



## プロジェクトを動かす研究者たち

民間企業、政府、研究所が一体となって進められてきた CONTRAIL プロジェクト。ここでは、3 人の研究者にスポットライトを当てます。常にプロジェクトの中心を担ってきた気象研究所の松枝秀和さんと澤庸介さん、そして国立環境研究所の町田敏暢さんです。

### 世界最長観測への道のり

東北大学の中澤高清さんが 1984~85 年に日本航空のオーストラリア航路とアンカレッジ航路とで実施した地球を南北に縦断するラインでの定期的な大気観測。1991 年にはその結果が論文として発表されました。1989 年から別の航空機観測プロジェクトに参加していた松枝さんは、中澤さんらの論文を読んで、航空機を利用しての上空の定期的かつ通年の観測の重要性を強く感じました。



松枝さん自身は主としてメタンの上空での濃度を対象とした研究をしていました。当時、緯度、経度、高度という 3 次元にまたがる上空での大気の動きは数理モデルによる推定の域を出ておらず、検証

のための実測データが不足している状況でした。また、上空にごくわずかだけ含まれる気体の濃度を正確に測るための「標準ガス」の重要性も再認識するようになっていました(標準ガスについては、第 2 章のなかの「持ち帰った空気を測る」を参照)。

折しも 1991 年に、当時の日航財団、日本航空、運輸省、気象庁が上空の大気観測の技術開発を共同で開始し、松枝さんはその事業に参加しました。このときに開発された自動ポンプ式の観測システムは、その後の CONTRAIL プロジェクトの基盤となります。

民間の旅客機での観測ということで、観測専用機とはまったく異なる課題があり、解決の道筋も新たな挑戦だったと松枝さんは振り返ります。技術的な課題のうち、ここでは二つをご紹介します。

一つめの課題は、観測するための空気をどこから採取するか、という根本的な問題でした。専用機であれば、

ボディに穴を開けて観測用の空気取り入れ口を設置することができます。しかし、観測が主目的でない民間の旅客機においてそれは非常に困難なことでした。そこで、エンジンに注目しました。

突然ですが、ここでクイズです。飛行中のなかで私たちが吸う空気は、一体どこからどのように来ているのでしょうか？ 実は、エンジンから取り入れた空気と、元々機内にあった空気を混ぜて循環させているのです。上空の空気は非常に低い温度ですが、ひとたびエンジンで圧縮されると圧力が加わり一気に高温となります。それを適温に再び冷やしてから機内に送風しているのです。

というわけで、エンジンで取り入れた空気は、そのすべてがエンジンの燃焼に使われるわけではありません。一部は、エンジンの圧縮機の途中から取り出されて、圧縮空気として機内の空調システムで使われるのです。

この空調システムの空気を観測に使えないかと松枝さんたちのチームは考えました。しかし、空調システムを通ったことで、もし外の空気と性質が変わってしまっているとしたら、本来の外気と別のもになってしまうので観測には使えません。そこで、プロジェクトチームは、空調システムに入った空気と、機内に入る前の外気を同時に採取して成分を比べる試験をすることにしました。機体の窓を 1 枚外して特別な空気取り入れ口をつけ、独自のテスト飛行をおこなったのです。そして、両方の空気の成分を比べました。分析の結果、両方の空気は同質であり、空調システムから取った空気を測れば、外気を測るのと同じであることが立証されました。こうして、観測のための空気を採取する場所と方法についての大きなメドが立ちました。

二つめの課題は、決められた間隔で容器に空気を自動的に採り入れる仕組みを作ることでした。手動ポンプ式と異なり、離陸後に誰の手を煩わせることもなくタイマーで自動的にポンプを作動させる方法です。もし離陸時刻が常に予定どおりなら、事前にタイマーをセットしておくことができます。しかし、旅客機の実際の離陸時



## CONTRAIL をドキュメントする (DoCONTRAIL)



刻は予定通りとはいきません。そこで、離陸したことをどうにかして検知して、タイマーを動き始めさせる必要があります。プロジェクトチームは、離陸後に機内の気圧が低くなることに注目しました。そこで、気圧のセンサーを取り付け、機内の気圧の低下を機にタイマーが作動する方法を開発しました。

関連して、旅客機ならではの課題も検討されました。それは、観測機材が作動するときの「カチッ」「シュー」というような音でした。乗客にとっては上空でそのような音が耳に入ると不安を覚えるのではないか、という懸念です。しかし、実際には飛行の騒音がこれらの音を上回るので気になることはないとの結論に達しました。

このように課題をひとつひとつ解決し、自動ポンプ方式の観測装置が作られ、さまざまな耐久性の試験を通過し、1993年4月から日本とオーストラリアの間の航路においてボーイング 747 型機(ジャンボ機)での定期的な観測が始まりました。

それ以来、はるか上空の高い高度における緯度別の連続的な大気観測として世界で最も長期間の観測が続けられています。その間、膨大に蓄積されたデータから、メタン、一酸化炭素(CO)、そして二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)などの上空での挙動の解明が進んできました。これらの功績により、松枝さんは日本気象学会の堀内賞という賞を受けました(本稿は、その受賞記念講演の内容をもとにしています)。

### 先読みの職人芸



松枝さんと同じく気象研究所で CONTRAIL を支えている澤さん。元々、2000年にチャーター機による上空のCO<sub>2</sub>観測に従事していました。そして、その前年には、国立環境研究所の町田さんに技術的

なノウハウを聞きにいった経験がありました。その後、旅客機による大気観測に初めて関わったのは2003年4月のことでした。それは、気象研究所において開かれた各機関の実務者による打合せで、澤さんにとって誰もが初対面の相手ばかりでした。議事録を作る役目を任された澤さん。当時、研究上のニーズと、運航上の制約との間には埋めがたい溝が多くあり、このときの打合

せもピリピリした雰囲気だったことを澤さんは忘れることはありません。普段はにこやかな松枝さんが言葉を荒げる場面もありました。

その後、自動ポンプ式の観測装置が完成し、2005年12月から、シドニー・成田間を飛ぶ実際の旅客機で観測が開始されました。観測はシドニーからの帰りの便で実施されるはずでした。12月前半の初回観測は見事に成功しました。ところが、年が明けた2006年1月中旬の第2回目と1月下旬の第3回目の観測では不具合が生じました。そして、その原因究明を澤さんが任されました。

各回のシドニーから成田へのフライトで観測された結果を見ると、思わぬことが分かりました。自動ポンプ式の観測装置は、成田で装置が搭載されたあと、往復のフライトを経て成田に着陸するまで、人の手が触れることなく自動的に動作を続けます。その際に装置が高度や機内圧などの情報をもとに飛行状況を検知し、決められた地点で観測するように設定されています。ところが、成田付近の地上気圧が1気圧よりも高いときは気圧をもとにした高度はマイナスの値になること、また機体から発射される電波をもとにした電波高度も後輪着地時を0としているために駐機中にはマイナスの値になることの2つが重なって成田駐機中に往路(成田からシドニーへ)のフライトが終了したと装置が勘違いをすることがわかったのです。このため、高気圧に覆われた第2回目と第3回目のフライトでは、成田離陸直後に装置が作動する誤作動を引き起こしていたのです。(もちろん成田離陸後に装置が作動しても飛行機の安全上は問題ありません)

では、なぜ初回のときは観測が成功したのでしょうか？ それは、そのときの成田付近の気圧がたまたま低かったためでした。澤さんによると「運がよかった」だけなのです。

原因が分かれば次は対策です。観測システムは事前に組まれたプログラムによって動くのですが、この原因に対応するようにプログラム自体を書き換え航空局の承認を取り直すには時間がかかります。そこで澤さんが提案した解決策は、観測機のスイッチが入ってから、離陸するまでの間にあえてしばらく作動させない時間を4時間ほど設けることでした。これなら、プログラム



## CONTRAIL をドキュメントする (DoCONTRAIL)



本体を修正するのではなく、設定の変数を調整するという小さな作業で済みます。この微調整をすると問題は解決されました。(もちろん装置はその後高度を正確に認識するよう改修され承認を取り直しました。)「この一件は、僕のちょっとした自慢です」と謙虚な笑顔で語る澤さん。

はるか上空で大気は北半球と南半球との間で移動しており、それが CO<sub>2</sub> 濃度分布に影響していることを CONTRAIL データで示す研究の中心的役割を果たすなど(第 1 章のなかの「植物の力は空にも届く」参照)、現在ではプロジェクトに欠かせないメンバーになっています。将棋の羽生善治さんをほうふつとさせる澤さん。控えめな物腰で、「私はサイエンティストではなくシャイなシャイエンティストです」と冗談を言いながら、眼鏡の奥の瞳から常に何手も先を読んでいます。

### チームを飛躍させるリーダーシップ

1993 年から始まる旅客機による大気観測では、航空部門ということで運輸省(現在は国土交通省)、大気観測ということで気象庁、そして、地球環境ということで環境省というように、省庁の垣根を越え、更に民間企業や研究機関が力を合わせた産官学連携の体制で実施されています。その象徴が CONTRAIL プロジェクトのリーダーを務める町田さんの存在です。

町田さんが CONTRAIL プロジェクトに従事するまでには経緯がありました。1990 年代の旅客機観測は、実際の機体に観測機を搭載し、各種試験で安全性を確かめたうえで運輸省(当時)が試験をした機体だけに許可を与える方式でした。この方式では、同じ型でも他の機体では観測できないことになります。

そこで、長期的な観測の継続のために、同型機なら特定の機体に限定されずに搭載が認められやすい「追加型式承認」という許可を米国連邦航空局から取るべき、という考えが出てきました。そして、当時の日航財団が中心となって、国内の大気観測の研究者や技術者が集まって 2000 年頃から議論をするようになりました。それまでシベリア上空でチャーター機による CO<sub>2</sub> 観測を実施していた町田さんも勉強会に参加していました。

その後、CO<sub>2</sub> を中心に据えた新たな旅客機の観測シ

ステムを作る方針が固まりました。当時、日本航空では長距離路線の主力となる航空機として、操縦室に 3 人が乗るボーイング 747 クラシックから、2 人乗りの 747-400(「ダッシュ 400」と呼ばれる)に切り替えていくことが決まっていました。そこで、747-400 型の機体に搭載する前提で、新たなシステムを作り、米国連邦航空局の許可を取ろうということになりました。

しかし、日本航空の独自財源には限界があったため、日航財団、日本航空、ジャムコ、国立環境研究所、気象研究所、航空宇宙技術研究所、東北大学が参加する形で、産官学の科学技術開発研究を対象とする公募型の制度に応募し、資金の獲得を目指すことになりました。2003 年からの 3 か年で完成させ、実際に飛行機を飛ばすまでこぎつけるという計画は、常識で考えれば非常に厳しかったと町田さんは振り返ります。しかし、この公募型研究資金の獲得に成功し、ジャムコや日本航空の技術者たちが懸命の努力を重ねた結果、機器の開発と米国での許可取得までこぎつけました(この経緯は、第 3 章の「新たな装置開発への挑戦」、「米国政府から許可を取ろう!」で紹介されています)。

観測システムが整った 2006 年度から、環境省の予算で中長期的な観測が実施できるようになり、町田さんがプロジェクトリーダーになりました。CONTRAIL プロジェクトは環境省からも高い評価を得て、2010 年度までの第 1 期から 2015 年度までの第 2 期まで継続するに至りました。

CONTRAIL プロジェクトが積み上げてきた成果に対して、2013 年には日立環境財団・日刊工業新聞社主催の環境賞の「環境大臣賞・優秀賞」と、毎日新聞社・朝鮮日報社主催の「日韓国際環境賞」を受賞しました。また、2015 年には、フジサンケイグループ主催の地球環境大賞の特別賞を受賞しました。

そして、1999 年度に松枝さんが受賞した堀内賞を、町田さんも 2014 年 10 月に受賞しました。CONTRAIL プロジェクトを中心とした航空機による大気観測の実績が大きな受賞理由です。2014 年 10 月 31 日の夜、CONTRAIL 関係者が集まって受賞記念の祝賀会が開催されました。祝賀会には、これまで各機関で CONTRAIL に関わった歴代の担当者が多く





## CONTRAIL をドキュメントする(DoCONTRAIL)



出席し、祝辞と思い出話を全員順番で語りました。会の中に数回にわたってスピーチをした町田さん。決して自分の手柄であるとは言いません。むしろ、受賞とそれを祝う会を開催することによって、これまで CONTRAIL に関わった多くの人たちが勇気づけられることが狙いだったようです。

このような運営の姿、リーダーシップの形があることで、CONTRAIL プロジェクトのチームワークが成り立っているのだと、と私はその夜、再認識しました。