



観測の仕組み (空気を持ち帰るか？その場で測るか？)

航空機による大気観測には大きく分けて三種類の方式があります。早く開発された順に並べると、①手動ポンプ方式(MSE)、②自動ポンプ方式(ASE)、③連続観測方式(CME)の3つです。CONTRAILではASEとCMEが主力で、補助的にMSEも使われています。詳しい技術的解説はCONTRAILのウェブサイトや、そこで引用されている文献をご参照ください。ここでは、それぞれの方法の特徴をできるだけ噛み砕いてご紹介しましょう。

自動ポンプ方式 (ASE)

人が付きっきりで操作する手動ポンプの限界を超えるために開発されたのが自動ポンプ方式です。正式名称は「自動大気サンプリング装置 (Automatic Air Sampling Equipment; ASE)」で、その名のとおり機械で自動的にポンプを動かして金属容器に空気を取り入れるという革新的な技術です。気象庁気象研究所、日航財団および JAL がタッグを組んで 1993 年に導入し、2005 年まで 13 年間にわたって二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化炭素(CO)の濃度を観測し続けました。タイマーで作動するのがひとつの特徴でした。



日本航空ウェブサイトより

その後、2000年代に入り、国立環境研究所、気象研究所、JAL、ジャムコ社、東北大学、宇宙航空研究開発機構、日航財団が新たにチームを

結成し、観測装置の大幅な改良に着手しました。その結果、タイマー式に代わって、機体の位置情報と連動させることが可能な新型の自動ポンプ方式が開発されました。事前にコンピューターのプログラムで複数の地点を指定しておく、その地点を通過するたびにポンプが作動して空気を採取します。任せて安心の頼もしい主力選手、といった感じでしょうか。

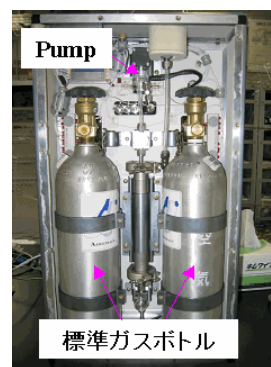
手動ポンプ方式と同様に、回収された装置は国立環境研究所に送られ、6種類の温室効果ガスが測定されています。手動ポンプ方式よりも正確な採取ができることが強みですが、機体内部に取り付けるための大が

りな改修工事が必要という難しさもあります。また、機体にこのような機器を搭載するためには、事前に航空当局の厳しい確認を通過して許可を得る必要があります。更に、せっかく許可をもらって観測をしても、使用する機体が交替したり引退したりしてしまうと、別の機体に積み換えなければなりません。自動化という進化の裏にはこのような苦労もあるのです。

連続観測方式 (CME)

ポンプ方式の場合、手動も自動も基本的には容器に大気の実物を詰めて持ち帰るという共通点があります。ところが、それと全く異なる革命児が登場します。それが連続観測方式です。正式には「二酸化炭素連続測定装置 (Continuous CO₂ Measuring Equipment; CME)」と呼ばれています。新型の自動ポンプ方式と並行して、同じチームが開発しました。

連続観測装置の最大の強みは、飛行中(離陸から着陸までの間)にずっと外気の二酸化炭素濃度を図り続けることができる点です。すなわち、実験室でやる分析を飛行機のなかで機械が勝手にやってくれるのです。空気は機械を通過するだ



日航財団ウェブサイトより

け。持ち帰るのはデータだけ。まさに自ら「空気を読める」天才児と言えるでしょう。非常に画期的な観測方式です。

そうであれば連続観測方式だけやればよいかといえ、そうとも言えません。ポンプ方式の強みは二酸化炭素以外の温室効果ガスも測れることと、実験室で本格的に整えられた条件のもと、精度の高い分析をすることができることです。ちなみに、同じ機体で同時に自動ポンプ方式と連続観測方式を実施した結果、両方の数値が近かったことから、連続観測方式の信頼性も証明することができました。このように、異なる方式を組み合わせることで、観測の価値が一層高まるのです。



手動ポンプ方式 (MSE)

「手動大気観測装置 (Manual Air Sampling Equipment; MSE)」は CONTRAIL プロジェクトが始まる 20 年以上前の 1970 年代から用いられてきた方式で、航空機による大気観測の開拓者と位置づけることができます。文字通り人間が手でポンプを動かして、金属製の容器(シリンダ)のなかに大気を入れます。自転車のタイヤやサッカーボールに空気を入れるのと同じ原理です。ただし、CONTRAIL のポンプは引くときに空気を入れます。一般的な空気入れポンプは押すときに空気を入れるので、反対になっているのです。なぜでしょうか？



人間は、足を床に付けた状態では自分の体重以上の力で押すことはできません。一方、引くときは体重より大きな力を使うことができます。背筋力を測ったことがある人は、そのとき

のことを思い出してください。「なるほど！」と感じますね。開発した東北大学の中澤高清さんが加えた一工夫です。ちなみに、東北大学によって 1979 年から続く日本上空の二酸化炭素観測データは、空の大気観測としては世界で最も長期間にわたるものです。CONTRAIL においても、あとで述べるとおりピンチヒッターとしての役割も含め活躍の場面がまだあります。

上空の機内という狭い空間のなかで生身の人間が配管をその都度つなぎ、飛行中にポンプを引くという作業を伴うので、どうしても若干のバラつきが出てしまうという難点があります。筆者も地上でポンプ操作を体験させてもらい、相当の力が必要なことを体で理解しました。

とはいえ、この方式は特定の機体に大がかりな改修工事をする必要がなく、比較的柔軟かつ機動的に使うことができるという大きな特長があります。また、実験室に持ち帰り、高い精度で数種類の温室効果ガスを測れるのも強みです。二酸化炭素に関しては、同位体比と呼ばれる、より詳しい測定も可能となります。更に、手

動ポンプを用いた作業がすぐそばでおこなわれることによって、操縦士をはじめ乗務員が大気観測を身近に感じ、地球環境問題に関心を持ちやすくなるという利点もあります。

自動ポンプ方式が開発されたことにより、一時は第一線から身を引いた手動ポンプですが、最近になって改良版が再び活躍しました。2010 年の手動ポンプ観測では二酸化炭素(CO₂)に加え、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、六フッ化硫黄(SF₆)、一酸化炭素(CO)、水素(H₂)が採取され、国立環境研究所の実験室で測定されました。先ほどお話したとおり精度の面で限界があるので主力の座は降りていますが、これからも不測の事態が発生したときなどにはピンチヒッターとして活躍する場面があるかもしれません。