

## 1. はじめに

旅客機はその名が示す通り乗客を運ぶための航空機であり、現代社会において欠くことのできない輸送手段となっている。旅客機は世界中の空を休みなく飛んでいるため、上層大気の定期的かつ長期的な観測には最も適した航空機であるとも言える。しかし、もともと観測に使用することを目的として製造されていないため、観測機器の搭載には機体の改造を含めて様々な問題を解決する必要がある。特に、航空局の厳しい審査を通過して「航空機部品」として搭載の承認を受けなければならない。これが、観測専用機に搭載する観測機器とは決定的に異なる点である。航空局の承認が取得できれば、旅客機は上空の定常観測を行うことができる極めて有効な観測プラットフォームに生まれ変わる。

旅客機を利用して上空の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 等の温室効果ガスを観測する研究は、単発的であるが 1960 年代から世界で行われてきた (Matsueda et al., 1991)。日本では、1979 年から東北大学が当時の東亜国内航空 (JAS) の旅客機に搭乗して、手動装置を用いて大気をサンプリングし、日本上空の CO<sub>2</sub> の鉛直分布とその変動を調べる定常観測を開始した (Tanaka et al., 1987)。この先駆的な観測は世界で最も長い観測記録をもち、現在も日本航空 (JAL) に引き継がれ継続されている。さらに、東北大学は JAL の国際便でも手動採取装置による観測を 1984 年と 1985 年の 2 年間実施し、広域の CO<sub>2</sub> 濃度分布と変動を捉える画期的な研究成果を挙げた (Nakazawa et al., 1991)。東北大学の一連の旅客機観測は、見えない一つの大きな成果を日本にもたらした。それは、地球温暖化に対する理解とその研究に貢献する意義を、旅客機運航に携わる航空会社 (通称、エアライン) に浸透させたことである。これが原動力となって、日本ではエアラインの支援による旅客機の大気観測が長期に亘って続けられてきたと言っても過言ではない。米国の研究者からは「JAL は旅客機観測に何故協力的なのか？」と質問されたことがある。米国では 1998 年頃に旅客機観測計画 (TOTCAP: Tropospheric Ozone and Tracers from Commercial Aircraft Platforms) が検討されたが、エアラインの協力が得られず実現することはなかった。

1990 年代に入って、旅客機を利用した上空の温室効果ガスやその他の微量成分を観測する研究プロジェクトが次々に実施されるようになった。気象研究所と JAL のチームは世界に先駆けて旅客機搭載型の自動観測装置を開発し、1993 年から上空の温室効果ガスの長期観測を開始した (Matsueda and Inoue, 1996)。この観測は 2005 年から **CONTRAIL** プロジェクトに引き継がれ、長期にわたる観測が現在も継続されている。国外では、1994 年からフランスを中心とした **MOZAIC** プロジェクトが複数の旅客機にオゾン分析計を搭載して広範囲にわたる観測を展開した (Marengo et al., 1998)。1995 年から 1997 年にかけては、スイスのグループが主導した **NOXAR** プロジェクトにおいて精度の高い窒素酸化物の測定が機上で行われた (Brunner et al., 2001)。さらに 1997 年からは、ドイツを中心としたグループによる **CARIBIC** プロジェクトが観測を開始し、微量気体やエアロゾルを測定できる多数の計測機器を搭載して「空飛ぶ実験室」と呼んだ (Brenninkmeijer et al., 1999)。MOZAIC と CARIBIC は 2011 年から **IAGOS** プロジェクトとして統合し、さらに発展的に観測を継続している。偶然にも 4 つの旅客機プロジェクトが同じ年代に誕生したが、観測の科学的目的や搭載装置の開発及び、機体への設置方法もそれぞれ異なり、どれもが個性豊かな独創性に溢れたプロジェクトであった。1990 年代は、旅客機観測が一気に花開いた時代となった。なお、旅客機プロジェクトの英語の名称は巻末の略語一覧を参照されたい。

気象研究所による旅客機観測は 1993 年 4 月から開始された。この時使用された JAL の旅客機はボーイング 747-200 型機で、一般にジャンボ機と呼ばれている大きな機体である。

この航空機に搭載するために「自動大気採取装置」が開発された。英語名として「Automatic air Sampling Equipment」が付けられ、単語の頭文字を取って「ASE」を略称とすることになった。この最初の開発を「第 1 期 ASE 開発」と呼ぶことにする。ASE は、日本と豪州の定期旅客便として就航していた 747-200 型機に搭載することになった。この航路は赤道をまたいで飛行するため、南北両半球を一度に観測できる最適な航路であった。その後観測が 10 年近く経過した頃、747-200 型機が退役を迎えることとなり、2005 年 12 月からは、ボーイング 747-400 型機で日豪間の観測を継続することになった。この機体に切り替わる時に、第 1 期の ASE を改良して新たなモデルの装置を作るために 2 度目の開発が行われた。これを「第 2 期 ASE 開発」と呼ぶことにした。ただし、ASE の名称はそのまま引き継がれることになった。モデルチェンジする ASE と並行して、CO<sub>2</sub> 分析計を搭載して機上で連続測定を行うことのできる新たな観測装置 CME (Continuous CO<sub>2</sub> Measuring Equipment) の開発も同時に実施された。この第 2 期の開発が終了した後に、プロジェクトの名称が CONTRAIL と命名された。英語の意味の通り、「飛行機雲」をイメージして名付けられた。実は、第 1 期の観測ではプロジェクトの英語名称とその略称について特段の決め事はなかった。日本では関係者の間で通称「大気観測」と呼んでいたが、英語のプロジェクト名がなかった。このために、海外で会った研究者には、しばしば JAL の名前を頭につけて「JAL Project」とか「JAL Observation」と呼ばれていた。

「第 1 期 ASE 開発」と「第 2 期 ASE 開発」による装置とその搭載方法の概略について、すでに研究論文として発表してきた (Matsueda and Inoue, 1996; Machida et al., 2008)。また、日本語の短い解説記事にも記載した (松枝・吉川, 1995; 松枝, 1998; 松枝, 2000; 松枝, 2005a; 松枝, 2005b; 長田, 2006; 本多, 2011)。しかし、いずれも簡単な記述のみで、開発の経緯や技術的要件について詳細にまとめた資料はなかった。航空機に携わる専門家にとっては当たり前のことでも、観測研究者にとっては知らないことが沢山あり、またその逆の場合もしばしば経験した。そこで本報告書では、開発のプロセスを追いながら、観測装置を旅客機に搭載するために必要不可欠な技術的要件を解説することを目的とした。旅客機観測という特殊な分野の技術的知見ではあるが、広く航空機観測全般に共通する要件も多くあるため、本報告書をまとめて出版しておく意義があると考えた。また、異分野のエンジニアや研究者が一同に会した大型共同プロジェクトがどのように推進されてきたかを伝え、今後の新たな開発の際に参考例として活用してもらうことも重要と考えた。このため、技術的側面だけではなく、関連する出来事も織り交ぜて開発の背景や想いも記述することにした。さらに、写真を多数掲載して平易な文章で専門外の方々にも理解できる内容とした。専門的な技術要件については表にまとめたが、それらを読み飛ばしても、内容が理解できるよう記述した。