

研究課題	次世代民間航空機で拓く温室効果ガス観測の新展開
研究期間	令和8年度～令和12年度（5年計画第1年度）
担当者	[気候・環境研究部] ○澤庸介、藤田遼、永井康之
目的	<p>2005年に世界に先駆けて開始した民間航空機による温室効果ガス観測プロジェクトCONTRAIL (Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIRliner) によって、我が国は世界最大の上空の温室効果ガスデータ保有国として航空機観測をリードしてきたが、これまでの観測の主力であったボーイング777型機の退役が進み、観測の頻度、範囲ともに減少傾向が続いていた。申請者らのチームは環境省の助力を得て次世代航空機であるボーイング787型機に、新たに787型機用に開発した二酸化炭素濃度連続測定装置(CME)と自動大気サンプリング装置(ASE)を搭載するための機体改修を進め、2025年度中に5機の787型機が観測機として世界の空に向けて飛び立つ予定である。787型機は777型機ではカバーされていない航路も飛行する予定であり、さらに777型機よりも高高度で飛行することから、これまでデータを得られていなかった低緯度帯や、物質循環の理解に重要な成層圏下部のデータが充実することが期待される。さらに新型のCMEは、観測性能の向上によって、そのデータ取得率が大幅に向上することが見込まれている。</p> <p>本研究では、新規開発した装置ならびに改修した航空機で取得される観測値の品質や精度を検証し、CONTRAILプロジェクトによって過去20年間にわたって蓄積されたデータと統合し、唯一無二の信頼性の高い長期の航空機データセットとして世界気象機関など世界の各機関・研究グループに発信することを目的とする。さらに本研究では、787型機の飛行特性や飛行エリアを最大限に活かし、地球全体を従来よりも網羅的に観測することで、地球表層における温室効果ガス循環の理解を大きく前進させることも目的とする。特に、全球的な温室効果ガス濃度変動の主要な駆動源と目される低緯度の温室効果ガス収支の変動メカニズム解明や、対流圏—成層圏間の物質交換、成層圏大気的年代推定を含めた大気の物質循環過程を明らかにすることを旨とする。</p>
目標	<p>(1) 787観測データの品質評価と特性、精度把握</p> <p>787型機用のCMEとASEは新たに開発された観測装置である。787型機のサンプル空気を取り込むエアコンダクトは777型機とは違ったメカニズムで構成されている。これらの装置ならびに機体で得られるデータの品質評価は、これまで得られた長期データとの連続性を担保する上で極めて重要であり、今後長きにわたりプロジェクトを継続する上での根幹となる。そこで本研究では、これらの装置ならびに機体で観測されたデータの品質評価を体系的に行うとともに、他の航空機データとの比較を通して、データの特性、精度を明らかにする。</p> <p>(2) 新たなデータ処理システムの開発</p> <p>787型機用のCMEでは従来の777型機用と比べてより多くのデータ取得が可能となるため、効率的なデータ処理が必須となる。そこで本研究では、近年急速に普及している次世代型の統合開発環境を活用して、データ処理、可視化、記録が一元的に実施可能なデータ処理システムを新たに開発する。これを通じてデータ処理の効率化と品質評価プロセスの透明性を飛躍的に向上させる。</p> <p>(3) 長期データセットの構築と世界データベースとの統合</p> <p>過去20年間のデータとの整合性を評価し、787型機による観測も含めた新たな長期のデータセットとして再構築する。また、このデータセットをもって、世界気象機関を始めとする世界の様々なデータ統合の活動に参加し、GOSAT-GWを始めとする衛星観測の検証や、大気輸送モデルの評価、また、フラックス推定といった世界の様々な研究に貢献する。</p> <p>(4) 温室効果ガス収支推定の精度向上</p> <p>CONTRAILプロジェクトによる2005年開始以降の長期にわたって蓄積されたデータに加え、本研究で得られたデータを利用することで、都市域における人為起源排出の増加・減少や森林火災による大規模放出といった、通常自然変動とは異なる放出・吸収量変動を検出し、その変動量を定量的に評価する。</p> <p>また、787型機による観測では、これまでの777型機では観測することが不可能であった中東地域や継続した観測が困難であった南アジアや東南アジアにおけるデータが</p>

	<p>充実することが期待される。これまでの観測で培った日本－オーストラリア間の長期の南北分布データに加え、これらの観測データが加わることにより、西太平洋を中心として、低緯度地域を南北・東西に網羅した観測ネットワークを築くことが出来る。このデータセットを最大限に活用して、大気輸送モデルを用いたフラックス推定などを実施し、全球の温室効果ガス収支の推定精度を向上させる。</p> <p>(5) 対流圏上部－成層圏下部における物質循環過程の解明  対流圏上部から成層圏下部にかけては、温室効果ガス濃度に大きな濃度勾配が生じており、季節変動パターンも鉛直方向に大きく異なることが知られている。しかし、観測データが限られており、また、モデル再現性の問題もあることから、未解明な部分が多く、モデル研究と観測研究で異なる見解が示されているものもある。777 型機は最高到達高度が30,000-38,000ft (9-11.5km) であったが、787 型機は定常的に36,000-41,000ft (11-12.5km) の高度を航行するために、鉛直分布の観測範囲が増加する。特に両半球の中高緯度では圏界面高度が低くなるために下部成層圏における観測データが大幅に充実する。従来のデータに加えて、この高高度観測データを解析することにより、対流圏上部－成層圏下部の間の温室効果ガス濃度変動を詳細に把握し、対流圏－成層圏間の物質交換や成層圏大気の年代推定および成層圏下部のメタン(CH<sub>4</sub>)の化学過程について、観測による解析精度を向上させ、メカニズム解明に貢献する。</p>
<p>研究の概要</p>	<p><b>【航空機観測】</b>  本研究では2つの観測手法により観測を行う。1つはCME によって航空機の飛行中に連続してCO<sub>2</sub> 濃度を測定する。CME は飛行中の全ての時間において自動観測が可能であり、水平飛行中に上部対流圏や下部成層圏におけるCO<sub>2</sub> 濃度の緯度・経度分布を、上昇時及び降下時に離着陸地近傍におけるCO<sub>2</sub> 濃度の高度分布を観測する。  もう1つの装置はASE であり、航空機の飛行中に大気試料を採取し、地上の実験室においてCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O)、六弗化硫黄 (SF<sub>6</sub>)、一酸化炭素 (CO) 及び水素 (H<sub>2</sub>) の各濃度とCO<sub>2</sub> の炭素同位体比 (δ<sup>13</sup>C) 及び酸素同位体比 (δ<sup>18</sup>O) を分析する。また、ASEの搭載が出来ない機材については手動サンプリング装置 (MSE) によってASE 観測を補う。</p> <p><b>【787 観測の品質評価・データ処理システム】</b>  787 型機用CME のデータ出力の安定性やノイズレベルの777 型機用データとの比較、CME とASE を同時搭載によるCO<sub>2</sub> 濃度観測値の比較、787 型機と777 型機の日かつ近傍での観測結果の比較、787 型機での観測値と地上観測値との比較ならびに、過去のCONTRAIL データとの時間的連続性を精査することによって787 型機観測の品質評価を行う。</p> <p><b>【低緯度域の観測と高高度観測】</b>  787 型機はインドネシアのジャカルタ、シンガポール、マレーシアのクアラルンプールの熱帯域、南アジア域であるインドのデリー、中東ではカタールのドーハに定期航路がありこれらの便に搭載するCME で低緯度域におけるデータを取得する。また、欧州便や北米便は圏界面高度の低い高緯度を飛行することから、下部成層圏におけるデータはこれらの路線で収集する。</p>
<p>研究の有効性</p>	<p>・20 年にわたって継続してきた世界最長の上空における温室効果ガス観測を、途切れることなく、高い信頼度で787 型機によって引き継ぐことによって過去のデータを活かし、温室効果ガス濃度の広域分布とその変化を捉え、変動要因を解析するための基礎となる観測データを継続して取得する。新たに開始するボーイング787 型機での観測データについて、高い品質と精度を保証するための検証をし、データを速やかに処理・提供する体制を構築する。これにより取得するデータの価値をさらに向上させる。</p> <p>・世界気象機関・全球大気監視 (WMO/GAW) 計画で重視される移動体による観測における我が国の大きな貢献となるとともに、WMO が推進する全球温室効果ガス監視 (G3W) による温室効果ガスの観測・解析の枠組み強化に貢献する。また、観測データは気象庁が運営するWMO/WDCGG (温室効果ガス世界資料センター) を通じてWMO/GAW コミュニティに公開・利用されるほか、気象庁が公開する二酸化炭素分布情報のために開発されている高解像度CO<sub>2</sub> 輸送モデルの検証・改良にも貢献する。</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境研究総合推進費S-22「気候変動緩和に向けた温室効果ガスと大気質関連物質の監視に関する総合的研究」との連携により大気輸送モデルを利用したフラックス推定を行い、パリ協定のグローバルストックテイクに基づいた排出削減政策の効果を客観的観測データから評価するとともに、経済変動に伴う排出の変動も緊急性の観点から評価する。</li> <li>・新興国・途上国が多く、GOSAT の観測データが少ない熱帯域における温室効果ガスフラックスの年々変動および経年変動を監視することで、未だに明らかとなっていない自然起源の吸収・発生の長期変動メカニズムの解明に貢献する。さらに、これらのデータや知見を用いて、地球システムモデルの評価を行い、モデル改良につなげることで、気候変動予測の精度向上に貢献する。</li> <li>・CO<sub>2</sub> やSF<sub>6</sub> などの化学的に安定な微量成分をトレーサーとした大気輸送研究に貢献する。特に上部対流圏・下部成層圏の大気交換過程や成層圏の大気の年代 (Age of Air) に重要な知見をもたらすことから、温暖化によるブリューワ・ドブソン循環への影響の検証データとなることも期待される。</li> <li>・日本のGOSAT シリーズ、米国のOCO シリーズをはじめ、中国や欧州の衛星による温室効果ガスの観測は上空からのカラム量または高度分布を測定する。このことから、航空機による上空の高精度直接観測は、衛星リトリバル値もとより、それをもとに作成される吸収・発生源プロダクトにとって、最も有効な検証データとなる。本研究による観測は世界の衛星による温室効果ガス観測の品質を継続的に保証する上でますます重要となると言える。</li> <li>・短寿命気候汚染物質 (SLCP) であるCH<sub>4</sub> は近未来の温暖化を抑制するための削減候補であるが、放出源の定量的理解はCO<sub>2</sub> 以上に進んでいない。本研究は上空のCH<sub>4</sub> 濃度も継続的に観測できる世界で数少ないプロジェクトであり、グローバルなCH<sub>4</sub> 循環の理解に大きく貢献できる。</li> <li>・民間航空会社の環境貢献に対するアピールになる。日本の航空会社の国際的な競争力 (差別化) を向上するコストパフォーマンスのよい計画と言え、間接的に日本経済の活性化にも貢献する。</li> <li>・アウトリーチへの活用にも期待できる。ジェット旅客機、地球温暖化問題といった身近な科学の話題を提供することにより、市民や子供の興味を引き起こし、自然科学や環境問題に対する理解を深める波及効果が期待できる</li> </ul>
令和8度実施計画	<p>(1) 航空機を利用した温室効果ガス観測の実施 民間航空機を利用して広域の温室効果ガスの観測を行う。3機の787型機または777型機CMEを搭載してCO<sub>2</sub>濃度の連続観測を行うとともに、月に1~2回の頻度でASEを搭載し空気試料のサンプリングを行う。</p> <p>(2) 新たなデータ処理システム・運用体系の構築 CMEで取得したデータの処理を行い、濃度計算を行うとともに品質管理を定常的に行う。令和8年度は新たに開始した787型搭載の新観測装置取得データの処理システムの開発・環境構築を行い、これを通じて初期的な不具合の洗い出し、適切な観測条件の設定を行う。また、787型機観測では従来の777型機と異なる路線で運用され、運用整備体系も異なることから、観測装置の搭載及び取り出し、情報・データ共有の手順等について関係機関で検討し効率的で効果的な観測が実施できるように調整を行う。</p> <p>(3) 長期データセットの構築と解析 過去20年間のCMEによるCO<sub>2</sub>濃度データ並びにASEによるCH<sub>4</sub>やN<sub>2</sub>O等のCO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスデータに、787型機による観測を加え新たな長期観測データセットとして再構築する。これら広域・長期にわたって蓄積されたデータを用いて、広域の温室効果ガスの分布、時間変動について解析を行う。令和8年度は、新たに787型機によって観測されたデータについて777型機観測との比</p>

	較を行い、連続性と整合性について検討を行う。
--	------------------------