（2）：透明人間！であるガスを測定する方法―NDIR：二酸化炭素の場合― その 1	地球環境研究センター 副センター長 向井人史	2012 年 7 月号
3	平成 24 年度国立環境研究所夏の大公開「ココが知りたい地球温暖化」講演会概要（1）地球温暖化はどれくらい「怖い」か？（講師：江守正多）	文責：編集局	2012 年 9 月号
4	気候変動枠組条約第 18 回締約国会議（COP18）および京都議定書第 8 回締約国会合（CMP8）報告 政府代表団メンバーからの報告 (1)：第二約束期間スタート、将来枠組みに向けた作業の骨格も明らかに	地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリオフィス 高度技能専門員 畠中エルザ・ホワイト雅子	2013 年 2 月号
5	Planet Under Pressure 会議報告―地球環境研究の新しい枠組み Future Earth に向けて―	地球環境研究センター 陸域モニタリング推進室長 三枝信子・地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室長 江守正多	2012 年 6 月号
6	気候変動と食料生産の将来予測に向けて	地球環境研究センター 気候変動リスク評価研究室 研究員 横畠徳太	2012 年 4 月号
7	長期観測を支える主人公―測器と観測法の紹介―(2)：透明人間！であるガスを測定する方法―NDIR：二酸化炭素の場合― その 2	地球環境研究センター 副センター長 向井人史	2012 年 8 月号
8	全国環境研協議会・酸性雨広域大気汚染調査研究部会	北海道立総合研究機構 環境科学研究センター（酸性雨広域大気汚染調査研究部会委員）野口泉	2012 年 6 月号
9	21 世紀末の日本の気候予測	気象庁地球環境・海洋部 調査官 及川義教	2013 年 10 月号
10	地球環境研究センタースパコン事務局だより―平成 24 年度成果報告会を開催しました―	地球環境研究センター 研究支援係 高度技能専門員 野口孝明	2013 年 2 月号

地球環境研究センターニュースは、当センターウェブサイトからご覧いただけます。
http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/

また、国立環境研究所の新着情報メール配信サービスにご登録いただきますと、国立環境研究所ウェブサイトの新着情報をお知らせすると同時に、「地球環境研究センターニュース」発行の際も随時ご連絡させていただきます。国立環境研究所ウェブサイト http://www.nies.go.jp のトップページ右下の登録用アイコンをご利用ください。

さらに、RSS をご利用いただくと、RSS フィードによって、「地球環境研究センターニュース」の記事タイトルや URL などの更新情報を自動的に受け取ることができます。当センターウェブサイトの「RSS について」http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/rss/ からフィードを購読し、ご利用ください。

2013 年（平成 25 年）12 月発行

編集・発行　独立行政法人 国立環境研究所
地球環境研究センター
ニュース編集局

〒 305-8506　茨城県つくば市小野川 16-2
FAX：029-858-2645
E-mail：www-cger@nies.go.jp
http://www.cger.nies.go.jp/