



環境儀

NO. 51

JANUARY 2014

国立環境研究所の研究情報誌



旅客機を使って大気を測る

国際線で世界をカバー

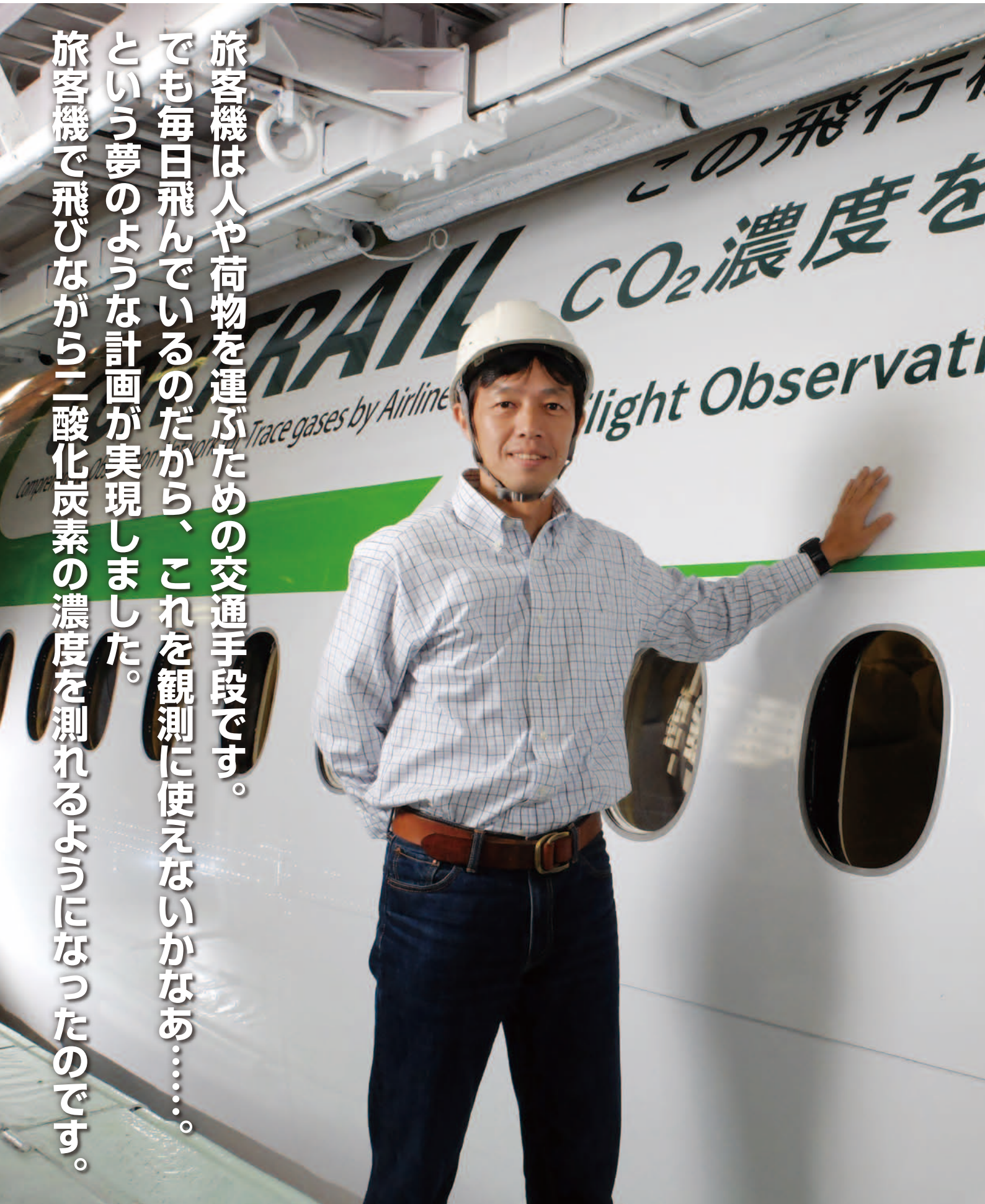


独立行政法人

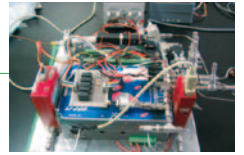
国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/>





旅客機は人や荷物を運ぶための交通手段です。でも毎日飛んでいるのだから、これを観測に使えないかなあ……。という夢のような計画が実現しました。旅客機で飛びながら二酸化炭素の濃度を測れるようになったのです。



皆さんは普段乗っている旅客機の床下で、小さな機械が世界の大気を監視していることをご存じでしょうか。現在、日本航空（JAL）が運航する8機の国際線定期旅客便を使って大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度の全球的な観測が実施されています。このように民間の旅客機でCO₂濃度を常時測定する計画は世界で初めてであり、地球上のCO₂の循環を理解する上で貴重なデータが毎日のように得られています。

国立環境研究所は、気象研究所、JAL、航空機搭載装備品メーカーのジャムコ、JAL財団と共同で2005年より国際線定期旅客便を使った温室効果ガスの観測プロジェクト（CONTRAILプロジェクト）を実施しています。CONTRAILプロジェクトでは、これまで観測数が少なかった上空のCO₂濃度のデータを飛躍的に増やすことができました。

それでは、旅客機のどこにどんな装置がのっていて、どんな運用をしているのでしょうか。また、どんなデータが取れて、それらはどんな研究に役立っているのでしょうか。

今回の環境儀では読者の皆さんを空の上にお連れして、高いところからしばし地球の大気に思いを巡らせていただこうと思います。



CONTENTS

旅客機を使って大気を測る

国際線で世界をカバー

- Interview
研究者に聞く p4～9
- Summary
高頻度広域大気観測データから
見えてきたもの p10～11
- 研究をめぐって
定期旅客便を利用した
温室効果ガスの観測 p12～13
- 「国立環境研究所における
航空機を用いた温室効果ガス観測に
関する研究」のあゆみ p14

Interview 研究者に聞く

国立環境研究所は気象研究所などと共同で、旅客機を使って上空の二酸化炭素濃度の観測を行うCONTRAIL（コントレイル）プロジェクトを行っています。プロジェクトのリーダーを務める大気・海洋モニタリング推進室室長の町田敏暢^{としのぶ}さんに、この研究への取り組みや成果についてうかがいました。



町田敏暢 / 地球環境研究センター大気・海洋モニタリング推進室室長

上空から地球の二酸化炭素を探る

炭素循環を解き明かしたい

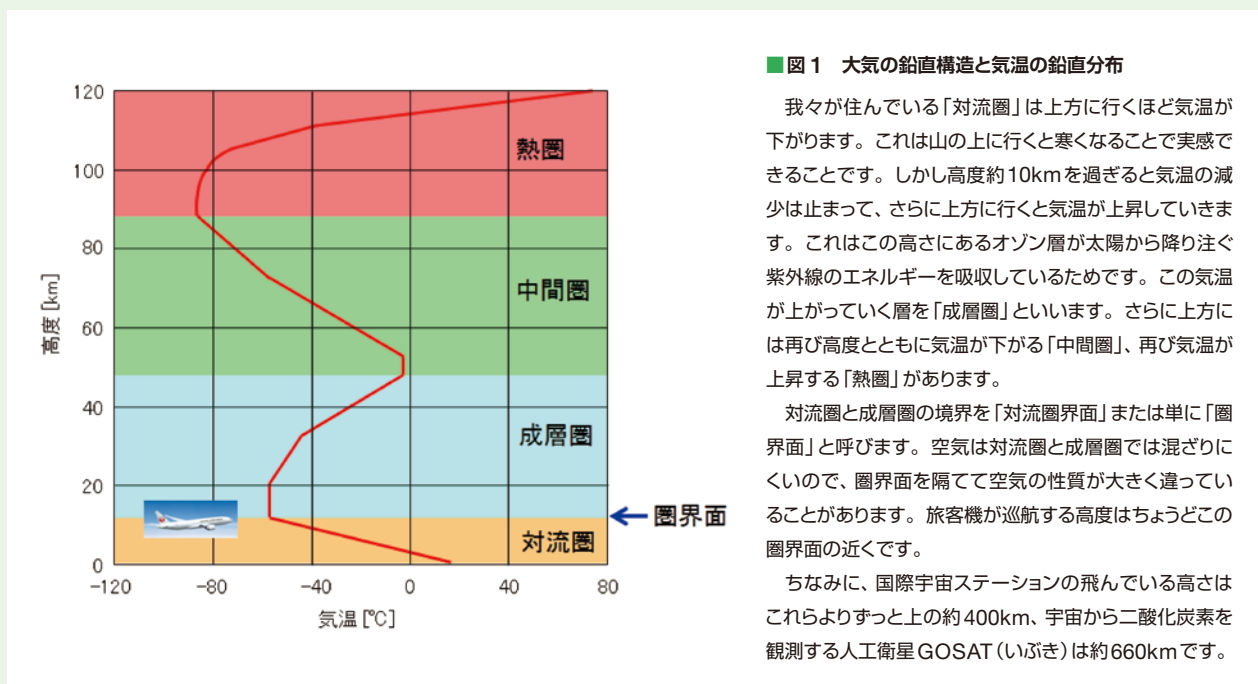
Q: 町田さんは大気中の二酸化炭素の測定をされているんですね。

町田: はい、そうです。二酸化炭素は地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの中で最も重要な物質です。地球温暖化を緩和するために、二酸化炭素の排出量を抑えようと対策がとられていますが、それでも大気中の二酸化炭素の増加率は現時点では鈍っていません。二酸化炭素濃度が増えているのは、石油やガソリンなどの化石燃料を燃やしているからです。でも、人が出した二酸化炭素がすべて大気中に残っているわけではないのです。

Q: では、二酸化炭素はどうなるのですか？

町田: 人が出した二酸化炭素の半分くらいは、森林や海に吸収されます。二酸化炭素は光合成によって陸上植物に取り込まれますし、水にとけやすい性質もあるので海洋にも吸収されます。海水に溶け込んだ二酸化炭素を水中のプランクトンなどが利用しています。二酸化炭素は、大気から陸地や海へと形を変えながら地球上を移動します。大気や海洋、森林などは炭素の貯蔵庫となっていて、炭素がこれらの間を交換したり移動したりすることによって地球規模で循環しています。これを「炭素循環」と呼びます。

Q: 近年は森林伐採なども問題になっていますし、炭素が循環する様子も変わっているのではないですか？



■ 図1 大気の鉛直構造と気温の鉛直分布

我々が住んでいる「対流圏」は上方に行くほど気温が下がります。これは山の上に行くときと寒くなることで実感できることです。しかし高度約10kmを過ぎると気温の減少は止まって、さらに上方に行くと気温が上昇していきます。これはこの高さにあるオゾン層が太陽から降り注ぐ紫外線のエネルギーを吸収しているためです。この気温が上がっていく層を「成層圏」といいます。さらに上方には再び高度とともに気温が下がる「中間圏」、再び気温が上昇する「熱圏」があります。

対流圏と成層圏の境界を「対流圏界面」または単に「圏界面」と呼びます。空気は対流圏と成層圏では混ざりにくいため、圏界面を隔てて空気の性質が大きく違うことがあります。旅客機が巡航する高度はちょうどこの圏界面の近くです。

ちなみに、国際宇宙ステーションの飛んでいる高さはこれよりずっと上の約400km、宇宙から二酸化炭素を観測する人工衛星GOSAT（いぶき）は約660kmです。



観測装置を搭載するための機体改修

町田：おそらくそうですね。でも、どこの森林や海洋がどれくらい二酸化炭素を吸収し、排出しているかはまだ詳しくわかっていません。また、気候の変動に対して有効な排出量削減目標を設定するためには、人が出す二酸化炭素の量に対して自然界がどのように応答するかを予測することが必要ですが、そのメカニズムを理解し切れていないため、目標値には不確かさが残ってしまいます。そこで、大気中の二酸化炭素の分布やその時間的な変動を観測することで、地球の炭素循環を解き明かしたいと考えています。

航空機を使って二酸化炭素を測定するという事

Q：航空機を利用した観測に取り組んでこられたとのことですが、なぜ航空機なのでしょう？

町田：大気中の二酸化炭素を測定する方法には、地上



での観測や船舶を使った海洋上での観測もあれば、人工衛星を利用する方法もあります。地上で観測することが一番の基本ですし、時間的に密なデータが取れますが、定点の情報しか得られません。船舶を使うと緯度経度方向に広範な観測ができますが、観測頻度は限られます。また、これらの観測では3次元的な広がりを持った大気のうち、地表付近のごく限られた場所の情報を得ているにすぎません。人工衛星は非常に広い範囲の測定ができます。環境研でも、「いぶき」(GOSAT)という人工衛星で二酸化炭素やメタンを測定しています。ただ、離れた場所から測定しているので大気を直接測る方法に比べると精度はよくありませんし、高度の情報も正確には出しにくくなっています。一方、航空機は上空約10kmまでの高さ方向の分布を精度よく測定することができます(図1)。測定範囲はGOSATには及びませんが、現場の大気を直接測定できるのでけた違いに精度が高いのです。

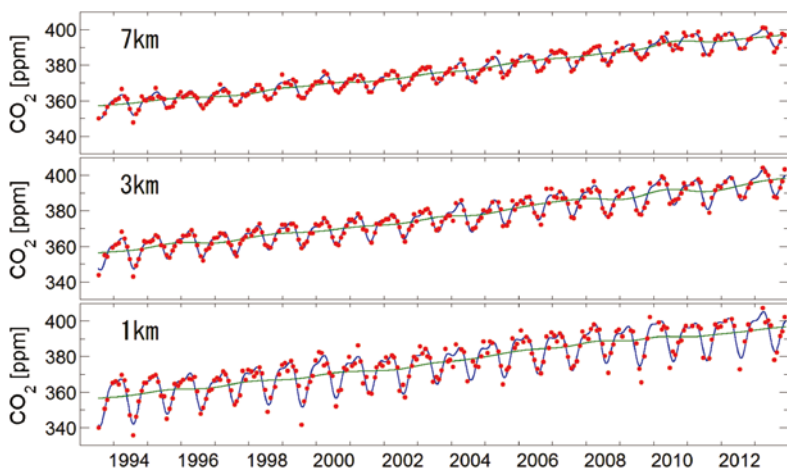
Q：最初から旅客機を使ったのですか？

町田：始まりはチャーター機で、シベリア上空の観測でした。

Q：シベリアですか！なぜそんなところで測定したのですか？

町田：シベリアには広大な森林があるため、光合成や呼吸を通して地球上の二酸化炭素の循環に深く関わっています。また広大な湿原があり、2番目に重要な温室効果ガスであるメタンの発生源にもなっています。地球温暖化を考える時にとても重要な場所なのですが、1990年代前半には二酸化炭素のデータなどありませんでした。広い場所であることと、温室効果ガス

■ 図2 シベリア上空で観測された二酸化炭素濃度



この図は西シベリアのスルグート市(北緯61度、東経73度)近郊の上空においてチャーター機を使った定期的な空気採取によって観測された二酸化炭素濃度の、高度1km、3km、7kmにおける変動です。

いずれの高度においても二酸化炭素濃度は明瞭な季節変動を伴いながら、年々上昇を続けています。二酸化炭素濃度の季節変動は陸上生態系の活動によって引き起こされているので、地表に近いほど季節振幅が大きくなっており、高度1kmの振幅は高度7kmの約2倍です。これに対して、濃度の年平均値はどの高さでもほとんど同じ値を示しています。このことから、シベリアの地表面での二酸化炭素の放出量と吸収量の年積算値はほぼバランスしていると推定できます。

の強い発生源や吸収源があることから、その場所から離れてよく混ざった空気を観測するために、航空機をチャーターして上空から二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの観測を環境研では世界に先がけて始めました。私が環境研に来る前の1992年のことです。翌年私が環境研に来た年に、月に1回の定期的な空気採取を始めました。これは現在でも続いています。

Q: どんなことがわかったのですか？

町田: シベリア上空の二酸化炭素の濃度は夏に低く、冬は高いという変動と振幅をしながら年々上昇しています(図2)。夏が低いのは植物の光合成がさかんなためです。また季節変動は、地面に近いところのほうが大きくなっています。それに加えて、大陸内部の季節振幅は同じ緯度帯の沿岸域で観測された振幅に比べてとても大きいことがわかりました。地球の大気は東西方向によく混ぜられていると考えられていましたが、広大な森林の光合成や呼吸活動の影響を直接受ける大陸内部では二酸化炭素の変動の様子が大きく違っていたのです。

Q: 測定はどうやって行うのですか？

町田: 航空機にガラス瓶(フラスコ)をのせて、高さごとの空気を圧縮して詰めます。フラスコはそのまま日本に持ち帰り、実験室で測定装置を使って分析します。

Q: 空気をフラスコに詰めるとなると、たくさん測定するのは大変そうですね。

町田: その通りです。航空機にのせて持って行けるフラスコの数に限られてしまいますから、得られるデータにも限りがあるということになります。これに対して測定装置そのものを航空機にのせて飛びながら連続



CMEの搭載・取りおろしとデータ処理

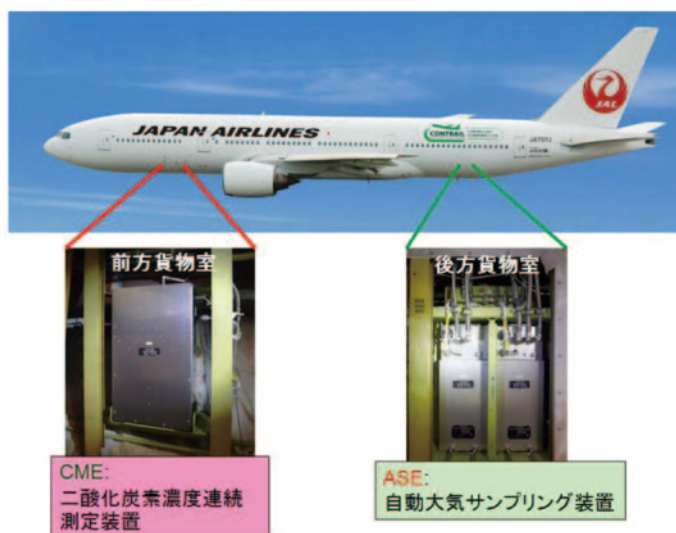
して二酸化炭素濃度を測る観測方法もあります。

Q: まるで空飛び実験室ですね。

町田: そうですね。連続測定は二酸化炭素濃度の詳細な鉛直分布や緯度分布などを観測することができます。まずは、北極点を横断飛行して、冬の高緯度における二酸化炭素濃度の分布を観測しました。地上から高度10kmの対流圏から成層圏にかけての二酸化炭素濃度を測定すると、成層圏では上空に行けば行くほど濃度は低くなっていました。1998年に日本からインドネシアにかけての領域で行ったBIBLE-Aキャンペーンという観測では、北半球と南半球の間には大気の境界線が存在することを二酸化炭素濃度の違いによって見いだしました。

民間の旅客機で測定したい

Q: 航空機で大気を調べると、いろいろなことが見えてくるのですね。ただ、航空機を飛ばすとするとずい



■ 図3 CONTRAILプロジェクトで観測に使われている機体と開発された2つの観測装置

2014年1月の時点で、JALが運航する8機のボーイング777-200ER型機に観測装置を搭載することが可能になっています。

いずれの装置も客室の床下に位置する貨物室が搭載場所です。

二酸化炭素濃度連続測定装置(CME)は前方貨物室に搭載可能で、離陸直後から着陸直前まで飛行中に連続して二酸化炭素濃度を測ります。

自動大気サンプリング装置(ASE)は後方貨物室に取り付けられます。中には12本の金属製容器が入っており、上空の12カ所で空気を採取できます。飛行後は直ちに環境研に持ち帰って、二酸化炭素ばかりでなく、メタンなど他の温室効果ガスや関連ガスの濃度、さらには同位体比の分析も行います。



ASEの搭載・取りおろしと空気分析作業

ぶん大がかりで、気軽にあちこちで測定するとか、毎日測定するといったことは難しいように思いますが…。

町田：まさにそうなのです。でも、実際には航空機は世界中を毎日飛んでいます。航空会社が運航している定期便に装置を搭載させてもらって二酸化炭素を測定することができれば、飛躍的に広範囲で高頻度の測定が可能になります。

Q：そんなことができるのですか？

町田：はい！それが、CONTRAILプロジェクトで実現できたのです。これは日本航空（JAL）が運航する旅客機を利用させてもらって、上空における二酸化炭素濃度の観測を高頻度で行うというもので、2005年から始まりました（図3）。環境研のほか、気象庁気象研究所、JAL、航空機装備品の製造整備会社「ジャムコ」、公益財団法人JAL財団が共同で実施しています。

実はCONTRAILプロジェクトが始まる前にもJALは1993年より、気象研究所などと共同でボーイング747型機に自動大気採取装置（ASE）を取り付けて、



オーストラリアと日本を結ぶ路線で大気観測を行っていましたが（旧JAL観測、図4参照）。この航空機の退役が近づき、新たな大気観測プロジェクトであるCONTRAILが計画されました。それまでは上空の大気を持ち帰って実験室で分析を行うだけでしたが、新たなプロジェクトではASEの改良を行うとともに、二酸化炭素の濃度を機上で測定する装置を搭載しようと提案されました。そうすれば飛躍的に広範囲で高頻度の観測が可能になるからです。

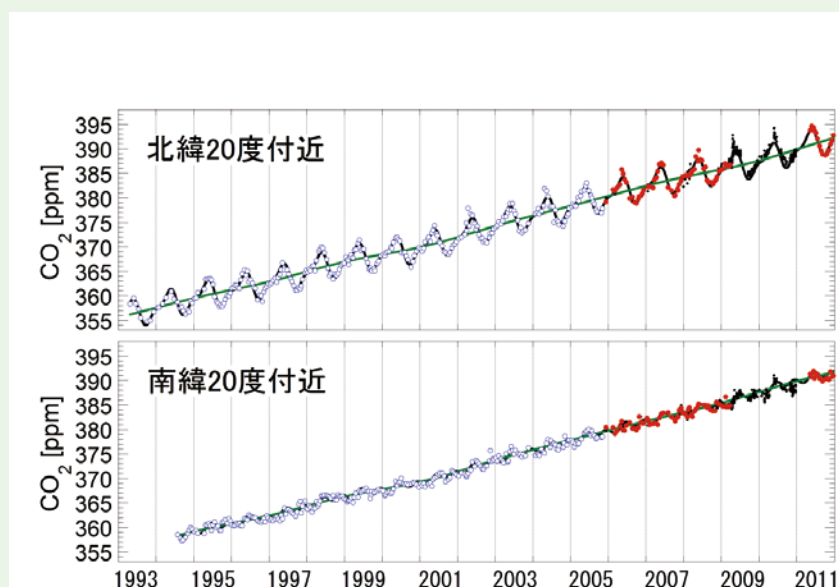
苦勞の連続だった装置の開発

Q：それはすぐにできたのですか？

町田：いやあ、苦勞しました。今までの連続測定は専用の航空機でしたが、今度は旅客機ですから。まず観測装置は乗客に影響のない安全性を証明することが絶対条件です。また搭載場所も限られますし、燃料の消費を抑えるために小型で軽量であることが必要です。そのためには、今までの装置は使えません。そこで、観測装置を一から開発しなければなりません。

Q：観測装置をご自分で開発したのですか？

町田：はい、最初のプロトタイプは環境研で開発しました。その後、航空機に搭載するための専用部品を使った組み上げはジャムコ社が行いました。観測装置の開発にはたくさんの制約がありましたが、測定精度を保つために絶対譲れなかったのは、標準ガスを搭載するということでした。精度の高い測定を行うには、二酸化炭素の濃度を厳密に測定してある「標準ガス」と比べて、正確に濃度を決めなければなりません。標準ガ



■ 図4 ASEで観測された上空における二酸化炭素濃度の長期変動

図はオーストラリアから日本への飛行中の高度10km付近で観測された二酸化炭素濃度のうち、北緯20度付近と南緯20度付近の値をまとめて時間変化にしたものです。図の青丸は旧JAL観測で得られた濃度を、赤丸はCONTRAILで開発した改良型ASEによる観測値を、黒丸はCMEによる観測値を表しています。改良型ASEでの観測を立ち上げるにあたって、ASEの金属容器内での空気の保存性試験や気象研と環境研での分析装置の違いの比較など、多くの検討を行った結果、旧JAL観測とCONTRAILの観測値はどの緯度帯でも非常に良い連続性を示しました。

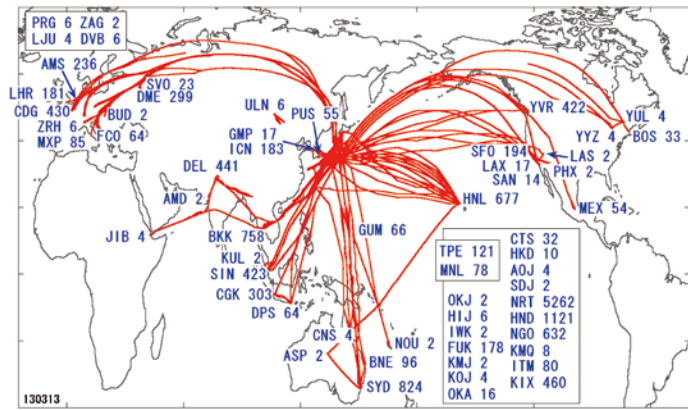
スは空気を金属の容器(シリンダー)に高圧で詰めたものなのですが、高圧ガスはそう簡単に旅客機に持ち込めるものではありません。

Q：安全性の問題ですね？

町田：はい。装置を開発して旅客機に搭載するために、米国の連邦航空局と日本の国土交通省航空局の承認を取得しました。ガス自体の安全性には問題がないのですが、通常使用している日本製の金属シリンダーの安全性を証明するのが容易ではありませんでした。何度目かの開発会議にガス会社の人を招いてアドバイスをもらったところ、旅客機に搭載された前例のある米国運輸省の刻印のあるシリンダーを使えばいいのではないかと案が出ました。しかし、日本のルールでは、日本の高圧ガス保安協会の検査に合格したシリンダーでなければガスを詰められません。搭載のたびにシリンダーを米国に送るのは現実的ではありませんから、このままでは使えません。そこで米国ライセンスのシリンダーを輸入し、新たに日本の高圧ガス保安協会でも耐圧検査を受けて、日本と米国のダブルライセンスのシリンダーにするというアイデアでようやく標準ガスの問題が解決しました。

Q：それですぐに許可は取れたのですか？

町田：いいえ。そこからまだたくさんの試験を繰り返し、ようやく承認を得ることができました。今となれば、よく限られた期間内に終わられたなと思います。2005年の11月に初飛行をしましたが、このときが一番緊張しました。二酸化炭素濃度連続測定装置(CME)は通常1ヵ月以上搭載するのですが、最初は1週間ほどでデータをチェックしました。成田上空や



CMEで観測を行ったルートと、各空港での離着陸数

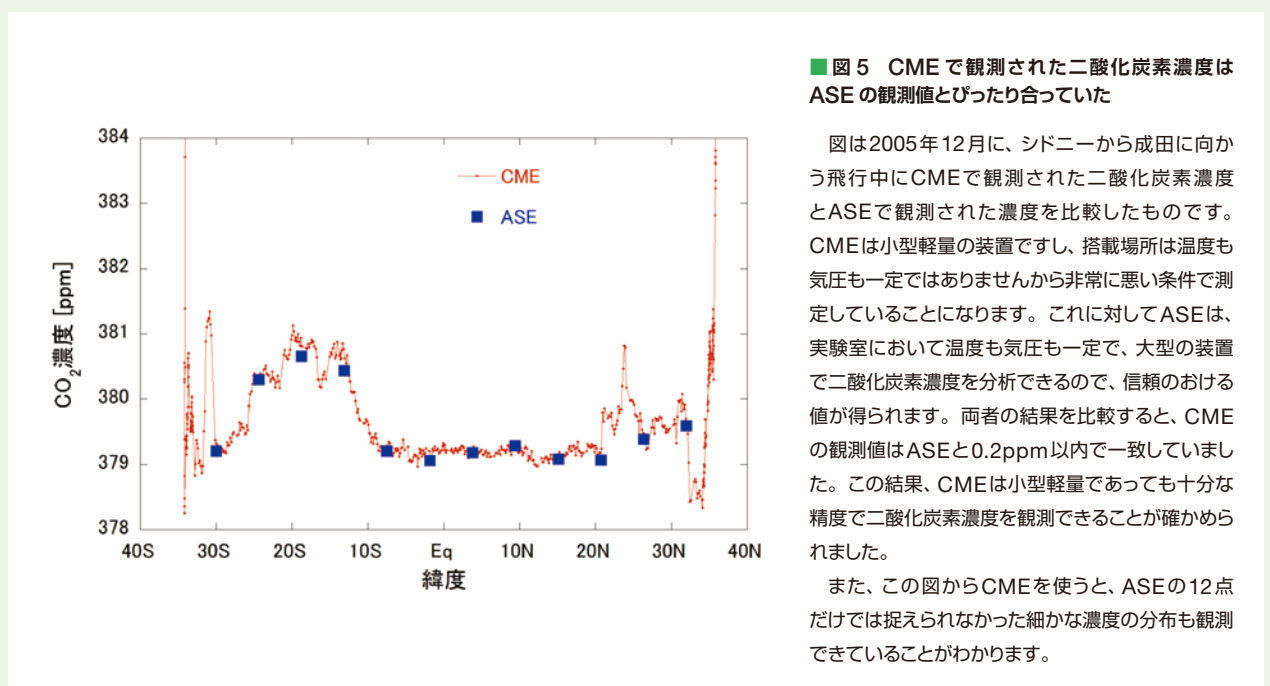
ジャカルタ上空の二酸化炭素濃度が各フライトで一貫しているのを見て、旅客機で二酸化炭素濃度がきちんと測れていることを確信しました。また、旧JAL観測で使っていたASEは機体の位置情報を取得するなど新たな機能を加えて改良をしました。改良型ASEの初フライトは1ヵ月後の2005年12月に行われましたが、結果を図にプロットしたときに、CMEで測った二酸化炭素濃度とぴったり一致したのを確認してすごくうれしかったのを覚えています(図5)。

Q：私たちが利用する航空機が二酸化炭素の測定に役立っていたとは知りませんでした。

町田：測定中の航空機には「この飛行機は上空のCO₂濃度を観測しています」というロゴマークがついたものがありますから、ぜひ探してみてください。

飛躍的に増えたデータ

Q：定期旅客便で観測できるようになるとどんな



■ 図5 CMEで観測された二酸化炭素濃度はASEの観測値とぴったり合っていた

図は2005年12月に、シドニーから成田に向かう飛行中にCMEで観測された二酸化炭素濃度とASEで観測された濃度を比較したものです。CMEは小型軽量の装置です、搭載場所は温度も気圧も一定ではありませんから非常に悪い条件で測定していることとなります。これに対してASEは、実験室において温度も気圧も一定で、大型の装置で二酸化炭素濃度を分析できるので、信頼のおける値が得られます。両者の結果を比較すると、CMEの観測値はASEと0.2ppm以内で一致していました。この結果、CMEは小型軽量であっても十分な精度で二酸化炭素濃度を観測できることが確かめられました。

また、この図からCMEを使うと、ASEの12点だけでは捉えられなかった細かな濃度の分布も観測できていくことがわかります。



航空機の整備現場で

リットがあるのですか？

町田：CMEは搭載した旅客機が毎日飛行してくれるので、高い頻度でデータを得ることができます。また、JALが運航する世界各地の二酸化炭素濃度を測ることができますし、地表から上空まで高さの違いによる二酸化炭素の変化、つまり鉛直分布を調べることができます。さらに、図5でわかるようにASEではできなかった詳細な空間分布の把握が可能になります。

Q：どれくらいのデータが得られたのですか？

町田：これまでに日本と世界の都市を結ぶ7500回以上のフライトで、1万4000個以上の鉛直分布のデータを収集しました(8ページ上図)。

Q：測定データの量が飛躍的に増えて、新しいことも見えてきたのでしょうか。

町田：その通りです。測定の結果、二酸化炭素濃度の季節変動の緯度や高度による違いが詳しくわかってきました(図6)。また、二酸化炭素は大気中で化学変化しにくい安定した化合物なので、二酸化炭素濃度の分



布から大気の動きを見ることができます。南北方向の飛行のデータから北半球から南半球への大気の動きが見えるようになりました(図7)。また高緯度のデータから対流圏から成層圏への大気の動きが見えるようになりました。さらにCONTRAILは鉛直分布をたくさん測定できることから、GOSATなど人工衛星を利用した観測データを検証するのにも役立っています。

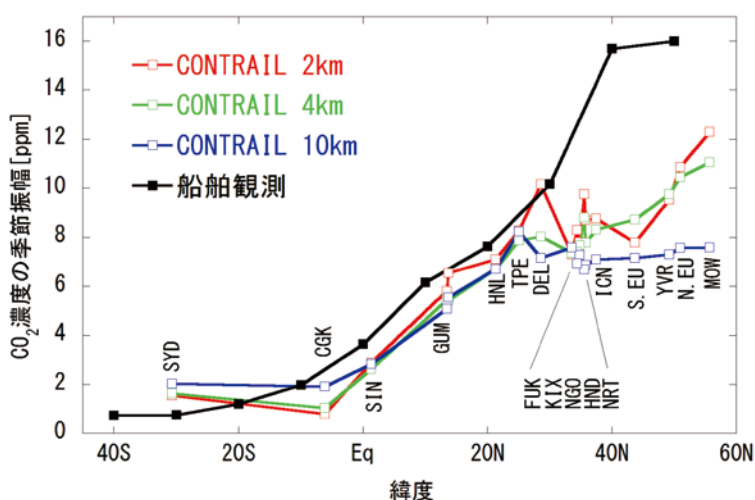
地球規模の観測には国際協力が必要

Q：日本からの国際便は世界各地に飛んでいますから、これで世界の大気のことはずべてわかってしまうのでしょうか？

町田：そういうわけにはいきません。日本の発着便でカバーできる範囲には限界がありますからね。現在では米国の東海岸や南米などのデータが少ないです。ですから、観測範囲をどんどん広げたいです。最近では、ヨーロッパでも定期旅客便を利用したプロジェクトが始まりました。

ヨーロッパでは、日本でデータを得られない地域の観測ができます。ヨーロッパのプロジェクトはライバルでもありますが、お互いに協力することで世界中を網羅して観測することができます。特に日本では、アジアや太平洋地域の観測を行うことが、国際貢献になると思っています。

Q：国境も大海原も大陸も軽々と超える国際線定期旅客便、そして人と人のつながりで地球規模の環境問題に立ち向かっていくのですね。問題は深刻ですが、夢のある取り組みのお話をありがとうございました。



■ 図6 二酸化炭素濃度の季節振幅の緯度分布

地表付近における季節変動の振幅は環境研が実施している日本-オーストラリア間および日本-北米間における貨物船を使った定期観測で得られた値(データは向井博士からの提供)から計算したものです。

CONTRAILの結果は各空港の上空で得られた二酸化炭素濃度の鉛直分布から、高度別の時間変動を求めて計算したものです。

上空における季節振幅の南北差は、地表付近の南北差に比べて小さくなっていることがわかります。詳しくは次ページのSummaryで説明します。

高頻度広域大気観測データから 見えてきたもの

なぜ定期旅客便なのか

地球大気の変動を密に観測するためには、設備の整った地上において連続的に測定を行うことが一番です。しかし地上での観測は大気の一部を見ているに過ぎません。地球規模での温室効果ガスの循環を理解するには大気を3次元的に観測する必要がありますが、地上以外の観測データは極めて不足しています。上空のデータを得るには航空機観測が最も効率的ですが、航空機のチャーターは高額で、観測頻度も観測域も限定されてしまいます。定期旅客便は搭載する観測機器や機器を搭載しての運航の安全性を証明する手続きに時間と手間がかかりますが、航空会社の協力が得られれば極めて魅力的な観測手段になります。

2つの観測装置

CONTRAILとはComprehensive Observation Network for Trace gases by Airlinerの略で、「飛行機雲」というイメージと重ね合わせました。CONTRAILでは2つの観測装置を開発し、旅客機に搭載しています(図3)。1つはASEと呼ばれる自動大気サンプリング装置(Automatic Air Sampling Equipment)で、12本の金属製サンプリング容器に上空の大気を詰め込んで持ち帰ることができます。ASEは1993年から気象庁気象研究所が日本航空(JAL)と

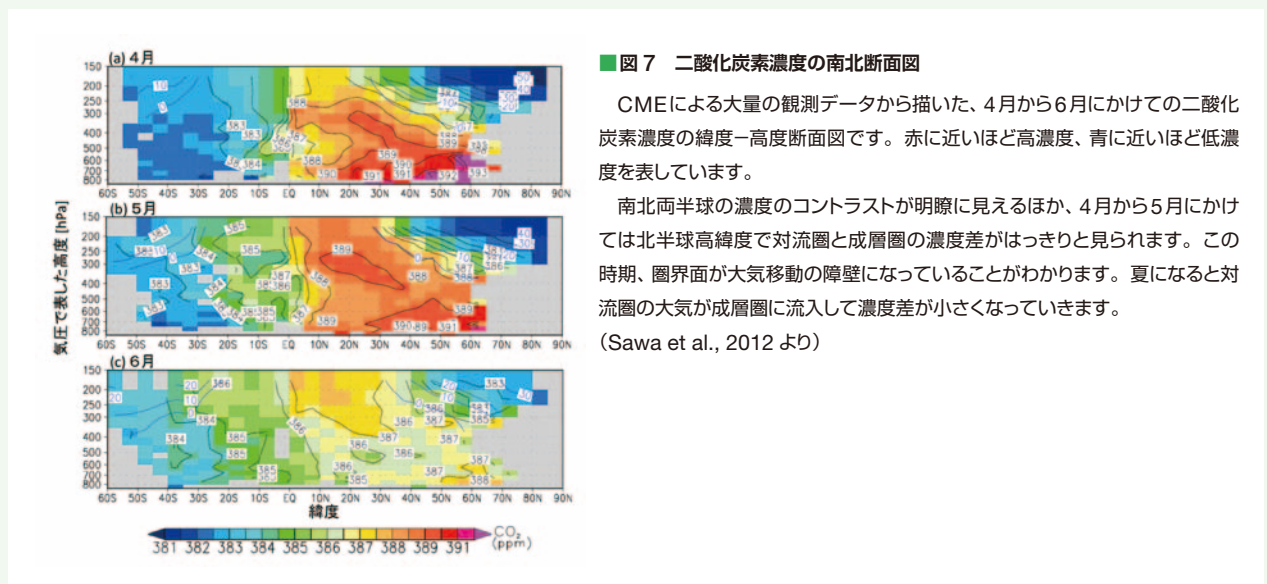
日航財団と共同で実施された旧JAL観測でも使われていましたが、CONTRAILでは機体の位置情報を取り込む機能を加えて、あらかじめ決められた位置でサンプリングができるようになりました(旧ASEはタイマーを使って一定時間ごとに空気を詰めていました)。

ASEはフライトの翌日に環境研に届けられ、サンプル中の二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、六フッ化硫黄、一酸化炭素、水素の6種類の微量成分の濃度とそれらの同位体比を分析します。ASEは月に2回、オーストラリアから日本に飛ぶフライトで観測を行っています。2012年からは国立極地研究所のプロジェクトで欧州から日本へのフライト中に北極圏上空の大気サンプリングを始めました。現在ではJALが運航する8機の777-200ER型機にCMEが搭載可能で、そのうち5機にはASEも搭載することができます。CMEはいったん搭載されると1ヵ月から2ヵ月の間ずっと二酸化炭素濃度を観測します。CMEは二酸化炭素濃度しか測定できませんが、観測頻度、観測範囲が大きく向上します。

このように定期旅客便を使って毎日のように二酸化炭素濃度を観測するプロジェクトは世界で初めてで、CONTRAILによって世界の上空における二酸化炭素のデータ数を飛躍的に増やすことができました。

ASEの長期データ

ASE観測は旧JAL観測を継続する形で現在でも続





けられています(図4)。ここで蓄積された二酸化炭素濃度は高度10km付近の上部対流圏における緯度別のデータとしては世界で最も長期間にわたるものです。二酸化炭素は上部対流圏においても明瞭な季節変動があり、北半球の高緯度ほど季節振幅が大きくなっています。経年的にはこの20年間でどの緯度帯でも着実に濃度が上昇していますが、増加速度は一定ではなく、エルニーニョの直後に急激な増加が見られます。

CMEで観測される鉛直分布

CMEは航空機の上昇中と下降中に二酸化炭素濃度の鉛直分布を観測できます。CONTRAILでは日本のほかにヨーロッパ、南アジア、東アジア、東南アジア、オーストラリア、ハワイ、北アメリカの各空港上空で多数の鉛直分が観測されています。この中から観測頻度の高い空港上空で高さごとの季節変動の違いを調べました(図6)。

二酸化炭素濃度の季節変動は地上にある植物の光合成と呼吸のバランスによって作られますので、北半球では低高度ほど大きな振幅が観測されています。これに対して南半球では、上空の季節振幅が地表付近よりも大きくなる逆転現象が観測されました。この謎解きは次の図7のところで行います。

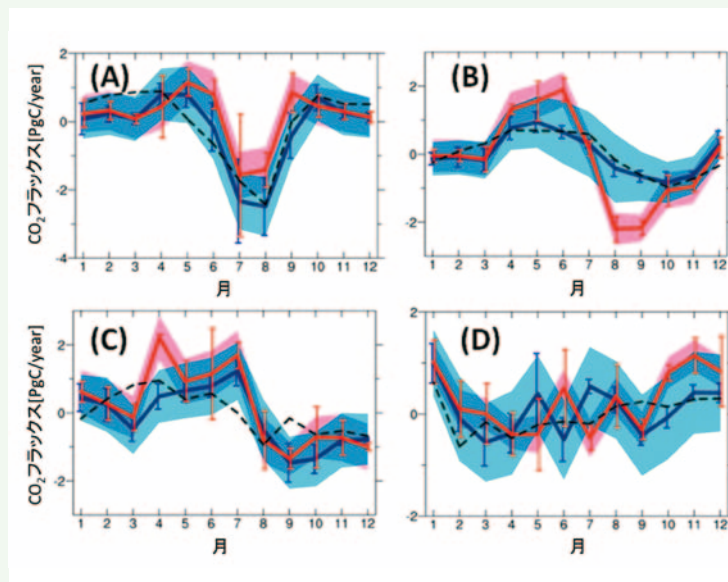
二酸化炭素で大気の動きがわかる

日本付近の東経100度から160度までの範囲で観測されたCMEのデータを使って月ごとの二酸化炭素濃度の緯度-高度断面図を作成することができます(図7)。対流圏の二酸化炭素濃度は3月から4月の春先には北半球で高濃度、南半球で低濃度となり、赤道

を挟んで明瞭なコントラストが見られます(図7a)。5月になると南半球低緯度の上部対流圏でやや高い濃度が観測されており、北半球の二酸化炭素が赤道上空の上部対流圏を通して南半球に運ばれていることがわかります(図7b)。6月には南半球の高濃度域がさらに中緯度、低高度方向に拡散していることがわかります(図7c)。4月から9月にかけての赤道上空を通じた南半球への二酸化炭素輸送量は炭素量に換算して7億トンと計算することができ、この量は北半球の大陸規模の森林が大気と交換する量に匹敵します。地球上の炭素循環を理解するにあたってこれは無視できない量です。このような循環メカニズムは地上の観測だけでは分からなかったことであり、航空機を使って高頻度観測ができたからこそと言えます。南半球の季節振幅が上空ほど大きい理由はこのメカニズムによって北半球の大気が南半球の上空に流れ込んでいるためだと説明できます。

二酸化炭素の放出量・吸収量

アジアは二酸化炭素の観測にとって空白域の1つです。CONTRAILはアジア域に多くのフライトがあるので、3次元大気輸送モデルを使った二酸化炭素の放出量・吸収量(フラックス)推定を行うとこの地域の推定誤差を減らすことができます。地上の観測値だけを使ってフラックスを推定した場合とCONTRAILの観測値を加えて推定した場合とでは、インドネシアや南アジアにおいてそれぞれ64%、31%の割合で推定誤差を減らすことができました。また、中国華南地域では夏季の二酸化炭素吸収量はこれまで考えられていたより小さく、逆に南アジアでは夏季の吸収量が大きくなることがわかりました(図8)。



■ 図8 CONTRAIL 観測値を使った二酸化炭素放出・吸収量(フラックス)の推定値

図は大気輸送モデル(NICAM-TM)を使って推定した中国華南(A)、南アジア(B)、インドシナ半島(C)、インドネシア(D)の各地域における二酸化炭素フラックスの季節変動です。フラックスの値がプラスだと二酸化炭素の放出を、マイナスだと吸収を表します。青線は既存の地上観測値だけを用いた推定値で、赤線が地上観測値にCONTRAILの観測値を加えて推定したものです。CONTRAIL観測が加わることによって、各月のフラックスの値が大きく変化している地域があります。また、薄い青色のハッチと薄い赤色のハッチはそれぞれの推定誤差を表しています。どの地域においても、CONTRAIL観測値がフラックスの推定誤差を小さくしていることがわかります。(Niwa et al., 2012より)

定期旅客便を利用した 温室効果ガスの観測



世界では

定期旅客便を使って定期的に大気の観測を実施しているのは世界でCONTRAILだけではありません。欧州連合ではフランスの研究機関を中心として、上空のオゾンとオゾンを生成する化学反応に関係のある一酸化炭素や窒素酸化物を観測するMOZAICプロジェクトを1993年より実施しています。MOZAICではCMEと同様に、旅客機に測定装置を搭載して機上で連続的に大気を測定しています。もう一つの観測はやはり欧州連合で、ドイツの研究機関を中心としたCARIBICというプロジェクトです。CARIBICは旅客機の荷物用コンテナ2個分を丸々借り切って、そこに大気中のオゾンを始めとする気体成分や粒子状物質の測定装置、光学的大気測定装置、大気サンプリング装置などが詰め込まれていて、様々な成分を同時に観測します。さながら空飛ぶ観測所です。これだけ大きい装置ですと毎日搭載するわけにはいかず、月に1回、ドイツのフランクフルト空港から2往復だけの観測を行っています。

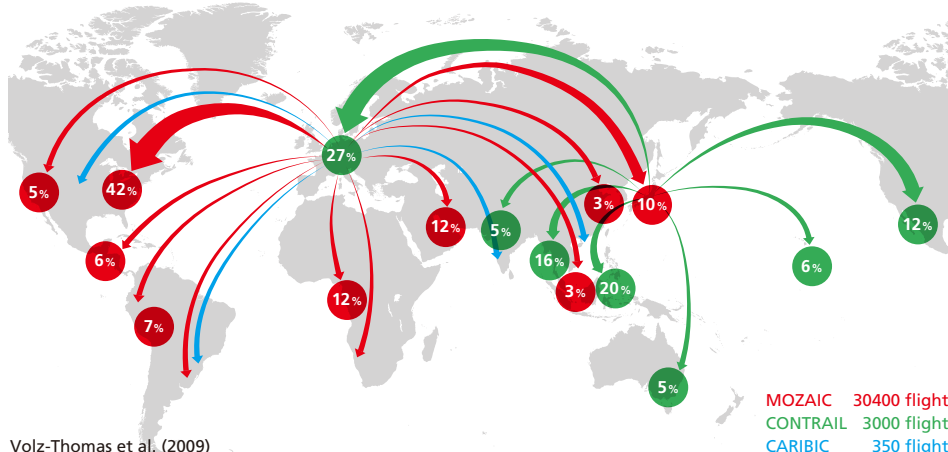
MOZAICは欧州連合の予算を獲得してIAGOSというプロジェクトになり、現在ではCARIBICもこの傘下に入りました。今では旧MOZAIC観測をIAGOS-CORE、CARIBICをIAGOS-CARIBICと呼んでいます。IAGOS-COREではCONTRAILの活動に影響を受けて温室効果ガスの測定装置の開発を始めました。2013年中には欧州の航空会社が運航する便に搭載される予定です。これまで上空の二酸化炭素濃

度の観測は日本のCONTRAILが世界をリードしてきましたが、いよいよ競争の時代に入ろうとしています。

日本としては

しかし、定期旅客便を使った観測活動は同じ成分を測るといっても単純な競争とはなりません。JALの観測空域は日本から出て北半球を東西に向かう路線と日本と同じ経度帯で南北に飛ぶ路線の「T字型」を作っています。このように日本の航空会社はアフリカや南米、それに大西洋上の路線は持っていません。同じように欧州の航空会社は太平洋を横断するような路線やオーストラリアに向かう路線は持っていません。1国や1地域の航空会社だけでは世界を網羅するような観測は難しいのです。もし日本と欧州の航空会社がお互いの空白域をカバーし合えば、地球を1周するような観測空域ができあがります。

CONTRAILではIAGOSをある意味ライバルだと思っていますが、ともに世界観測網を構築するパートナーであるとも捉えています。従ってIAGOSとは極めて密な関係を保っており、観測機器の開発や搭載承認の取得に関する技術的情報はお互いに提供し合っています。まもなくIAGOSの二酸化炭素観測が始まりますが、まずは日本と欧州を結ぶ路線で取得したデータを交換して相互比較を行う予定です。そして将来は両者のデータを合わせて世界の上空をカバーするデータセットを作り上げて、炭素循環や大気輸送の研究を大きく発展させたいと願って



■ 図9 2009年時点でのMOZAIC、CONTRAIL、CARIBICの観測域と観測回数

Volz-Thomas et al. (2009)

このような定期旅客便を使った観測は日本だけなのでしょうか。

ここでは世界で実施されている同じような観測プロジェクトの動向や CONTRAIL との関わりについて紹介します。

さらに、CONTRAIL で得られたデータを活用する取り組みについても説明します。



います。

一方、CONTRAIL では観測で得られた膨大な量のデータの利用促進にも力を入れています。まずは「日本が取ったデータはまず日本で使いたい」という方針のもと、日本の研究者を集めて「航空機データ利用小委員会」を組織しました。この委員会は年に数回開催し、初期の会議では CONTRAIL ではどのようなデータが取れているのかの紹介に力点を置きました。会を重ねるごとにデータを利用した研究の中間報告が増えていき、それらに刺激を受けてさらにデータ解析が進んでいきました。最終的にこの委員会の関係者からは15編の学術論文を出すことができ、当初の目的を達成することができました。

CONTRAIL の活動状況は JAL や JAL 財団によりホームページを通じて一般に公開しています。2012年には研究者向けのホームページを、環境研の地球環境研究センターのページの一部として開設しました。こちらのページは、国内外の研究者に読んでもらうように英語で作られています。

CONTRAIL データは、現在データ利用指針に従って世界中の研究者に配付しています。データ利用指針は当初はメールベースで配付していましたが、現在では上記ホームページから誰でも取得できるようになっています。これまでに世界15カ国から約100件のデータ利用申請を受けています。

国立環境研究所では

CONTRAIL は官民5機関が共同で実施していますが、運営の主体となる PI (Principal Investigator) は環境研と気象研が担っており、両者が協議して方針を決めています。その中で環境研は全体の代表としての取りまとめや、外部から研究予算を獲得する際の課題代表を務めています。また、環境研の町田は CONTRAIL プロジェクトを代表して IAGOS プロジェクトのアドバイザーをつとめており、年に1回の IAGOS 関係の会議に出席して観測手法やデータ利用についての助言を行っています。

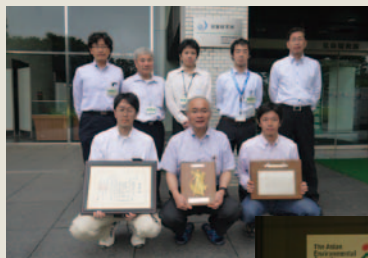
CONTRAIL プロジェクトに関する 情報源

- 研究者向けホームページ
<http://www.cger.nies.go.jp/contrail/>
- 一般向けホームページ (JAL 財団のページから「大気観測」を選択)
<http://www.jal-foundation.or.jp/index2.html>
- 日本航空の CSR のページ
<http://www.jal.com/ja/csr/environment/social/detail01.html>



ふたつの環境賞を受賞！

2013年には CONTRAIL の活動に対して2つの大きな賞をいただきました。1つめは日立環境財団と日刊工業新聞が主催する環境賞の「環境大臣賞/優秀賞」です。続いて毎日新聞社・朝鮮日報社が主催する「日韓国際環境賞」にも選ばれました。いずれも環境問題の解決に向けた炭素循環研究に大きな貢献があることと、官民共同プロジェクトの良い例となっていることが評価されたとのこと。これらの受賞によって CONTRAIL が社会的に認めていただいたということがまずうれしいですし、ともに苦勞をしてきた日本航空、ジャムコ、JAL 財団の皆さんに少しでも恩返しができることを喜ばしく思います。



環境賞の盾 (上写真) と日韓国際環境賞の表彰式に臨んだ CONTRAIL プロジェクトチーム (下写真)



「国立環境研究所における航空機を用いた温室効果ガス観測に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、温室効果ガスに関する研究を行っています。

ここでは、その中から、航空機を用いた温室効果ガス観測に関するものについて、そのあゆみを紹介します。

- 事業名** シベリア上空における温室効果ガスに係る航空機モニタリング (1992 年度～)
- 事業名** 北極圏航空機観測計画 (AAMP) (1998 ～ 2001 年度)
- 事業名** バイオマス燃焼と雷観測実験 (BIBLE) (1998 ～ 2000 年度)
- 事業名** 西太平洋域におけるアジア大陸から排出される人為起源物質の航空機観測 (PEACE) (2001 ～ 2002 年度)
- 課題名** 大気境界層観測による森林から亜大陸規模の二酸化炭素吸収推定 (2001 ～ 2003 年度)
- 課題名** 定期旅客便による温室効果気体観測のグローバルスタンダード化 (2003 ～ 2005 年度)
- 課題名** 大気境界層の高頻度観測による大陸上 CO₂ の挙動と輸送に関する研究 (2004 ～ 2008 年度)
- 課題名** 民間航空機を活用したアジア太平洋域上空における温室効果気体の観測 (2006 ～ 2011 年度)
- 課題名** タワー観測ネットワークを利用したシベリアにおける CO₂ と CH₄ 収支の推定 (2007 ～ 2011 年度)
- 課題名** 温暖化関連ガス循環解析のアイソトポマーによる高精度化の研究 (2009 ～ 2011 年度)
- 課題名** 民間航空機によるグローバル観測ネットワークを活用した温室効果ガスの長期変動観測 (2011 年度～)
- 課題名** 北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明 (2011 年度～)

これらの研究・事業は以下のスタッフ組織によって実施されています (所属は当時、敬称略)

<研究・事業担当者>

| | |
|---------|---|
| 国立環境研究所 | 町田敏暢、白井知子、勝又啓一、三反畑尚代、笹川基樹、津田憲次、北村健二、井上元 |
| 気象研究所 | 松枝秀和、澤庸介、丹羽洋介、坪井一寛 |
| 日本航空 | 江藤仁樹、大高由恵、中川由起夫、廣谷和生、池田肇、遠藤隆久、本多毅、宗裕雄、吉永明人、中島悠貴、松元泰志、吉田修、阿部泰典、吉田建夫、長嶺由美子、渡辺岳、菅原寿、村井達也 |
| ジャムコ | 近藤直人、櫻井雅志、神谷正明、清水裕久、市川孝博、後藤啓太、東原健次、吉田博一、田中誠、新矢壮一、板垣保孝、板垣有紀、安武敦、長田真司、飯村英樹、山口達也、保住裕之、塩森淳、井手政博、阿尾充啓、友澤勝、堀内優子 |
| JAL 財団 | 吉田楽、松本仁広、原田亮、中川浩昌、酒井道久、岡孝秀、末長民樹、山ノ井裕子、小川利紘 |

● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、二酸化炭素など地球の気候にかかわる大気中成分の測定に関連するものをいくつか紹介します。

No.41 宇宙から地球の息吹を探る — 炭素循環の解明を目指して

環境省、国立環境研究所、宇宙航空研究開発機構は、共同で衛星 GOSAT（愛称「いぶき」）を打ち上げ、二酸化炭素など大気中の温室効果ガスを宇宙から観測しています。本号では、環境研が GOSAT プロジェクトにどのように貢献してきたかを紹介しています。

No.40 VOC と地球環境 — 大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して

地球を取り巻く大気圏には、様々な揮発性有機化合物（VOC）が存在しています。フロンなど人為起源のもののほか、自然起源の VOC も少なくなく、それらはいずれも地球環境とも深く関わっています。本号では自然起源 VOC 研究への取り組みと、温室効果気体として近年、問題となっている代替フロン類の観測・解析研究について紹介します。

No.28 森の息づかいを測る — 森林生態系の CO₂ フラックス観測研究

地球温暖化問題に取り組むうえで、地球レベルの炭素循環の理解は不可欠です。本号では、これまで継続的に観測することが難しかった森林全体の CO₂ 吸収・放出量の観測に取り組んだ「森林生態系炭素収支モニタリング」プロジェクトを紹介します。

No.19 最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」

国立環境研究所は、他機関との合同チームを結成して気候変動を現実的に再現する「気候モデル」を開発し、2100 年までの地球温暖化の見通し計算を行うなど、さまざまな成果を上げてきました。本号では、国際的な温暖化対策の取り決めにも影響を及ぼす、未来を予見する研究プロジェクトの動向をお伝えしています。

No.6 海の呼吸 — 北太平洋海洋表層の CO₂ 吸収に関する研究

海洋の炭素循環を明らかにしようとするとき、広大な海洋をどのように観測するかが最初に突き当たる課題です。国立環境研究所では、貨物船を使って北太平洋での CO₂ 測定を行いました。本号では、その測定の実際と、延べ 38 往復の航海などにより取得した豊富なデータの解析から得られた成果を紹介します。

環境儀 No.51

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2014 年 1 月 31 日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG: 竹中明夫、町田敏暢、森野 勇、内田昌男、近藤美則、滝村 朗)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029 (850) 2343

(出版物の内容) // 企画部広報室 029 (850) 2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙ヘリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料「A ランク」のみを用いて作製しています。

「環境儀」既刊の紹介

| | | | |
|---------------------------|--|---------------------------|--|
| No.5 2002年 7月 | VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染 | No.28 2008年 4月 | 森の息づかいを測る—森林生態系のCO ₂ フラックス観測研究 |
| No.6 2002年 10月 | 海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO ₂ 吸収に関する研究 | No.29 2008年 7月 | ライダーネットワークの展開—東アジア地域のエアロゾルの挙動解明を目指して |
| No.7 2003年 1月 | バイオ・エコエンジニアリング—開発途上国の水環境改善をめざして | No.30 2008年 10月 | 河川生態系への人為的影響に関する評価—よりよい流域環境を未来に残す |
| No.8 2003年 4月 | 黄砂研究最前線—科学的観測手法で黄砂の流れを遡る | No.31 2009年 1月 | 有害廃棄物の処理—アスベスト、PCB処理の一翼を担う分析研究 |
| No.9 2003年 7月 | 湖沼のエコシステム—持続可能な利用と保全をめざして | No.32 2009年 4月 | 熱中症の原因を探る—救急搬送データから見るその実態と将来予測 |
| No.10 2003年 10月 | オゾン層変動の機構解明—宇宙から探る地球の大気を探る | No.33 2009年 7月 | 越境大気汚染の日本への影響—光化学オキシダント増加の謎 |
| No.11 2004年 1月 | 持続可能な交通への道—環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして | No.34 2010年 3月 | セイリング型洋上風力発電システム構想—海を旅するウィンドファーム |
| No.12 2004年 4月 | 東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨 | No.35 2010年 1月 | 環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム—低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化— |
| No.13 2004年 7月 | 難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開 | No.36 2010年 4月 | 日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス70%削減への道筋 |
| No.14 2004年 10月 | マテリアルフロー分析—モノの流れから循環型社会・経済を考える | No.37 2010年 7月 | 科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目 |
| No.15 2005年 1月 | 干潟の生態系—その機能評価と類型化 | No.38 2010年 10月 | バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して |
| No.16 2005年 4月 | 長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方 | No.39 2011年 1月 | 「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質—フェリーを利用してそれらの因果関係を探る |
| No.17 2005年 7月 | 有機スズと生殖異常—海産巻貝に及ぼす内分泌かく乱化学物質の影響 | No.40 2011年 3月 | VOCと地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して |
| No.18 2005年 10月 | 外来生物による生物多様性への影響を探る | No.41 2011年 7月 | 宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して |
| No.19 2006年 1月 | 最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」 | No.42 2011年 10月 | 環境研究 for Asia/in Asia/with Asia—持続可能なアジアに向けて |
| No.20 2006年 4月 | 地球環境保全に向けた国際合意をめざして—温暖化対策における社会科学的方法 | No.43 2012年 1月 | 藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類 |
| No.21 2006年 7月 | 中国の都市大気汚染と健康影響 | No.44 2012年 4月 | 試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ |
| No.22 2006年 10月 | 微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能 | No.45 2012年 7月 | 干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響 |
| No.23 2007年 1月 | 地球規模の海洋汚染—観測と実態 | No.46 2012年 10月 | ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応 |
| No.24 2007年 4月 | 21世紀の廃棄物最終処分場—高規格最終処分システムの研究 | No.47 2013年 1月 | 化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ |
| No.25 2007年 7月 | 環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして | No.48 2013年 4月 | 環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるパトシリレー |
| No.26 2007年 10月 | 成層圏オゾン層の行方—3次元化学モデルで見るオゾン層回復予測 | No.49 2013年 7月 | 東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか |
| No.27 2008年 1月 | アレルギー性疾患への環境化学物質の影響 | No.50 2013年 10月 | 環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化 |

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

「環境儀」



地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、「環境儀」という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年 7月 合志 陽一
 (環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字 N.I.E.S で構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E=Sで構成されるOで地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切って左側に進むように動くのは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。