航空機観測による 気候・地球システム科学研究の推進



概要

現在、地球温暖化・環境変化が急速に進行し、台風・集中豪雨災害が激甚化するとともに、食糧生産などの人類の社会基盤に大きな影響を与えつつあります。気候・地球システム科学研究の最大目標は、さまざまな地球科学分野の観測・知見を統合し、将来の地球気候・環境を予測することであり、その成果を社会に提供することです。温度場や放射量などのグローバルなマクロ量は人工衛星観測から大掴みに得られます。一方、気候・環境モデルは温室効果気体の濃度やエアロゾルの化学組成などのミクロ量の計算に基づき温度場や放射量を計算しているため、人工衛星では捉えられないこれらミクロ量の観測が予測精度向上の鍵となります。これらのミクロ量を広域かつ高度分布まで含めて測定できるのは航空機観測だけです。すなわち、航空機観測は地上や人工衛星観測では得られない全く新しい観測量を得る唯一の手段であり、気候・地球システムの本質の理解と将来予測研究のブレークスルーを実現するものです。

本計画では、わが国初となる地球観測専用の航空機を導入し、10年間にわたり観測研究・機器開発・人材育成を実施します。世界のトップレベルにある観測技術を持つ日本の強みを活かして、いまだに世界の国々が実現できていない、ミクロ量・素過程の理解に基づいた気候・地球システムの理解という地球科学のパラダイムシフトを目指します。地球システムは、大気、海洋、雪氷、陸域生態系などのサブシステムの複雑な相互作用の総体として成り立っているため、航空機観測を軸として、地球科学を統合的に理解する新しい研究の枠組みを実現します。日本の先端技術で開発されている無人機による地球観測も推し進め、理学と工学を融合した新しい学問分野を創出します。

本計画では特に、人為的な環境変化が急激に顕在化しているにも関わらず、航空機観測の空白域となっているアジアと 北極に重点をおいた観測研究をアジア諸国との研究交流を進めながら展開し、得られた科学的知見の提供により国際的 な適応・緩和策の施策に貢献します。また国内の台風・集中豪雨の予測精度子向上、それらに伴う災害や地震・火山な どの災害状況の把握の迅速化により、我が国の防災・減災に貢献します。これらの研究により、人材を育てるとともに SDGs への貢献、すなわち地球科学の社会的な使命を果たします。

キーワード

航空機専有利用による継続観測、航空機観測による新しい物理量の取得、 防災・減災、適応・緩和策の施策への貢献、SDGsへの貢献

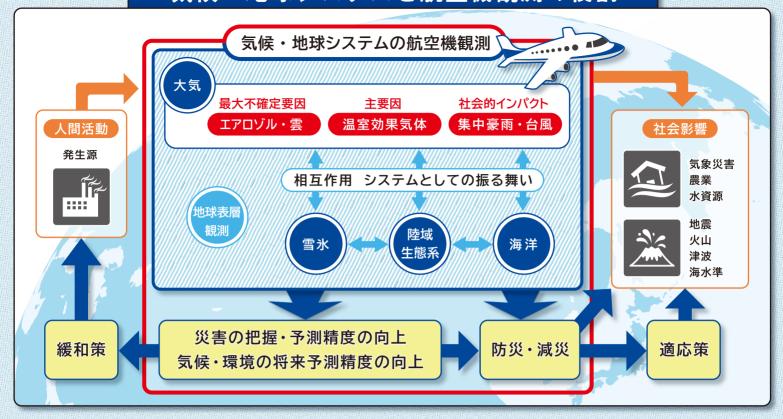
学術的意義





航空機観測 単なる観測精度の向上ではなく、全く新しい観測量を得る。地球科学の新しい眼。 地球科学のパラダイムシフト ミクロ量 (素過程)の理解に基づく気候・地球システムの理解。

気候・地球システムと航空機観測の役割



航空機による観測計画

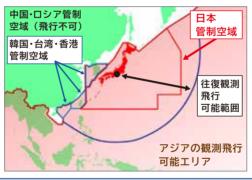


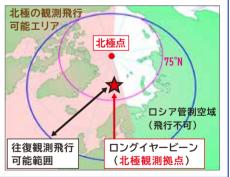
ガルフストリーム IV (G-IV) ジェット機を専有利用 (民間機をレンタル)

- ◆優れた航続距離 (6500km)・運用 高度 (13km)・ペイロード 3t・電源 ⇒多様な地球観測に対応可能
- → 機体改修が可能

プロペラ機・水上離発着機・無人機利用も 審査の上で支援

本研究で使用する観測機(G-IV)の観測飛行の可能エリア





想定される搭載機 合成開口レーダ、雲・降水レーダ・ライダ(上向きと下向き、ドップラー機能付き)、地表面・海面高度計、ドロップゾンデ投下口、雲プローブ、風の3成分測定プローブ、各種気体成分、エアロゾル粒径分布・化学成分測定器、スペクトルカメラ、放射計ほか

観測計画立案 航空機観測推進委員会が策定した観測目標の基づき観測提案を選定します。特に、気候変動問題における適応策に貢献する研究や防災・減災に資する観測研究を積極的に実施します。

将来の無人航空機の活用



最近のドローンをはじめとする無人航空機の技術発展は目覚ましいものがあります。そこで将来、台風などの観測や災害時の監視を安価で安全な無人機へ移行できることを目指し、最先端の無人航空機技術の活用する技術開発を行うとともに、航空機の安全運航に寄与する技術開発にも貢献します。また、地球観測衛星開発において、機器性能確認および打ち上げ後の検証に活用します。これらを通じて産業を含めたイノベーションへつなげます。

台風を航空機で直接観測する

台風の中心気圧は、衛星の雲画像から推定されているので、非常に強い勢力の台風ではその誤差が大きくなります。 防災と台風予測精度の向上のために、台風の強度を正確に知ることは不可欠です。 日本の航空機を用いて台風の直接観測を行います。 これまで 2017 年と 2018 年に 2 つのスーパー台風の眼の貫入観測を行いました。



2018年9月25日、高度約14kmの航空機のキャビンから撮影したスーパー台風 Tramiの眼の内部。



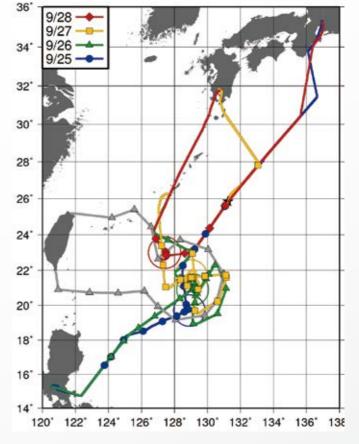
台風 Trami 観測時のドロップゾンデ投下の様子。

観測例

- ◆ 台風の眼内部および内部コア周辺のドロップゾンデ観測とその データの気象庁と世界へのリアルタイム送信。
- ◆ 台風の中心気圧と最大風速のドロップゾンデによる直接観測。
- ◆ 線状降水帯などの豪雨をもたらす大気中の水蒸気の流れ (atmospheric river)のドロップゾンデによる縦断観測。

期待される成果

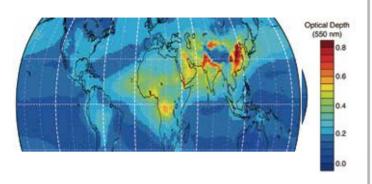
- ◆ スーパー台風などの非常に強い台風の中心気圧や最大風速の正確なデータ取得による台風研究の発展に寄与。
- ◆ 台風の内部コアおよび眼の暖気核の力学的・熱力学構造の解明。
- ◆ 地球温暖化に伴う台風の変動の研究に信頼できるデータを提供。
- 台風の強度や進路の予測の改善による台風防災への貢献。
- ◆ 線状降水帯などの豪雨の予測精度向上による豪雨災害軽減への 貢献。
- ◆ 台風の国際共同観測への貢献。



台風 Trami 観測時の飛行経路とドロップゾンデ投下地点

気候変化の将来予測の最大の不確定要因はエアロゾルと雲(IPCC 2013)

エアロゾルの光学的厚み (人工衛星観測による大気中積分量)



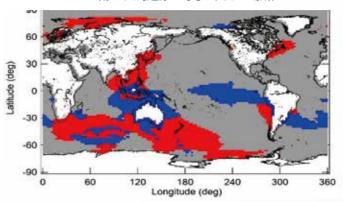
アジアはエアロゾル濃度が高いホットスポットです。しかし、人工衛星観測では、白いエアロゾル(地球を冷却)と黒いエアロゾル(地球を加熱)の判別ができません。エアロゾルの化学組成(色)などのミクロ量と、その高度分布は、航空機でのみ観測可能です。

日本は、nm から mm の個別粒子の化学組成・物理特性の測定技術などの先端的な航空機観測技術を開発してきました。 そしてエアロゾルを介して、海洋生物生産に大きな人為的影響があることなどを発見してきました。

観測例

- → アジア域でのブラックカーボンの定量観測
- → 人為起源の温室効果エアロゾル (酸化鉄) の定量観測

大気から海洋生物生産への影響(鉄供給) (赤が人為起源の寄与が大きい場所)



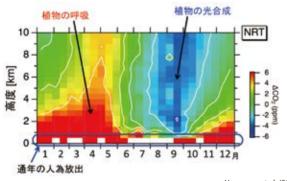
本研究では、エアロゾルと雲の実態把握と変動メカニズム研究を推進し、気候変動の実態把握を目指します。

期待される成果

- 観測の空白域であるアジア・北極における環境変化や気候変化の 把握
- ◆ アジアから太平洋や北極に流出している物質の把握
- 人為起源物質の雲や海洋生態系に対する影響の評価

大気中温室効果ガスの分布とその季節変動ならびに排出削減の監視

CO2 濃度の鉛直分布



Umezawa et al. (2018)

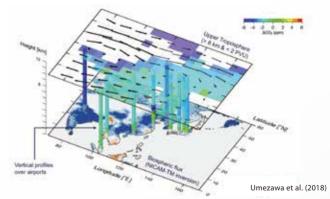
大気中の二酸化炭素 (CO2) 濃度は植物の呼吸と光合成の影響を強く受けて季節変動をしますが、変動の特徴は高度によって大きく違っています。このような詳細な鉛直分布を精度良く明らかにできるのは航空機観測だけであり、地表面での放出量や吸収量を知るための有力な情報となります。

我が国でも 2050 年のカーボンニュートラルの実現に向けた政策が 実行されますが、排出削減効果を客観的な観測データで検証することは極めて重要です。航空機は政策効果の監視にも大きく貢献する ことが期待されます。

観測例

- → 温室効果ガス鉛直分布の季節変動と長期変動
- → アジア域の3次元構造

アジア域における CO2 濃度の3次元構造



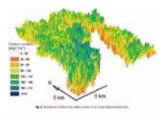
CO2 を含む大気の成分は3次元的に広がっており、常に風によって輸送されています。日本での濃度変動の原因を知るにはアジアスケールでの広域における3次元構造を知る必要がありますので、長距離を自由に飛行できる航空機はこれを実現するための唯一の観測手段です。このような観測は、「大気輸送」の理解にも大きく役立ちます。アジアからの汚染物質の輸送経路、アジアモンスーンによる大規模な鉛直輸送、上空大気の太平洋への吹き出しや成層圏への影響など、気象力学分野への貢献も期待されます。

期待される効果

- ◆ 森林や海洋などの自然起源放出源強度の分布把握
- ◆ 人為排出量削減効果の監視

陸域生態系

陸域生態系の観測では、バイオマス量、葉量、樹高、光合成量などの植生に関連する物理量、植生種、植生分布などの状態量の観測が望まれている。航空機観測の役割として、地上観測を広域化するため地上観測と衛星観測を繋ぐための観測データとして、また、衛星観測では観測が難しい詳細な地表の生態系の構造を観測することも可能である。特に、近年では、気候変動や生物多様性に関わる地球規模の環境問題が注目されており、航空機による陸域生態系の観測は、これらの問題にも貢献できる。航空機からのリモートセンシングとして、植生の被覆状況や活性度については可視・近赤外などでの観測が、バイオマスや樹高の観測にはマイクロ波やライダーによる観測が期待されている。さ



らに、植生からの蛍光(クロロフィル 蛍光)を計測するなどの新たな展開 も期待されている。

航空機ライダーで観測した天塩研究林における地上部バイオマス量の空間分布 (Takagi et al., 2015)

観測例

- 可視・近赤外による植生被覆状況・活性度の推定
- ◆ 森林のレーザー測量による個々の樹木の炭素量の推定

期待される成果

- ◆ 森林のレーザー測量・タワー観測および人工衛星観測を組み合わせた地球規模のバイオマス把握の高精度化
- ◆ 植物からのクロロフィル蛍光の観測による植生活性度の観点からの炭素循環の評価

雪氷

雪氷圏科学分野では地上観測の 困難さや現象の空間スケールの 観点から、航空機観測はきわめ て効果的な観測手段といえます。 急激な温暖化が進む雪氷圏にお ける変化の実態把握やメカニズ ム解明などが、航空機を用いた

高精度観 測によっ

て大きく 進展する 機観測はきわめ 手段といえます。 進む雪氷圏にお 把握やメカニズ 航空機を用いた ***・ 島田利元氏 (JAXA) 表面温度 藤田秀二氏 (国立極地研究所) 氷床内部断面図

ことが期待されます。

観測例

- ◆ 光学センサーによる雪氷表面物理量(アルベド、表面温度、積雪 粒径、不純物濃度など)の観測
- ◆ 走査型レーザー高度計による氷河・氷床観測
- アイスレーダやマイクロ波放射計による氷体内部構造・積雪下の 凍土観測

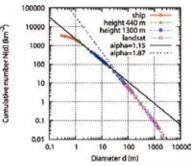
期待される成果)

- → 氷河・氷床の質量収支の実態把握・融解メカニズム解明
- 氷河・氷床・凍土モデルの検証・改良
- → 積雪・裸氷・海氷面のエネルギー収支、大気ー雪氷相互作用の定量化、衛星観測の検証
- → 大気との同時観測による物質循環の解明

海洋

海洋では、海水温・塩分・ 海流・波や赤潮・魚群・溶 存酸素などの観測が望まれ ています。また、近年では 海ゴミも大きな問題となっ ています。海氷観測も大気 と海洋の熱収支の観点から 重要です。

航空機からのリモートセンシングとして、低空飛行での可視・近赤外での観測や天



オホーツク海南部における氷盤の 大きさの積算個数分布図 (Toyota et al., 2006)

候に左右されない合成開口レーダの観測が有効です。

海洋の直接観測として、空中から投下可能な AXBT や AXCTD、 さらに水中で自動昇降が可能な鉛直プロファイラーなどの最新機器を 用いた機動的な大気海洋相互作用の観測が期待されています。

AXBT: Airborne Expendable BathyThermograph AXCTD:Airborne Expendable Conductivity-Temperature-Depth

観測例

● 合成開口レーダによる氷盤のサイズ分布の特徴

期待される成果

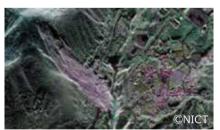
- ◆ 合成開口レーダによる海氷・波浪の観測による気候モデルの改良
- 航空機による赤潮・魚群の詳細な天候に左右されない観測による漁業への貢献
- 空中からの AXBT や AXCTD の投下による海洋状況の機動的把握

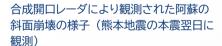
合成開口レーダによる地震・火山の被害状況把握

航空機搭載合成開口レーダ(SAR)は、空間解像度約15 cm、フルポラリメトリ観測による対象物の分類、リピート観測によるcmオーダーの微小変化の抽出等が昼夜を問わず可能です。

人工衛星と異なり、機動的な観測が可能です。

→迅速な被害把握による的確な救援が可能になります。







合成開口レーダにより観 測された噴火直後の御 岳山

観測例

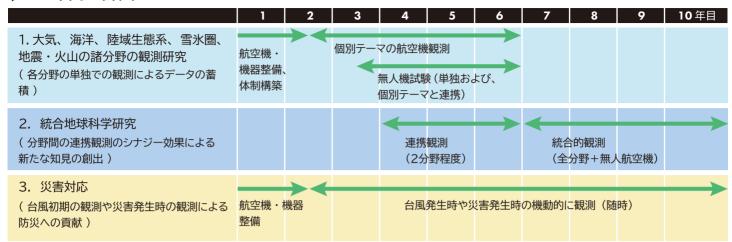
- ◆ 大震災直後の津波被害や斜面崩壊などの即時把握
- ・ 噴煙に隠された火山噴火口の把握

期待される成果

- 高分解能化による、光学センサと同等の被害状況推定
- リピート観測からの微小変動の検出による地殻変動の把握
- 海洋の波浪等の把握

計画・人材育成・体制・予算

▶10年間の計画



長期間の高頻度・機動的観測の実現 (観測時間 30 時間 / 年 → 200 時間 / 年)

10年間の長期ビジョンに基づき、公平な審査による観測の推進により、重要課題において着実に成果をあげます。専有利用する観測機(ジェット機)は年間200時間程度の観測を実施し、大型観測を年に2回程度とより小規模な観測を複数回実施します。水上離発着可能な他の機体を使った観測も支援するとともに、最先端の無人機の開発により地球観測の新たな可能性を追求し、地球科学全体での成果を目指します。これらにより、これまでの事例的研究から体系的観測研究という質的に新しい研究の実現を目指します。

研究計画書(総ページ数 233 ページ) を日本気象学会 HP で公開中(https://www.metsoc.jp/2019/03/07/14824)

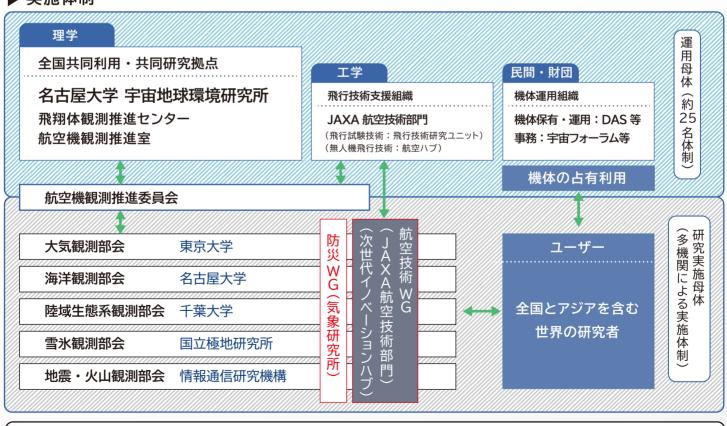
▶ 人材育成

10年間の長期ビジョンに基づく観測・研究、戦略的な機器開発を通じて、新しい時代の航空機観測を担う若手研究者の育成を行います。 航空機観測のかたちもドローンや大型無人機等の登場により大きく変わりつつあります。 また数値モデルや衛星観測の進歩により航空機観測の役割も大きく変わりつつあります。 これらの状況を考えると新しい人材の育成は急務の課題となります。

▶ 実施体制

予算

10 年間で 155 億円



無人機利用:改造、運用

諸経費:人件費、データベース作成など

観測機器:開発、整備

G-IV: 他機体利用: リース、改造、運用 ------130 億円

10 億円

10 億円

5 億円

コミュニティの合意と国際連携

共同提案学会

日本気象学会 日本大気化学会 日本航空宇宙学会

正式連携学協会(12学協会)

日本地球惑星科学連合(大気水圏科学セクション)、日本地理学会、地理情報システム学会、砂防学会、日本リモートセンシング学会、日本雪氷学会、大気環境学会、水文・水資源学会、日本自然災害学会、日本海洋学会、日本風工学会、Japan Flux(フラックス観測ネットワーク)

計画立案協力学会(24学協会)

水産海洋学会、日本生態学会、日本エアロゾル学会、地球電磁気・地球惑星圏学会、可視化情報学会、日本山の科学会、日本生気象学会、日本流体力学会、日本風工学会、北極環境研究コンソーシアム

行政機関からのサポートレター 当計画の実現と気象業務への活用への期待)

気象庁

Japan Meteorological Agency

世界からのサポートレター 17機関より連携に対する強い期待をいただいています。

国際組織・国際プロジェクト

世界気候研究計画

世界気象機関 / 全球大気監視計画

国際気象学・大気科学協会

長距離越境大気汚染タスクフォース

大気科学国際共同研究計画

大気科学と地球大気汚染に関する国際委員会

大字

英国マンチェスター大学

ソウル国立大学

国立台湾大学

外国機関

米国 NASA 地球科学部門

米国海洋大気庁 地球システム研究所

米国大気研究センター

ヨーロッパ連合航空機研究機関

ドイツ アルフレッド・ウェーゲナー研究所

台湾中央気象局

国内プロジェクト

日本学術会議 大気科学国際共同研究計画

日本学術会議 統合陸域生態系 - 大気プロセス研究計画

WCRP (World Climate Research Project)

WMO/GAW (Global Atmosphere Watch)

IAMAS (International Association of Meteoroloogy and Atomospheric Sciences)

TF HTAP (Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution)

IGAC (International Global Atmospheric Chemistry)

iCACGP (Atmospheric Chemistry and Global Pollution)

University of Manchester, Center of Atmospheric Science

Seoul National University

National Taiwan University

NASA Headquarters/Earth Science Division

NOAA/ESRL Global Monitoring & Chemical Sciences Divisions

NCAR MML (National Center for Atmospheric Research)

EUFAR (EUropean Facility for Airborne Research)

AWI (Alfred Wegener Institute)

Central Weather Bureau, Taiwan

IGAC-Japan National Committee

iLEAPS-Japan National Committee

