



## あらゆる連携が生み出す成果

### 観測屋とモデラーのコラボ

「モデル」という言葉には色々な意味があります。ここでのモデルとは、ある実際の現象を数学的に示すことです。大気に関していうと、地球の周りにある空気がどのように動いているかを推測する作業です。なぜその作業が必要なのか？ それは、人間が実際に観測できる範囲は限られているからです。ここでいう「範囲」には場所としての意味もありますし、時間としての意味もあります。いま、ある場所で測ったデータは、そのままでは時間的空間的に特定のデータにすぎません。しかし、モデルと連携することにより、限りある観測データをもとにして、実際には測っていない場所まで含む全地球の規模で、しかも過去から未来にわたっての空気の動きを推定することができることとなります。

観測によって得られたデータを使いながらモデルを作り、推定の精度を高めていくのがモデル研究です。一方、CONTRAIL は基本的に観測、つまり直接測る部分を担うプロジェクトです。研究業界では「モデラー」と「観測屋」と呼ばれるこの両者がタッグを組むことによって、時空を超えた大気の動きの全体像が掴めるのです。



CONTRAIL のデータを使って研究をするモデラーは世界にいますが、CONTRAIL の中心メンバーとしても活躍する若手モデラーのホープが気象庁気象研究所の丹羽洋介(にわ ようすけ)さんです。丹羽さんは、大学院の学生だったときに、日本国内の 4 つの主要な大気循環モデルを比較する研究を牽引しました。比較するには同じ観測データを使う必要があります。その際に使ったのが CONTRAIL のデータでした。丹羽さん曰く「かすがい」として CONTRAIL データが活用されました。

丹羽さんはこの研究で博士号を取得し、その研究の実績を評価されて気象研究所に就職しました。モデラーとして CONTRAIL の中で重要な役割を果たす丹羽さんは、観測とモデルのコラボで更に成果を上げていま

す。それは、インバースモデルというものについてです。インド上空ではこれまで実際の気象観測が少なく、モデルを使った CO<sub>2</sub> 放出・吸収量(フラックス)の推定が十分ではありませんでした。そこで、CONTRAIL データを用いてフラックス推定を行ったところ、従来の全球の CO<sub>2</sub> 観測値を使った場合よりも、CONTRAIL の観測値を加えた推定値はフラックスの季節変動が大きいことが分かりました。従来の観測値を使ったモデル推定で過小評価されていた季節変動が実はもっと大きいことを示したのです。

更に、化石燃料以外を対象として、一年を通じた CO<sub>2</sub> の吸収と排出の総量を比べると、従来の観測値を使ったモデルの推定と反対に、実際には吸収のほうが上回ることも明らかになりました。インドが、少なくとも対象とした時期において、自然起源の CO<sub>2</sub> の収支としては排出源でなく吸収源であることを示したのです。ヨーロッパの研究チームの航空機観測データをもとにした推定は既にあったのですが、CONTRAIL データを使ったモデル解析によって、より明確な証拠とともにこの現象が解明されました。

### ぜひ君にやってもらいたい

丹羽さんと CONTRAIL のめぐり合いについても話を聞きました。研究は人なり。この人がいて、この研究成果が生まれたのだという「物語」を知ると親近感がぐっと湧きます。

物語は丹羽さんが修士課程の学生だった 2005～07 年にさかのぼります。JAL 旅客機による観測データをもたって CO<sub>2</sub> の季節変動を調べました。他にも、国立環境研究所で継続的に実施されてきたシベリア上空の航空機観測データも使いました。その過程で、CONTRAIL を主導する研究者である気象研究所の松枝秀和さんや国立環境研究所の町田敏暢さんらと出会いました。

修士課程を終えた丹羽さんは、その研究を発展させるために博士課程に進みました。2007 年から観測データの利用について議論する CONTRAIL データ利用小委員会が開かれるようになり、そこに参加した丹羽さんに



対して、町田さんは言いました。「これから、CONTRAIL のデータを使って、色々なモデルの間の相互比較が本格的になされるようになる。そして、それを取りまとめるという大切な役割を担う人が必要となる。君にその役割を担ってもらいたい。」 その場では決めかねて、会議中はいまいに返事をしていた丹羽さん。会議終了後の懇親会で再び町田さんから熱い言葉をかけられ、お酒の勢いもあり「それじゃ、僕やります！」と宣言してしまったという丹羽さん。これが一つの運命の瞬間でした。

CONTRAIL との縁で、まったく新しい世界を経験することもありました。国際二酸化炭素会議 (ICDC) という、CO<sub>2</sub> に関して世界中の研究者が集まる会議があります。4 年ごとの開催なので、「CO<sub>2</sub> のオリンピック」と呼ばれています。2009 年 9 月には第 8 回会議がドイツのイエナという都市で開催されることになりました。研究発表には口頭でおこなうものとポスターでおこなうものがあり、どちらも応募されたものが審査され、採否が決まります。丹羽さんは初めての挑戦で、学生の応募も採択されやすいポスター発表を考えていました。しかし、町田さんから「とりあえず口頭発表のほうで応募してみたら？」と言われ、そうしました。

すると、採択され、現地に行くことになりました。会議に参加して初めて知ったこともありました。通常の学会では、短期間に多くの口頭発表がある場合には平行セッションといって同じ時間帯に別々の部屋で複数のセッションが開催されることがよくあります。一方、参加者全員が集まって聞く主要な講演は、プレナリーと呼ばれる主会場でおこなわれ、その時間帯には平行セッションは開催されません。ICDC では、基本的に口頭発表のすべてがプレナリーでした。すなわち、口頭発表者に選ばれるのはこの分野で大御所と呼ばれるような人ばかりで、とても権威あることだったのです。

丹羽さんとはいうと、まだ博士課程の途中で、ドイツ滞在中もホテルの部屋で博士論文を書いていた。そのような駆け出しの自分が大御所たちに交じってプレナリーで講演をする、という事実にとっても緊張したことを忘れない、と丹羽さんは語ります。

CONTRAIL に関する発表への世界の研究者の関心は一夜にして高まったわけではありません。その 4 年前

にアメリカのブルームフィールドで開催された第 7 回会議では、町田さんの口頭発表が大きな注目を集めていました。この会議では、発表スライドの電子ファイルを会場内でダウンロードできる仕組みが整っており、ダウンロード数の情報も示されました。口頭発表が合計 60 以上もあるなかで、町田さんのスライドは全体の 3 番目のダウンロード数を示していました。CONTRAIL プロジェクトが自ら開発し導入した観測方法と得られたデータが、観測屋だけでなく、世界の様々な分野の CO<sub>2</sub> 研究者の関心を引き寄せたのです。

### 異なる観測方法との連携

観測データとモデル研究の連携についてこれまで見えてきましたが、観測同士の連携もあります。航空機以外の大気観測方法には大きく分けて、地上での観測、船による観測、人工衛星による観測があります。地上観測は、同じ場所で精度の高い観測を頻繁におこなうことができる利点があります。しかし、観測地点には限りがあります。船による観測は、陸地での地上観測では測れない海洋における地球表面上のデータを取ることができます。しかし、観測の頻度は低くなります。

人工衛星による観測は、地球全体をくまなく測れるという利点があります。特に、地球上をマス目上に区切り、地表から上空までを柱状(「カラム」と呼ばれる)に見て推計するという方法がひとつの特色です。しかし、大気そのものを直接測るのでなく、宇宙から間接的に測るので精度の点で限界があります。高度別に濃度を測るためのセンサーも搭載されていますが、精度の面で航空機観測にどうしても劣ってしまいます。日本(環境省、国立環境研究所、宇宙航空研究開発機構)が 2009 年 1 月に打ち上げ、温室効果ガスを観測している人工衛星「いぶき」のデータに関しては、その精度を確かめるために CONTRAIL のデータを用いています。これは、直接測ることで地上付近から上空まで高い精度をもつ CONTRAIL の利点を生かした活用です。

他の観測結果との組み合わせという点では、気象データの活用を挙げることができます。CONTRAIL の観測データは、中長期的な CO<sub>2</sub> 濃度の変化を広範囲で追うことができるわけではありません。成田空港のように大部分の観測航路の発着点となっている地点では、離着



## CONTRAIL をドキュメントする(DoCONTRAIL)



陸時に測られる高度別の濃度分布データが非常に高い頻度で得られます。

これを、高気圧、低気圧、前線の挙動など気象データとともに解析することで、数日間から一週間程度の短期間の間の大気の動きを細かく追うことができます。例えば、日本の西から偏西風によって大気の塊が運ばれてくる際、気圧配置の変化によって、いつどこで大気中に放出された CO<sub>2</sub> の塊が、いつ、どのように成田付近に運ばれてくるのかが分かるということです。

このように、CONTRAIL が生み出すのは、CONTRAIL 自身のデータだけではなく、他の方法と組み合わせることで広がる研究の可能性でもあるのです。前述のとおり、2007 年から 2011 年にかけて、CONTRAIL のデータの利用のしかたについて議論する「CONTRAIL データ利用小委員会」が設けられ、CONTRAIL の研究者とそれ以外で関心をもつ研究者とが共に議論する仕組みが作られました。同時に、データを利用するにあたっての手順と約束事も定められました。

2015 年 2 月現在、CONTRAIL 観測の飛行ルートをすべて合計すると約 60,000,000 キロメートル。地球をなんと 1,500 周した計算となります。こうして得られた膨大なデータ。きちんとしたルールのもとで他の研究と協力することで、新たな相乗効果が生み出されています。