

マスタープラン2020 重点課題 「航空機観測による気候・地球システム 科学研究の推進」について

高橋暢宏

(名古屋大学宇宙地球環境研究所附属飛翔体観測推進センター)

本日の内容

- マスタープラン2020 重点課題
「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」
 - 現状と課題
 - 名大ISEEの取り組みについての紹介
- 米国での大型航空機プラットフォーム（DC8）の後継に関する検討の紹介
 - 日本での航空機観測の推進に役立つヒントがある？

- ▶ **学術の大型研究計画に関するマスタープランとは**
 - ▶ 日本学術会議 が 3 年ごとに公募・策定（6 年ごとに大改訂）。
 - ▶ 5～10 年計画。総額数十億円超（上限なし）。
 - ▶ 全学術分野について、ボトムアップ 的に大型研究の指針を与える。
 - ▶ 2020 年度の 重点課題として 31 課題を採択。（予算化とは別）
- ▶ **「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進」**
 - ▶ 日本気象学会・日本大気化学会・日本航空宇宙学会の3学会の共同提案。
 - ▶ 「重点課題」に採択
 - ▶ 文部科学省の予算化の必要条件の傾向。文科省のロードマップ 2020 には 採択されず。
 - ▶ 「重点課題に採択されたことを梃にして大型研究費を獲得してください」という状況
- ▶ **2020年度の重点課題（地球科学系）：**
 - ▶ 航空機観測（東大理・名大 ISEE など）
 - ▶ 赤道MU レーダ・ EISCAT レーダ（京大生存研など）
 - ▶ ミュオグラフィ（東大地震研など）
 - ▶ 深海アルゴフロート（東大理など）

マスタープランへの提案骨子

4

- ▶ 人工衛星や地上観測では得られないミクロ量（素過程）の理解を通じた大気、海洋、陸域生態系、雪氷、固体地球などの気候・地球システム科学研究の推進
 - ▶ 大気分野：温室効果気体・エアロゾル・降水システム
 - ▶ 海洋分野：海水温・塩分、赤潮・魚群・海洋ごみ、海氷
 - ▶ 雪氷分野：全般（地上観測が最も不足している）
 - ▶ 陸域生態系分野：衛星観測とタワー観測を結びつける
 - ▶ 防災：地震・火山の状況把握、台風観測（機動性）
- ▶ 共同利用の地球観測専用の航空機の導入
 - ▶ G-IV（レンタル）を軸として、プロペラ機やUAVの活用
 - ▶ 名大ISEEの飛翔体観測推進センターが運用
- ▶ 国際連携
 - ▶ 米国・台湾・韓国等
- ▶ 人材育成

マスタープラン重点課題へ採択後の動き

5

- ▶ ロードマップ2020は不採択（ヒアリングに進んだのは深海アルゴフロートのみ）
 - ▶ ロードマップ2020採択課題（物理関係）：次世代強磁場施設、KEKスーパー8、大強度陽子ビーム、アルマ2計画、KAGRA計画、すばる2、LiteBIRD（宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星）、スーパーカミオカンデ
 - ▶ 詳細は https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/021/1412963_00001.htm
- ▶ ISEEの飛翔体観測推進センターの期限を延長（4年）
 - ▶ 航空機観測推進室を設置（2021年4月より）
 - ▶ 航空機観測のパンフレット作成（中） https://coso.isee.nagoya-u.ac.jp/aioo/img/pdf/data_0624PM-small.pdf
 - ▶ 航空機観測セミナーの開始
- ▶ 日本学術会議 地球惑星科学委員会、地球惑星圏分科会 ヒアリング（2021.6.26）
コメント：
 - ▶ **それぞれの分野に対する飛行時間の分配を具体的に考えるべき。**
 - ▶ **様々なタイプの航空機（UAVを含む）の柔軟な活用**
 - ▶ **「普遍的原理や事象の理解を説いた上で、さらに明らかにしたい学理や検証する仮説が具体的に、2、3つ示す必要がある」・・・ブレイクスルーとなる研究が必要、地球システムの理解の重要性を認識してもらう必要性**

本日後半に紹介する米国での将来の大型プラットフォームの検討にヒントがある？

飛翔体観測推進センター 体制図・活動計画

宇宙地球環境研究所

飛翔体観測推進センター

地球水循環観測推進室

- ・ 降水観測レーダ
- ・ 雲観測レーダ
- ・ 4 大学VL

宇宙開発利用推進室

- ・ 超小型衛星開発
- ・ 小型衛星の民間利用 (人材育成プログラム)

新設

航空機観測推進室

(R3.4 ~)

- ・ **共同利用・共同研究**
 - ・ **ドロップゾンデ観測** 概算要求 (日本に襲来する台風：平均4回/年)
- ・ **航空機観測コンソーシアム事務局**
 - ・ **観測調整 (特任助教)** 概算要求
- ・ **研究者フォーラム運営 (特任助教)** 概算要求
 - ・ 研究者間情報交換
 - ・ ワークショップ

- ・ 専任教員 (3)
 - ・ 教授 2
 - ・ 准教授 1
- ・ 特任教員 (3)
 - ・ 教授 2
 - ・ 准教授 0
 - ・ 助教 1 (+1名分を概算要求中)
- ・ 兼任教員 (5)
 - ・ 教授 3
 - ・ 准教授 1
 - ・ 助教 1

航空機観測

航空機観測コンソーシアム (仮称)



運営母体
事務局

共同利用・共同研究

航空機観測推進委員会 研究計画立案

東大

千葉大

名大

JAXA

極地研

気象研

NICT

国内外の研究者

マスタープラン2020 重点課題 航空機観測による

気候・地球システム科学研究の推進

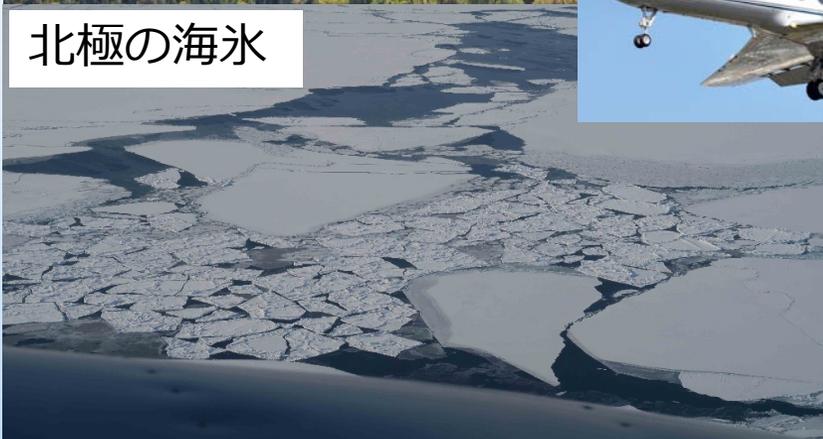
植生と温室効果気体



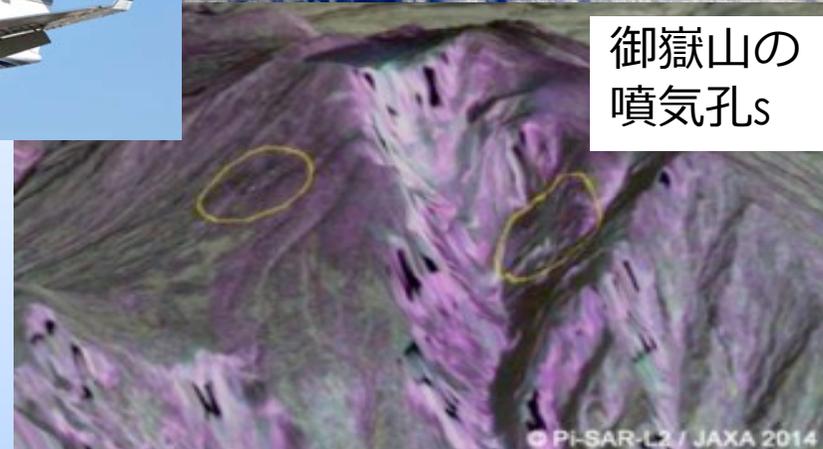
台風之眼



北極の海氷



御嶽山の噴気孔s



高橋暢宏

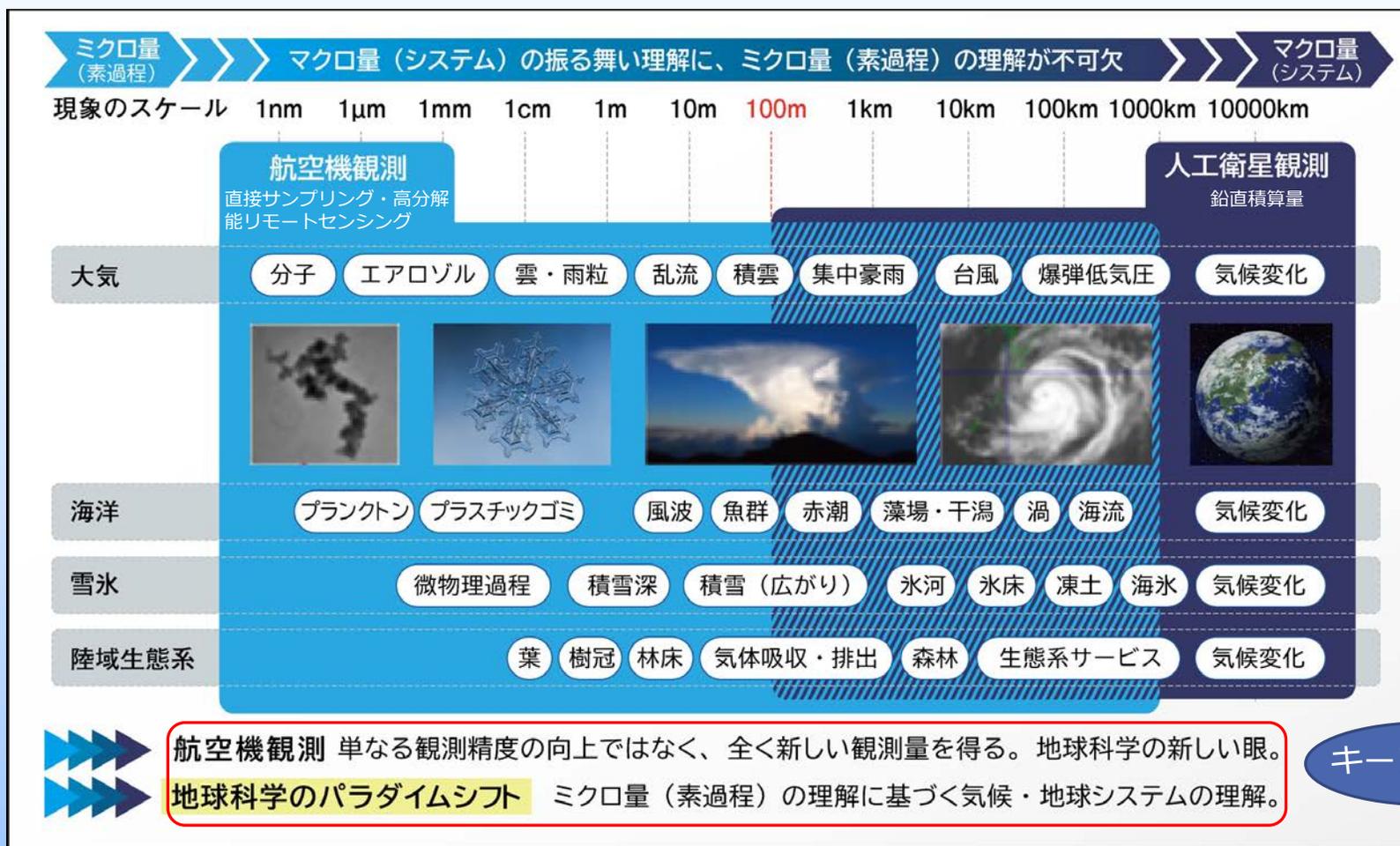
名古屋大学宇宙地球環境研究所附属飛翔体観測推進センター長

日本気象学会学術委員会航空機観測に関する検討部会長

問題意識と学術的意義

なぜ航空機観測か？

- ▶ 新たな眼としての航空機観測・・・人工衛星や地上観測では得られないマイクロ量（素過程）の理解
- ▶ 航空機は地球惑星科学の多くの分野にわたる共通インフラになり得る
- ▶ これまで、観測専用の航空機が日本には存在していない



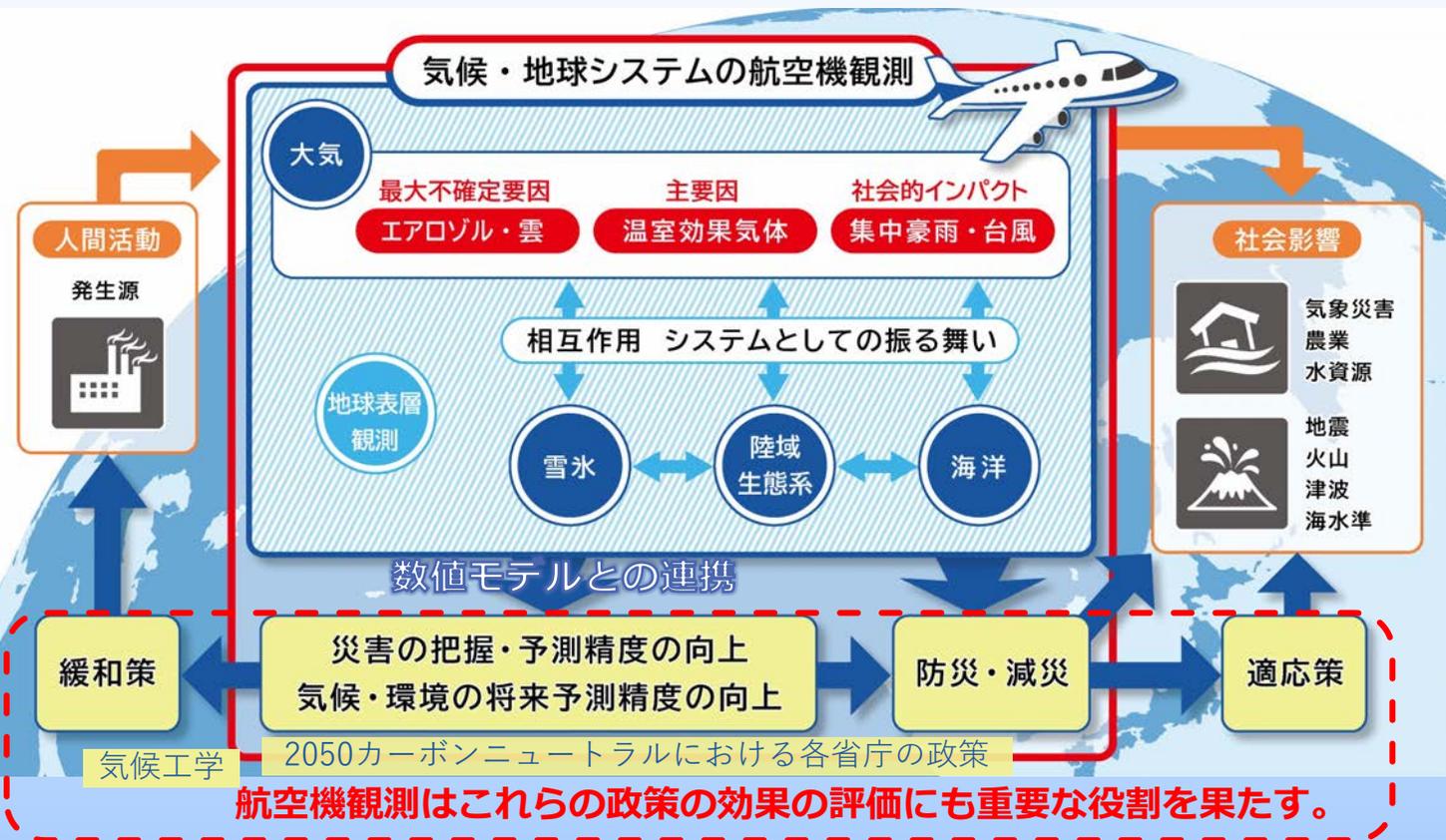
- 1) 計画の学術的意義
- 6) 社会的価値
- 8) 国家としての戦略性, 緊急性

研究の目的・意義

研究の目的

わが国初となる共同利用の地球観測専用の航空機を導入し、大気、海洋、陸域生態系、雪氷、固体地球などの地球科学分野を横断した気候・地球システム科学研究を飛躍的に推進する。

これまでの事例解析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



研究の意義

- ① **観測技術**：世界トップレベルの航空機観測技術の活用 (CO₂, O₃, エアロゾル, レーダ等)
- ② **研究**：アジア (ホットスポット) と北極域 (急激な気候・環境変動) を観測対象とできるのは日本の強み
- ③ **国際連携**：アジアの航空機観測の国際連携推進
- ④ **防災・減災**：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)
- ⑤ **航空技術**：無人航空機のさらなる応用のための研究開発
- ⑥ **人材育成**：長期ビジョンに基づく観測研究や戦略的な機器開発による若手研究者の育成

航空機の専有利用は機体改造・人材育成・機器開発・危機管理において不可欠

大気科学分野

温室効果気体・エアロゾル・降水システム

10

- ▶ 温室効果気体やエアロゾルの**立体観測**は**航空機のみ**で可能である。また、定点での連続的観測のみならず、**物質の3次元的輸送も重要な課題**となっている
 - ▶ 人為起源の排出量の監視
 - ▶ 特に気候変動の影響の大きい北極域での観測が重要
 - ▶ 人工衛星やモデル研究との橋渡し役としても重要
- ▶ **台風や線状降水帯**などの大きな被害をもたらす降水システムの理解には、**その場での大気構造の観測が不十分**
 - ▶ 台風では目や暖気核での力学的・熱力学構造の過程が未解明
 - ▶ 台風の強度予測精度の改善が課題
 - ▶ 線状降水帯の形成・強化メカニズムが解明が課題
 - ▶ メカニズムの理解による予測の改善は防災・減災に直結する

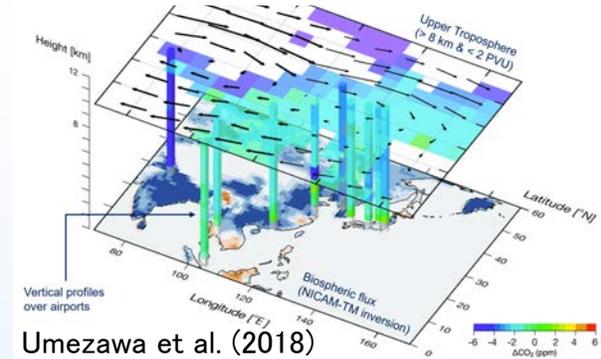
主な観測手段

サンプリング

赤外分光計

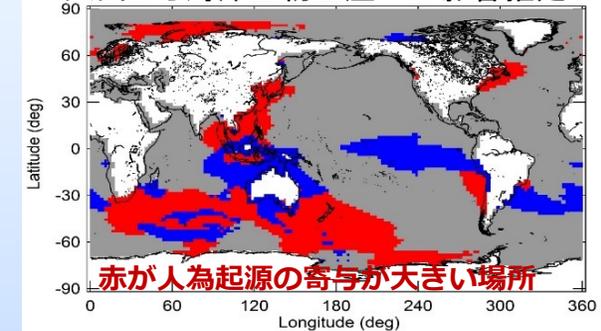
ドロップゾンデ

レーダ

アジア域のCO₂濃度3次元構造

Umezawa et al. (2018)

酸化鉄エアロゾルの観測に基づく、大気から海洋生物生産への影響推定



Moteki et al., 2017, Matsui et al., 2018

令和元年台風19による被害(テレビ朝日)



- ▶ 海洋分野では、航空機によるリモートセンシングや直接観測が期待されている。
 - ▶ 直接観測：海水温・塩分
 - ▶ リモートセンシング：赤潮・魚群・海洋ごみ、海氷
- ▶ **雪氷分野**では地上観測の困難さから航空機観測への依存度が大きい
 - ▶ 北極域では急激な変化が想定されているため、航空機による継続的な高精度観測が必要
- ▶ **陸域生態系**
 - ▶ 地上のタワー観測と人工衛星観測を結びつけるものとして必須
 - ▶ 特に、炭素循環の評価にはバイオマス量・葉量・樹高・光合成量の航空機による定量的観測が必要
- ▶ 合成開口レーダによる地球表面観測は、火山噴火や地震災害の規模の推定、津波被害の推定に大きく貢献してきた。
 - ▶ 航空機観測の機動性が重要
 - ▶ 継続的な平時データの取得も必要

主な観測手段

ATBX/AXCTD

可視・赤外放射計

合成開口レーダ

可視・赤外放射計

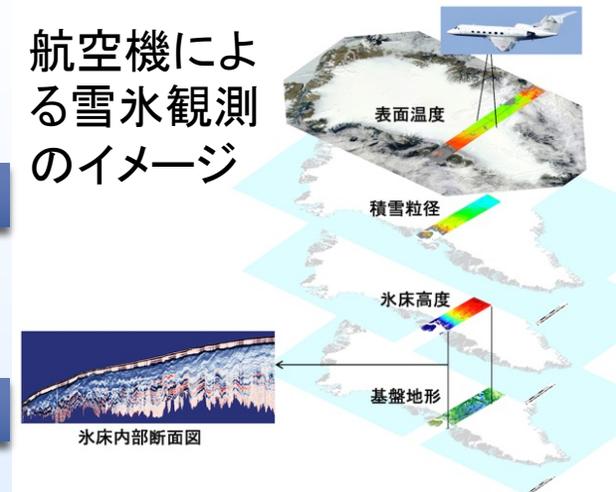
レーザ

可視・赤外放射計

レーザ

合成開口レーダ

航空機による雪氷観測のイメージ



表面温度は島田利元氏（JAXA）、氷床内部断面図は藤田秀二氏（国立極地研究所）より提供頂いた。

樹高・バイオマス

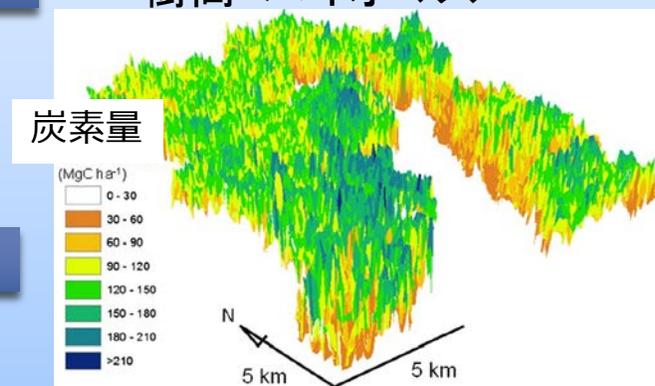


Fig. 6. Distribution of whole tree (Takagi et al. 2015)

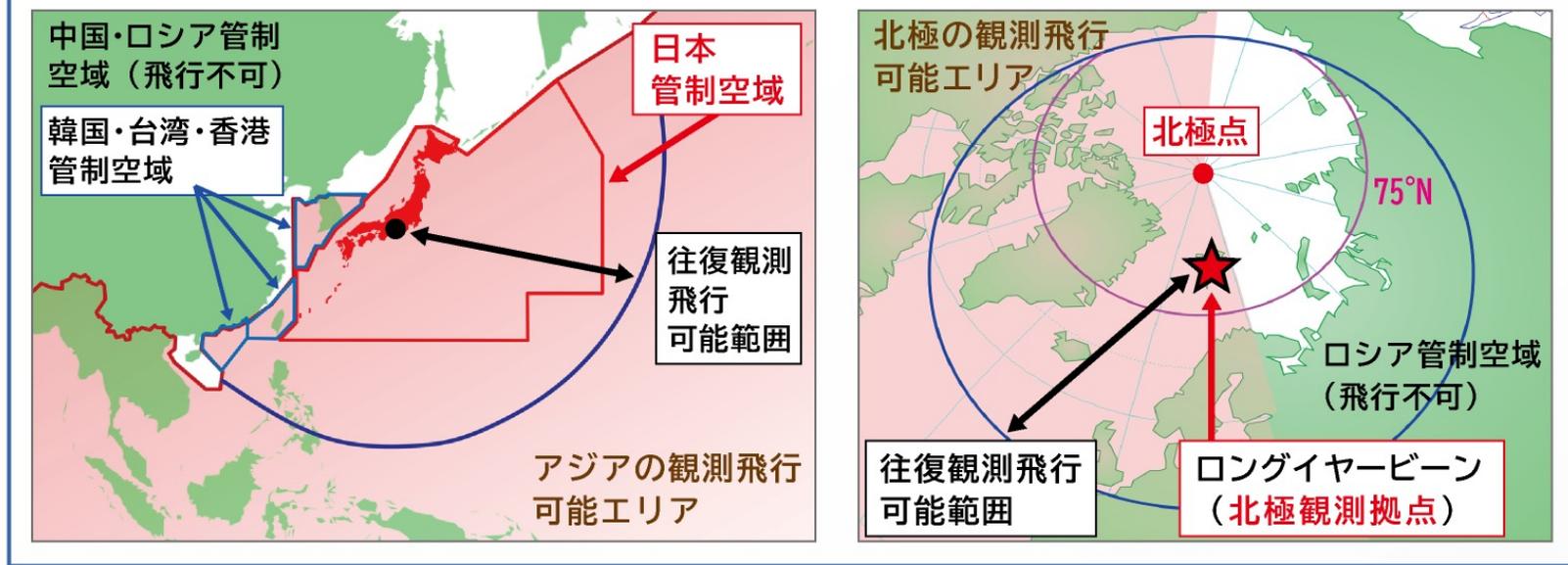
- 8) 国家としての戦略性, 緊急性
- 4) 計画の妥当性, 成熟度

航空機・観測計画

12

- ▶ ジェット機**ガルフストリームIV (G-IV)** を専有利用 (民間企業の機体をレンタル)
- ▶ 他の機体や無人機利用も支援
- ▶ アジア域、北極域をターゲット

本研究で使用する観測機 (G-IV) の観測飛行の可能エリア



G-IVの観測飛行の可能エリア

- 航続距離 6500km
- 最大飛行高度 13km



予算 10年間で155億円

航空機 (G-IV他) : リース、改造、運用	130億円
無人機利用 : 改造、運用	10億円
観測機器 : 開発、整備	10億円
諸経費 : 人件費、データベース作成など	5億円

年次計画 年間200時間のフライト

- 1-2年目 立ち上げフェーズ (機体改造、観測機器整備)
- 3-6年目 シナジー研究フェーズ (分野間連携)
- 7-10年目 統合研究フェーズ
- 随時 : 災害等に対応した機動的観測の実施

10年後には低コストでの観測継続 (無人航空機等への移行、機体共用)

- 3) 計画の実施主体の明確性
- 4) 計画の妥当性, 成熟度
- 5) 共同利用体制の充実度

実施体制

13

研究計画書

(2015年発行 2019年改訂)

24学協会の科学者および民間事業者の協力により作成 (233ページ)
日本気象学会HPで公開中
<https://www.metsoc.jp/2019/03/07/14824>

航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進
研究計画書

Promotion of Research on Climate and Earth System
Science by Advanced Aircraft Observations:
Plans for the New Aircraft Program of Japan

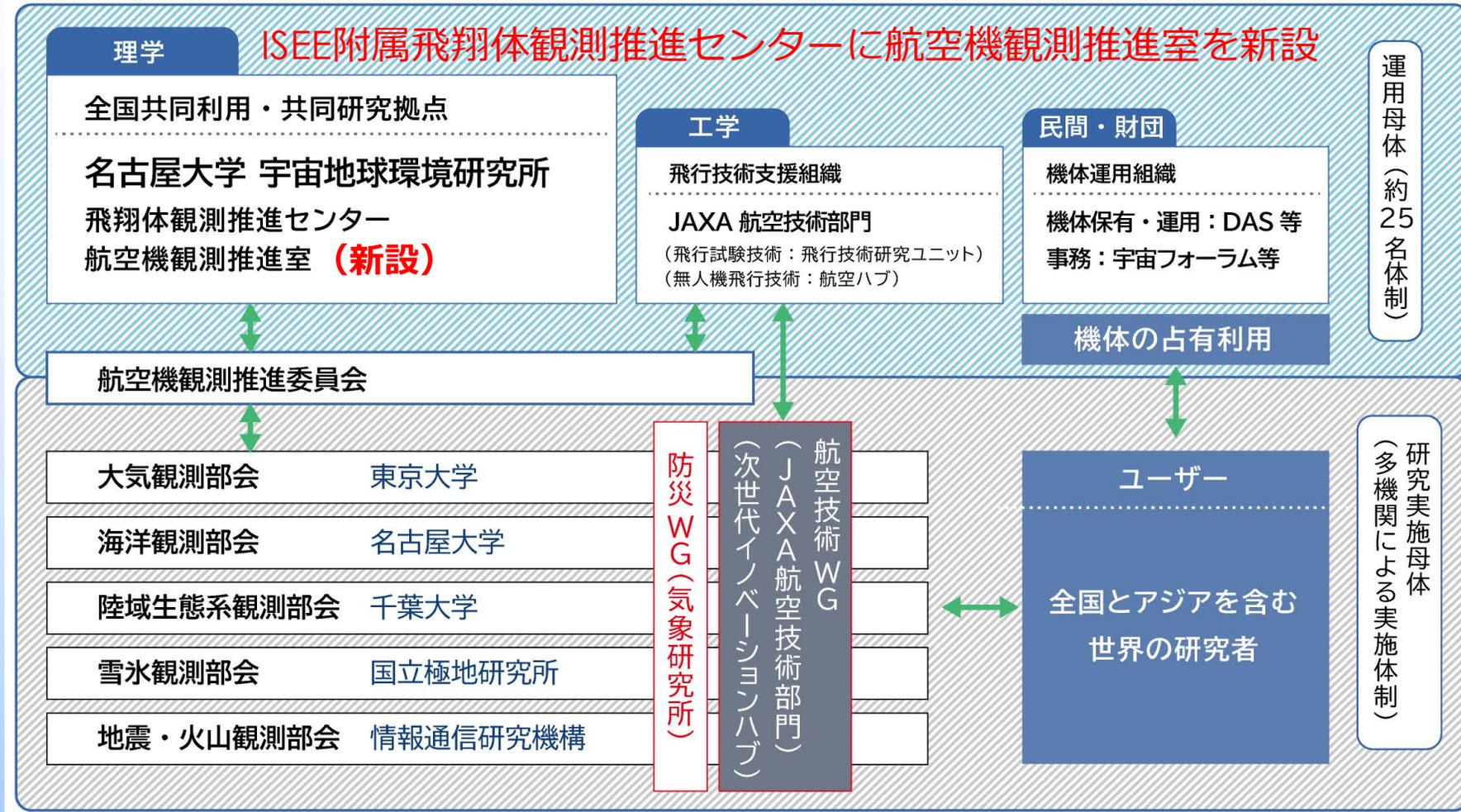
日本気象学会 学術委員会 (第39期)
航空機観測に関する検討部会

The Aircraft Observation Planning Committee
of the Meteorological Society of Japan

2019年2月11日
February 11, 2019



中核機関：名古屋大学 宇宙地球環境研究所 (ISEE) ISEEの共同利用・共同研究の枠組みを活用

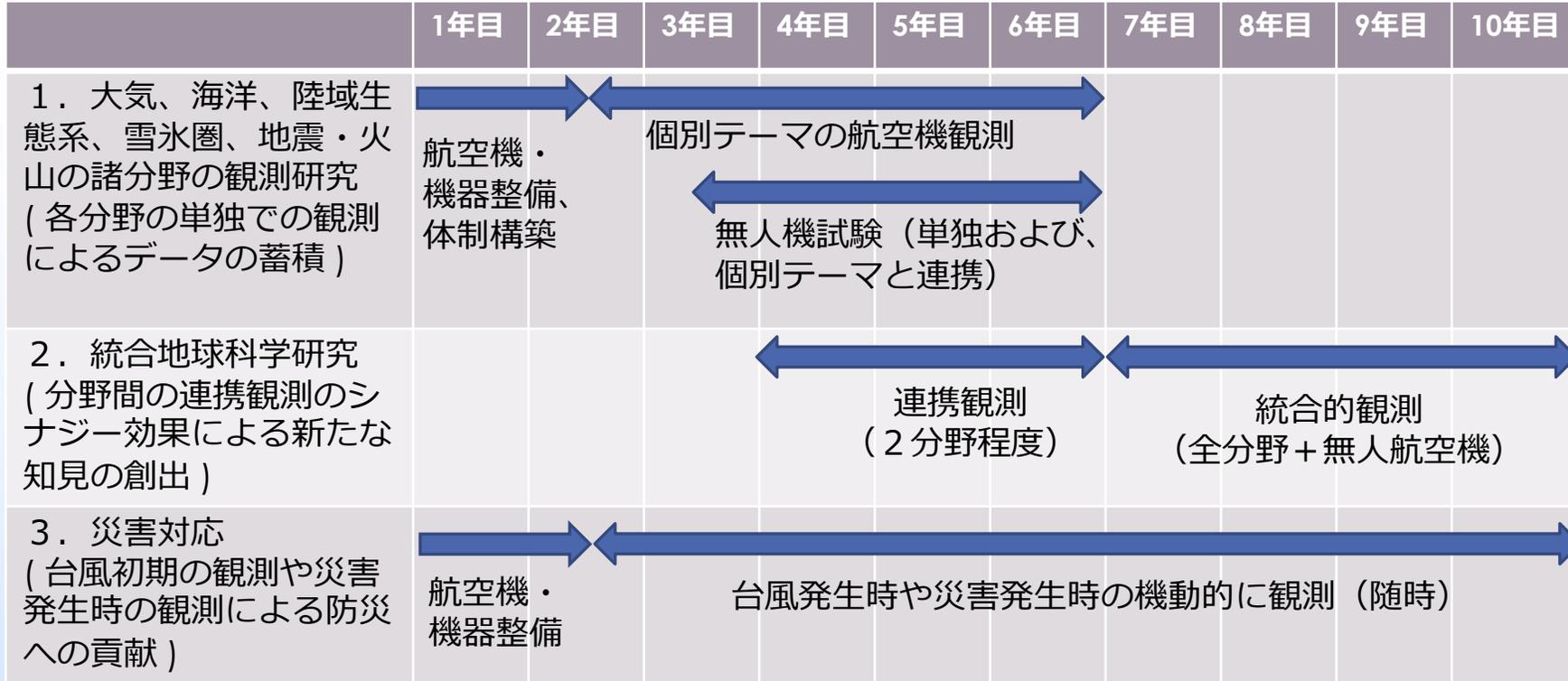


▶10年間の計画

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10年目
1. 大気、海洋、陸域生態系、雪氷圏、地震・火山の諸分野の観測研究 (各分野の単独での観測によるデータの蓄積)	航空機・機器整備、体制構築		個別テーマの航空機観測							
				無人機試験(単独および、個別テーマと連携)						
2. 統合地球科学研究 (分野間の連携観測のシナジー効果による新たな知見の創出)					連携観測(2分野程度)			統合的観測(全分野+無人航空機)		
3. 災害対応 (台風初期の観測や災害発生時の観測による防災への貢献)	航空機・機器整備									
										台風発生時や災害発生時の機動的に観測(随時)

スケジュール・人員計画

15



人員計画 航空機のリース、運用を民間事業者に委託することで効率化を図る。

		人員
観測研究	全体の事務局は名古屋大学宇宙地球環境研究所 共同研究公募に基づく研究計画の立案 航空機観測推進委員会の研究計画の立案・調整	13名 名大職員と 新規雇用
航空機運航	航空機会社への委託 ロジスティックスも民間事業者へ委託	33名

所要経費の内訳

16

(単位：億円 税込価格)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
航空機運用費										
①飛行料 (180万円×200H)		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
②機体拘束料132万円/日×(実働220日-飛行日50日)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
③修理改造費用、設計費、その他経費等	4 (初度整備)	1.2	(改修×3回)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
大規模改修 (2026年と2096年想定)						1.8			1.8	
④DAS所有機器搭載料		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
⑤衛星通信費		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
⑥観測運用計画の立案/調整/立会	0.5 (初期運用検討)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
航空機運用費合計	4.5	9.1	9.1	9.1	9.1	10.9	9.1	9.1	10.9	9.1
観測機器整備	5.0	5.0	4.0	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0
将来型無人航空機開発	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
事務局人件費	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
会議・データベース等	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
年度合計	13	17.6	16.6	14.6	15.6	16.4	14.6	15.6	16.4	14.6
プログラム合計経費	155									

台風観測 (日本へ上陸する可能性のある台風) : 5 個 × 8時間 = 40 時間
 エアロゾル観測 (アジア域、季節ごとに2フライト) : 4 × 2 × 8時間 = 64 時間
 雪氷 (極域、夏季・冬季それぞれ数日間実施) : 2 × 5 × 8時間 = 80 時間 256時間
 合成開口レーダ (リファレンスデータ作成 5フライト) : 5 × 8時間 = 40 時間
 陸域生態系 (季節ごとに1フライト) : 4 × 8時間 = 32 時間

海洋や陸域生態系の観測では低高度飛行のプロペラ機による観測も必要

マスタープラン2020提案における学協会のサポート

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

WCRP (World Climate Research Project)

世界気象機関 / 全球大気監視計画

WMO/GAW (Global Atmosphere Watch)

国際気象学・大気科学協会

IAMAS (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences)

長距離越境大気汚染タスクフォース

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

大気科学国際共同研究計画

IGAC (International Global Atmospheric Chemistry)

大気科学と地球大気汚染に関する国際委員会

iCACGP (Atmospheric Chemistry and Global Pollution)

大学

英国マンチェスター大学

University of Manchester, Center of Atmospheric Science

ソウル国立大学

Seoul National University

国立台湾大学

National Taiwan University

外国機関

米国 NASA 地球科学部門

NASA Headquarters/Earth Science Division

米国海洋大気庁 地球システム研究所

NOAA/ESRL Global Monitoring & Chemical Sciences Divisions

米国大気研究センター

NCAR MML (National Center for Atmospheric Research)

ヨーロッパ連合航空機研究機関

EUFAR (European Facility for Airborne Research)

ドイツ アルフレッド・ウェーゲナー研究所

AWI (Alfred Wegener Institute)

台湾中央気象局

Central Weather Bureau, Taiwan

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

IGAC-Japan National Committee

日本学術会議 統合陸域生態系 - 大気プロセス研究計画

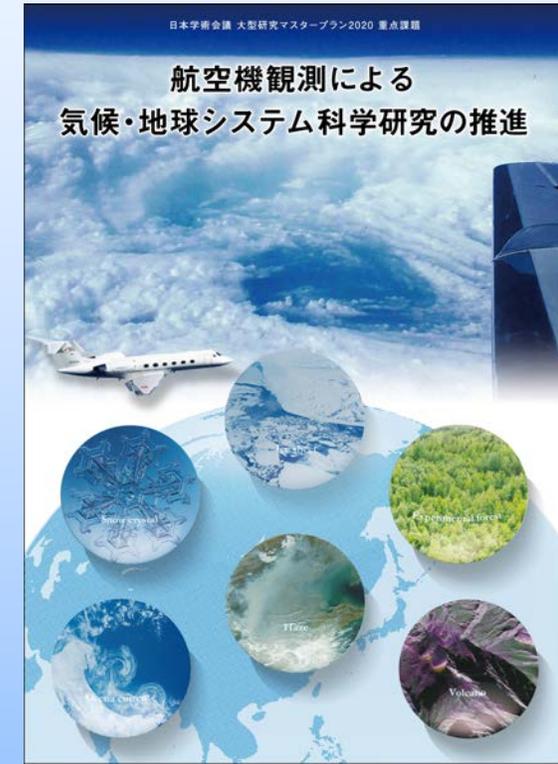
iLEAPS-Japan National Committee

社会的価値：地球科学分野全体をひとつのシステムとして統合的に理解するという共通認識

- **SDGs**：気候変動、海の豊かさ、陸の豊かさ、健康、技術革新
- **日本学術会議「夢ロードマップ」**：長期気候データの蓄積による、大気、陸、海洋の諸過程と階層構造の解明・気候予測
- 気候変動（温暖化問題）への貢献：気候の将来予測精度向上と **緩和・適応策**への貢献
- 災害予測精度向上と **防災・減災**への貢献

- ▶ 名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) の活動
 - ▶ 文科省ロードマップ2020 不採択
 - ▶ 附属飛翔体観測推進センターの下に**航空機観測推進室を新設** (R3.4~)
 - ▶ 特任助教の新規雇用
 - ▶ 宇宙地球環境研究所の**第4期計画の概算要求に航空機観測の共同利用を要求**
 - ▶ まず、ドロップゾンデ観測の実施を要求
- ▶ 広報活動
 - ▶ **マスタープラン2020のパンフレット制作**
 - ▶ 航空機観測推進室の主催でのセミナーシリーズを計画中
- ▶ 外部資金獲得
 - ▶ 2021年度科研費基盤研究S (名大 坪木) 申請中
 - ▶ 内閣府ムーンショットプログラム提案 (横国大 筆保) 申請中
 - ▶ 国交省交通運輸技術開発推進制度 (琉球大 伊藤) 申請中
 - ▶ 2022年度科研費 (準備中)

台風LANの目のドロップゾンデ観測 (2017年10月)



まとめ（評価の観点との対応）

計画の学術的意義	研究者コミュニティの合意	計画の実施主体	計画の妥当性・成熟度	共同利用体制
<ul style="list-style-type: none"> 様々な物理・化学のミクロ量の観測による地球科学のパラダイムシフト 航空機観測は地球科学を横断する新分野創生が可能 最先端の無人機を地球観測に投入し、理工両分野の相乗的な開発・研究 観測空白域のアジアや北極域を対象とし、日本主導の国際共同研究を推進 	<p>マスタープラン提案</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本気象学会 日本大気化学会 日本航空宇宙学会 <p>正式連携学会</p> <ul style="list-style-type: none"> JpGU(大気水圏科学セクション)等の12の学協会 <p>研究計画書作成(2015/19)</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内24の学協会の研究者と事業者の協力 <p>サポートレター</p> <ul style="list-style-type: none"> 気象庁、NASA等の世界15の国際組織・研究機関 	<p>中核機関</p> <ul style="list-style-type: none"> 名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) 共同利用・共同研究拠点 航空機観測推進室を新設 <p>航空機観測推進委員会</p> <ul style="list-style-type: none"> 大気、海洋、陸域生態系、雪氷、地震・火山分野の観測部会 横断型の防災WGと航空機技術WG 国内の大学・研究機関の参画 	<p>スケジュール</p> <ul style="list-style-type: none"> 1年半：航空機整備と共同利用体制の構築 4年半：個別分野研究 4年間：統合的な研究 災害対応観測は随時 <p>航空機のリース</p> <ul style="list-style-type: none"> 予算と人的資源を効率化 責任分界の明確化 <p>10年後を見据えた計画</p> <ul style="list-style-type: none"> 無人機による地球観測技術開発と移行 	<ul style="list-style-type: none"> 名古屋大学ISEEの共同利用・共同研究の枠組みを活用 航空機観測推進委員会の設置 地球科学観測のために共同利用研究船を過去50年以上にわたって運用している東京大学大気海洋研究所のシステムのノウハウを活用

社会的価値（国民の理解，知的価値，経済的・産業的価値）	大型研究計画としての適否	国家としての戦略性・緊急性
<p>激甚化する台風・豪雨災害</p> <ul style="list-style-type: none"> 経済損失の軽減 <p>越境大気汚染問題の解決</p> <ul style="list-style-type: none"> 国民の健康 <p>地球温暖化問題</p> <ul style="list-style-type: none"> 持続的な社会（SDGs）3, 9, 13, 14, 15 	<p>10年間で155億円の予算規模</p> <p>新たな「眼」の長期継続観測による新しい科学的知見・発見</p> <p>低コスト化への道筋で大型研究に頼らない研究の推進</p>	<p>最先端の観測機器の開発をリード</p> <ul style="list-style-type: none"> 温室効果気体/オゾン・窒素酸化物/エアロゾル/雲・降水レーダ <p>観測の空白域のアジア域をターゲット</p> <p>国際共同観測の推進</p> <p>早急に解決すべき社会的課題</p> <p>地球温暖化問題/激甚化する台風・豪雨災害/越境大気汚染/第3期海洋基本計画における北極政策</p>

参考資料

日本気象学会 「航空機観測による気候・地球システム科学研究の推進 研究計画書」

<https://www.metsoc.jp/default/wp-content/uploads/2015/10/1eb0dc5d7ff364599db9d8d921296ccc.pdf>

ISEE 「航空機観測パンフレット」 (暫定版)

https://coso.isee.nagoya-u.ac.jp/aioo/img/pdf/data_0624PM-small.pdf
次スライド～

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ています。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。

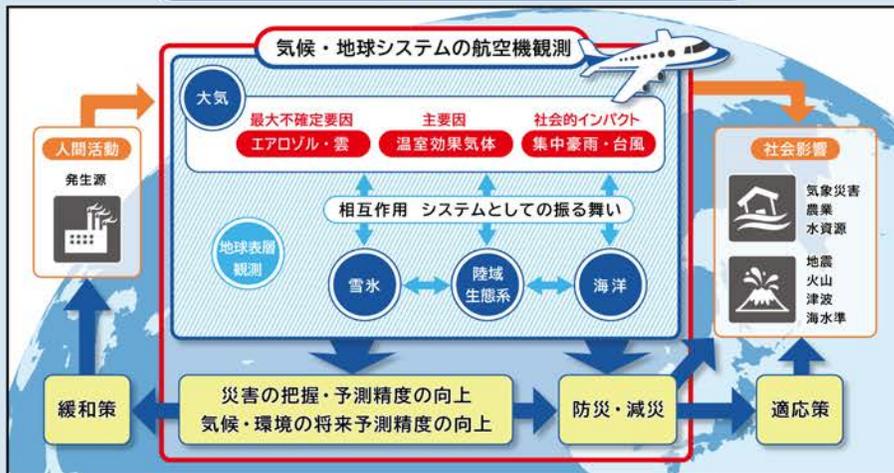
本計画では特に、人為的な環境変化が急激に顕在化しているにも関わらず、航空機観測の空白域となっているアジアと北極に重点をおいた観測研究をアジア諸国との研究交流を進めながら展開し、得られた科学的知見の提供により国際的な適応・緩和策の施策に貢献します。また国内の台風・集中豪雨の予測精度向上、それらに伴う災害や地震・火山などの災害状況の把握の迅速化により、我が国の防災・減災に貢献します。これらの研究により、人材を育てるとともにSDGsへの貢献、すなわち地球科学の社会的な使命を果たします。

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



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

本研究で使用する観測機(G-IV)の観測飛行の可能エリア

中国・ロシア管制空域(飛行不可) / 日本管制空域 / 韓国・台湾・香港管制空域 / アジアの観測飛行可能エリア

北極の観測飛行可能エリア / ロシア管制空域(飛行不可) / ロングイーヤービーン(北極観測拠点) / 往復観測飛行可能範囲

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

想定される搭載機 合成開口レーダ、雲・降水レーダ・ライダー(上向きと下向き、ドップラー機能付き)、地表面・海面高度計、ドロッポンデ投下口、雲プロブ、風の3成分測定プロブ、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に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

台風を中心気圧は、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真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。



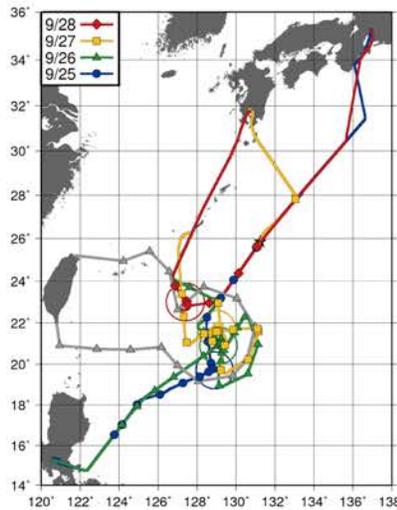
台風 Trami 観測時のドロップゾンデ投下の様子。

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

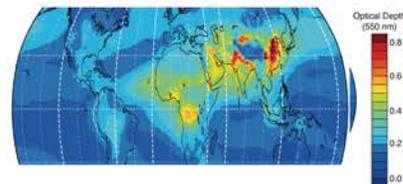
- ▶ スーパー台風などの非常に強い台風の中心気圧や最大風速の正確なデータ取得による台風研究の発展に寄与。
- ▶ 台風の内部コアおよび眼の暖気核の力学的・熱力学構造の解明。
- ▶ 地球温暖化に伴う台風の変動の研究に信頼できるデータを提供。
- ▶ 台風の強度や進路の予測の改善による台風防災への貢献。
- ▶ 線状降水帯などの豪雨の予測精度向上による豪雨災害軽減への貢献。
- ▶ 台風の国際共同観測への貢献。



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)

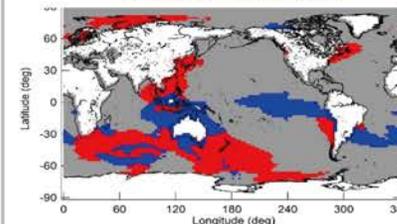


アジアはエアロゾル濃度が高いホットスポットです。しかし、人工衛星観測では、白いエアロゾル (地球を冷却) と黒いエアロゾル (地球を加熱) の判別ができません。エアロゾルの化学組成 (色) などのミクロ量と、その高度分布は、航空機でのみ観測可能です。日本は、nm から mm の個別粒子の化学組成・物理特性の測定技術などの先端的な航空機観測技術を開発してきました。そしてエアロゾルを介して、海洋生物生産に大きな人為的影響があることなどを発見してきました。

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)



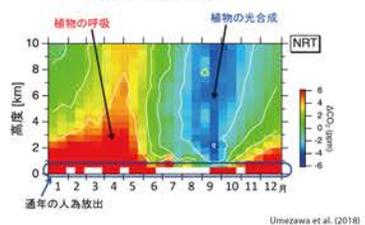
本研究では、エアロゾルと雲の実態把握と変動メカニズム研究を推進し、気候変動の実態把握を目指します。

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)

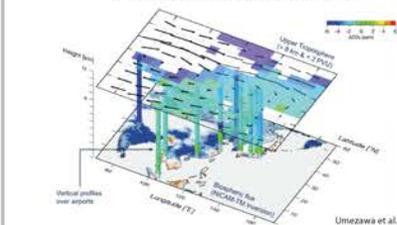
大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度は植物の呼吸と光合成の影響を強く受けて季節変動をしますが、変動の特徴は高度によって大きく違っています。このような詳細な鉛直分布を精度良く明らかにできるのは航空機観測だけであり、地表面での放出量や吸収量を知るための有効な情報となります。

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



Umezawa et al. (2018)

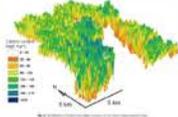
CO₂ を含む大気の成分は3次元的に広がっており、常に風によって輸送されています。日本での濃度変動の原因を知るにはアジアスケールでの広域における3次元構造を知る必要がありますので、長距離を自由に飛行できる航空機はこれを実現するための唯一の観測手段です。このような観測は、「大気輸送」の理解にも大きく役立ちます。アジアからの汚染物質の輸送経路、アジアモンスーンによる大規模な鉛直輸送、上空大気の太平洋への吹き出しや成層圏への影響など、気象学分野への貢献も期待されます。

期待される効果

- ▶ 森林や海洋などの自然起源放出強度の分布把握
- ▶ 人為排出削減効果の監視

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す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。

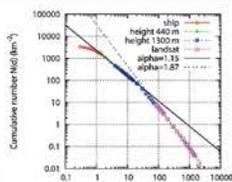


航空機ライダーで観測した天塩研究林における地上部バイオマス量の空間分布 (Takagi et al., 2015)

- 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

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。海水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。



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

- AXBT: Airborne EXpendable BathyThermograph
AXCTD: Airborne Expendable Conductivity-Temperature-Depth
- 観測例**
- 合成開口レーダによる水雲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水・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

雪氷

雪氷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ことが期待されます。

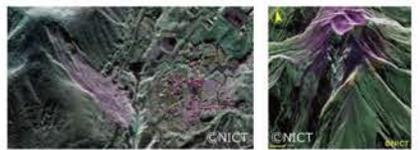


提供: 藤田利元氏 (JAXA 氷雪温度観測主任) 藤田利元氏 (国立極地研究所) 水床内部断面図

- 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
 - アイスレーダーやマイクロ波放射計による水体内部構造・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・氷河・氷床のエネルギー収支、大気-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

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、フルポリラ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阿蘇の斜面崩壊の様子 (熊本地震の本震翌日に観測)

- 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



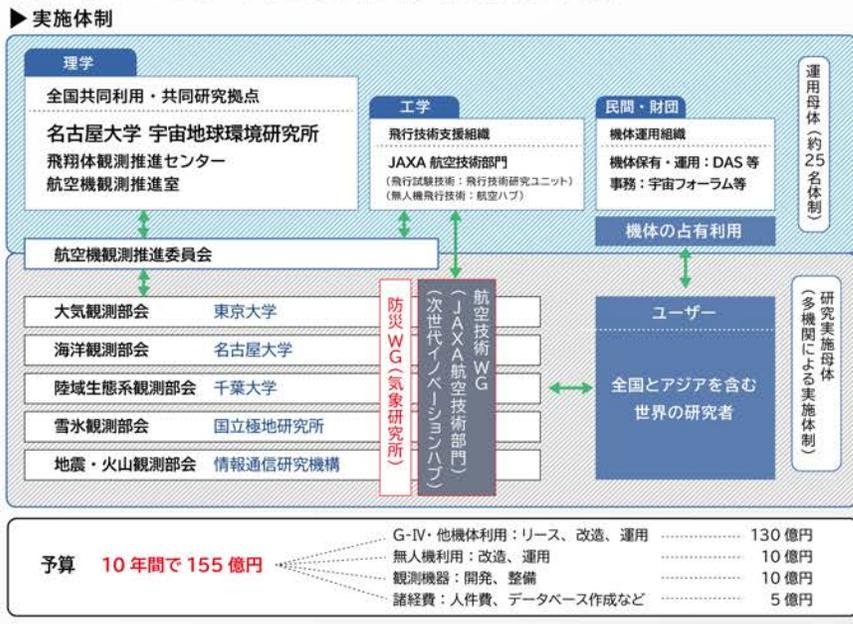
長期間の高頻度・機動的観測の実現 (観測時間 30 時間 / 年 → 200 時間 / 年)

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。



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

WCRP (World Climate Research Project)
WMO/GAW (Global Atmosphere Watch)
IAMAS (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences)
TF HTAP (Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution)
IGAC (International Global Atmospheric Chemistry)
iCACGP (Atmospheric Chemistry and Global Pollution)

大学

英国マンチェスター大学
ソウル国立大学
国立台湾大学

University of Manchester, Center of Atmospheric Science
Seoul National University
National Taiwan University

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

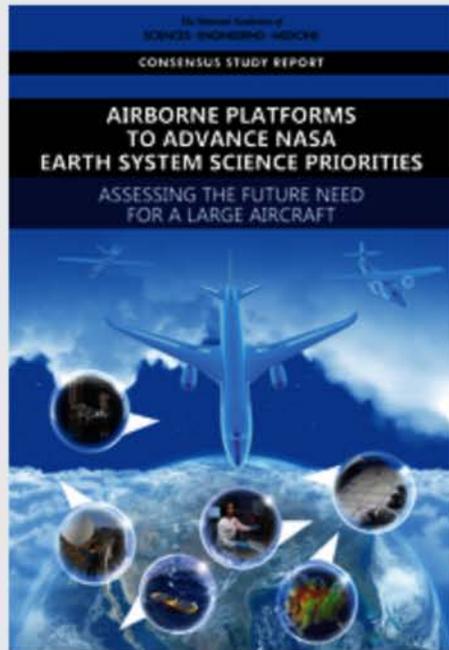
NASA Headquarters/Earth Science Division
NOAA/ESRL Global Monitoring & Chemical Sciences Divisions
NCAR MML (National Center for Atmospheric Research)
EUFAR (European Facility for Airborne Research)
AWI (Alfred Wegener Institute)
Central Weather Bureau, Taiwan

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

IGAC Japan National Committee
iLEAPS Japan National Committee

米国 National Academiesにおける Decadal Surveyに 関連したと将来の大型航空機観測に関する検討の紹介



Airborne Platforms to Advance NASA Earth System Science Priorities: Assessing the Future Need for a Large Aircraft (2021)

DETAILS

186 pages | 7 x 10 | PAPERBACK

ISBN 978-0-309-30603-4 | DOI 10.17226/26079

<https://www.nap.edu/read/26079/chapter/1>
からダウンロード可能

Contents

Summary	1
1 Introduction	11
1.1 Background Context.....	11
1.2 Committee’s Task.....	11
1.3 Report Blueprint.....	13
2 Setting the Stage: The Role of Airborne Platforms in Earth System Science	15
<u>2.1 Future of Earth System Science</u>	15
<u>2.2 Integrated Earth System Science Research.....</u>	16
<u>2.3 Role of Airborne Observation Component</u>	17
2.4 A Synopsis of the Current Airborne Fleet	19
2.4a Aircraft	19
2.4b UAS.....	20
2.4c Balloons	21
2.4d Aircraft from Other Countries.....	22
2.4e Airborne Research Using Many Platforms	23
2.5 Evolution of Instrumentation for Airborne Science.....	23
2.5a NASA Facility Instruments.....	23
2.5b Other Instrumentation and Some Common Applications	26
2.5c Deployable Instruments	27
2.5d Miniaturization	27

3 The DC-8 Airborne Research Platform	29
3.1 Historic Role of Long-Range, Heavy-Lift Aircraft.....	29
3.2 NASA DC-8 Specifications.....	30
3.3 Comparisons of the NASA DC-8 with Other Research Aircraft	35
3.4 NASA DC-8 Historic Usage.....	38
3.4a Characteristic Statistics	38
3.4b Hours per Application	38
3.5 Characteristics of a Future Large Aircraft	42
3.6 Candidates for a Future Large Aircraft.....	44
4 The Role of Airborne Platforms in Addressing Emerging Science.....	47
<u>4.1 Priority Science and Applications Areas in ESAS</u>	<u>49</u>
4.1a Coupling of the Water and Energy Cycles.....	49
4.1b Physics and Dynamics for Improving Weather Forecasts.....	55
4.1c Air Quality and Atmospheric Chemistry—Chemistry Coupled to Dynamics.....	62
4.1d Ecosystem Change—Land and Ocean.....	74
4.1e Sea level Rise in a Changing Climate and Coastal Impacts	82
4.1f Surface Dynamics, Geological Hazards, and Disasters	87
<u>4.2 Providing Capacity for Expanding Future Earth System Research Needs.....</u>	<u>93</u>
4.2a Integrating Themes in Earth System Science	93
4.2b Large Aircraft in Interdisciplinary Earth System Science	93
4.2c Providing Capacity for the Unexpected.....	100

<u>5 Workforce Training and Development</u>	103
5.1 Recruiting Undergraduates	103
5.2 Training Graduate Students and Postdocs.....	104
5.3 Mentoring Early Career Scientists.....	106
5.3a Outreach to K-12 Students and the Public.....	107
5.5 Developing a culture of Diversity, Equity, and Inclusion	108
5.6 Fostering International Research Capacity	109
6 Recommendations for the Future Need of a Large Aircraft	111
References	119
Appendix A: Committee Member Biographies	139
Appendix B: Statement of Task	147
Appendix C: Acronyms	149
Appendix D: 2017 Earth Science and Applications from Space Decadal Survey Table 3.2	153
Appendix E: Atmospheric Chemistry Detailed Measurements	165

2.1 Future of Earth System Science

- ▶ It emphasizes that ***Earth is a dynamic planet on which the interconnected atmosphere, ocean, land, and ice interact across a range of spatial and temporal scales, irrespective of geographic, political, or disciplinary boundaries.***
- ▶ 地球はダイナミックな惑星であり、大気、海洋、陸地、氷が、(地理的、政治的、学問的な境界に関係なく)、さまざまな空間的、時間的スケールで相互に影響し合っている。
- ▶ **将来の方向性**は、上記の要素からなる地球システム全体や要素間をつなぐプロセス、ある要素の変化に対する他の要素の感度などの理解を深めること。
- ▶ 地球システムへの理解が深まり、より広範な観測が可能になったことで **社会的・経済的な意思決定に利用**されるようになった。ニーズの拡大・複雑化により、地球システムの観測・研究もそのニーズを満たすための進展が必要である。
- ▶ **取り組むべき課題**：大気汚染リスクの管理、水質管理、食糧安全保障、極端気象の予測性改善（激しい嵐、竜巻、ハリケーン、冬の嵐、森林火災など）、地球規模での土地や海洋の健全性や生産性の測定、海面上昇によるリスクの評価、大規模な地質災害の予測と、地質災害が地球システムや社会に与える影響の研究

2.2 INTEGRATED EARTH SYSTEM SCIENCE RESEARCH

31



Figure 2.1 Conceptual diagram of integrated Earth system science research. The system includes numerous spaceborne observations from satellites and the International Space Station; airborne observations from piloted aircraft, uncrewed airborne systems, and balloons; surface and subsurface observations for land and water as well as remote sensing from the surface; controlled laboratory experiments; and computer models for Earth system simulation.

- ▶ Because Earth is a complex, interconnected system, Earth system science research has developed an array of tools to understand it and its processes.
 - ▶ 地球は複雑に絡み合ったシステムであるため、地球システム科学研究では、地球とそのプロセスを理解するための様々なツールを開発してきました。
 - ▶ 人工衛星・航空機・地上・地下観測、数値モデル、実験室での研究
- ▶ 衛星観測：局所～地球規模の観測
 - ▶ 突発的な極端現象の観測（火山、山火事、オゾンホール）
 - ▶ モデルの改良
- ▶ 航空機観測：衛星観測の補完、機動的な災害の観測

2.3 ROLE OF AIRBORNE OBSERVATION COMPONENT

32

- ▶ 航空機観測は、現象の時空間スケールをカバーできる利点がある。
 - ▶ 最も短い時間スケールにより観測要求が決まってくる。
 - ▶ 大気化学・物理・力学：秒単位から分単位
 - ▶ 環境変動：数時間以上
 - ▶ 地表面物理、海面上昇、水・エネルギー循環：時間単位から日単位以上
- ▶ 大気研究では、大型プラットフォームによる分単位・多数の測器による同時観測が必要
- ▶ 地表面観測は時間スケールが長いいため、小型航空機での測器を変えて複数回観測することも可
- ▶ その場観測・・・大気力学、気象、大気成分に必要であり、必要な時空間分解能+鉛直プロファイルの観測ができ、多数の大気成分、エアロゾルの化学・微物理過程、大気フラックスの観測。雷雲などの観測は、その場観測が難しいためリモートセンシングを用いる。
- ▶ 衛星観測と比較すると、機動性・高い時空間分解能がある
- ▶ 航空機観測は衛星の機器開発・校正・試験に必要なだけでなく、衛星の観測間のギャップを埋めることも可能

米国の観測航空機

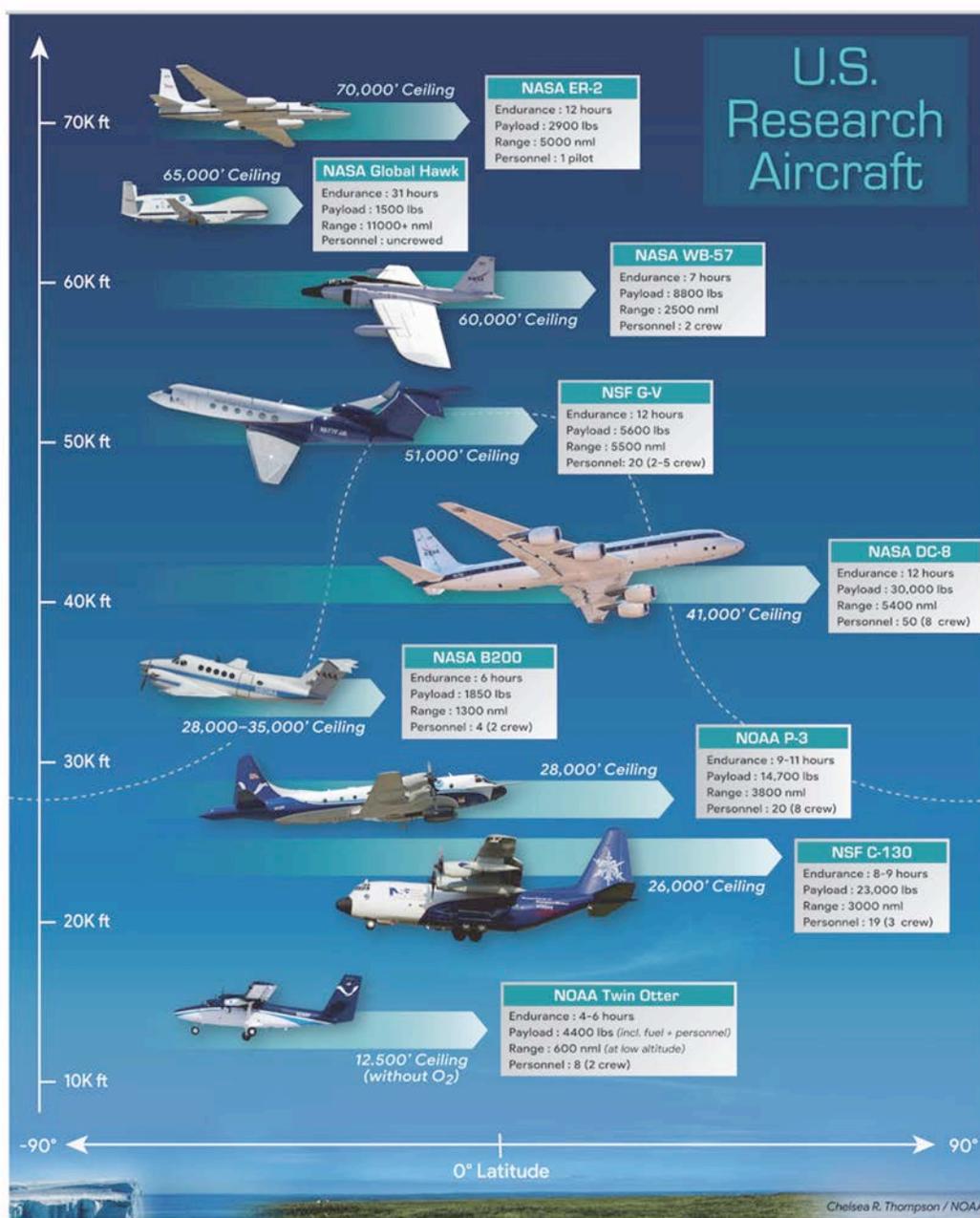


Figure 3.7 Principal U.S. research aircraft with nominal performance specifications shown in order of maximum operating altitude vertically and nominal payload horizontally. The dashed line illustrates the approximate tropopause dependence on latitude. The U.S. and international fleet of research aircraft is far larger than shown here (see Section 2.4) (NASA Airborne Science Program, 2017). SOURCE: Chelsea Thompson, NOAA.

4 The Role of Airborne Platforms in Addressing Emerging Science

航空機（UAVやバルーン観測を含む）の観測が必要な重点科学分野

- a. 水循環とエネルギー循環の結合
- b. 気象予測を改善するための物理学と力学
- c. 大気の質と大気化学-化学と力学の結合
- d. 陸と海の生態系の変化
- e. 気候変動下での海面上昇と沿岸の影響
- f. 地表の力学、地質災害、災害

4.1a Coupling of the Water and Energy Cycles

35

- ▶ **水とエネルギーの循環**は、**地球システムダイナミクスの中核をなすプロセス**です。水はある状態から別の状態へ（蒸気、液体、固体）、またある貯蔵から別の貯蔵（海洋、雲、土壌水分、地下水、植生、表層水、雪、氷河）へと、熱力学的に連続的に変化する（熱力学的プロセス（昇華、蒸発、融雪など）と輸送プロセス（浸透、河川、大気循環など）を介して）（図4.1）。水とエネルギーの循環を理解するためには、**大気のプロセスや放射特性によって変化する短波や長波のエネルギーも定量化して理解**する必要があります。
- ▶ **大気科学**は水の状態、貯蔵、流れ、そしてこれらの変化に関わるエネルギーを定量化するための基本的な役割を果たしています。定量化するための基本的な役割を担っています。
- ▶ **航空機による観測**は、水・エネルギー循環の**重要な変数とプロセスの観測**に貢献しています。また、**機器開発のテストベッド**としての役割を果たし、**アルゴリズムのテスト**や**衛星の校正・検証（Cal-Val）**をサポートしています。

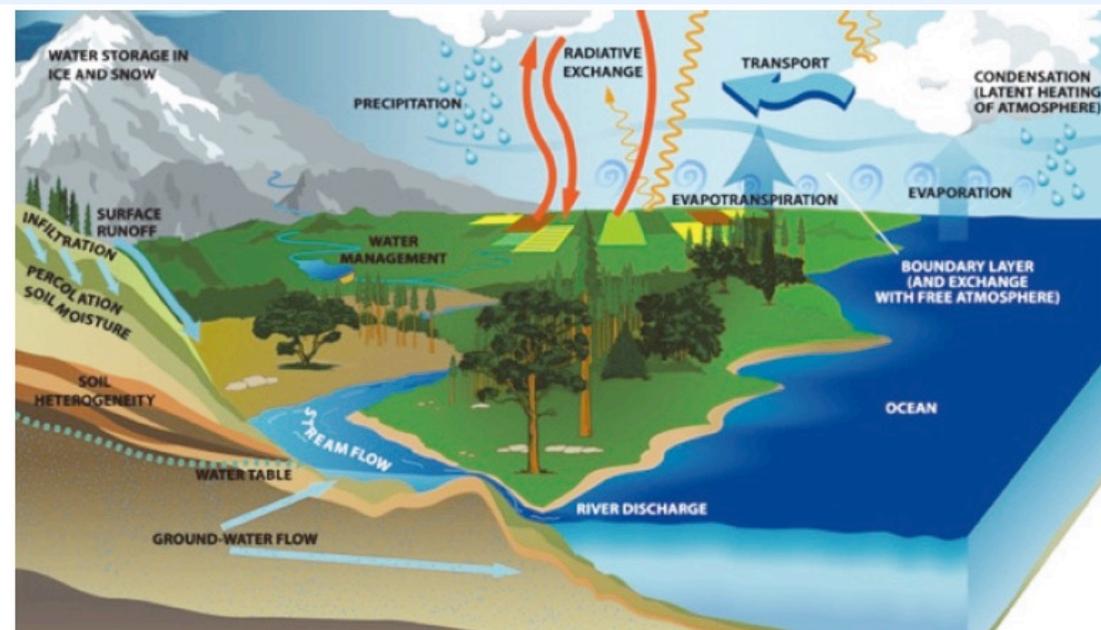


Figure 4.1 Illustration showing key elements of the coupled water and energy cycles. SOURCE: <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/documents?title=Water%20%26%20Energy%20Cycles>.

4.1b Physics and Dynamics for Improving Weather Forecasts

36

- ▶ **気象・気候モデルの改善**に必要なのは大気中で発生している物理的・力学的プロセスをより深く理解すること、すなわち、以下のことの理解が不可欠
 - ▶ **大気と陸・海・海氷面との相互作用**
 - ▶ 太陽からの**放射**、その**潜熱や輻射熱**の放出を通じた再配分
 - ▶ 地表面—惑星境界層 (PBL) 間やPBL—自由大気間の**質量、運動量、エネルギー交換**
 - ▶ **対流システム**と周辺環境との相互作用や雲の微物理過程
 - ▶ **大気成分と放射線**との相互作用
- ▶ **水の相変化を伴う対流プロセス**は気象や気候に対するインパクトが最も大きい。
 - ▶ 対流の組織化と大規模な気象システムとの結合を理解することが天気予報の信頼度を2週間以上に拡張するための鍵となる。
- ▶ **雲と大気循環の相互作用**の理解は、地球気候の将来的な変化予測にも不可欠
 - ▶ PBL内で他の構成要素と相互作用する**低層雲**
 - ▶ 対流圏の上部に質量、運動量、エネルギーを効果的に分配する**深い対流雲**
 - ▶ 水の相変化、雲と太陽放射や赤外線放射との相互作用などの、雲微物理学、雲力学、放射、大気循環の複雑な関係性の理解。
- ▶ **航空機観測の役割**
 - ▶ PBL、自由対流圏、大気-海洋フラックス、雲、エアロゾル、対流特性、放射特性の統合観測
 - ▶ 宇宙からの観測の補完と検証。宇宙からの観測と地上からの観測をつなぐ役割
 - ▶ 陸上、雪上、氷上での観測や地上からの大気観測の検証プラットフォーム
 - ▶ 気候モデルにデータを提供

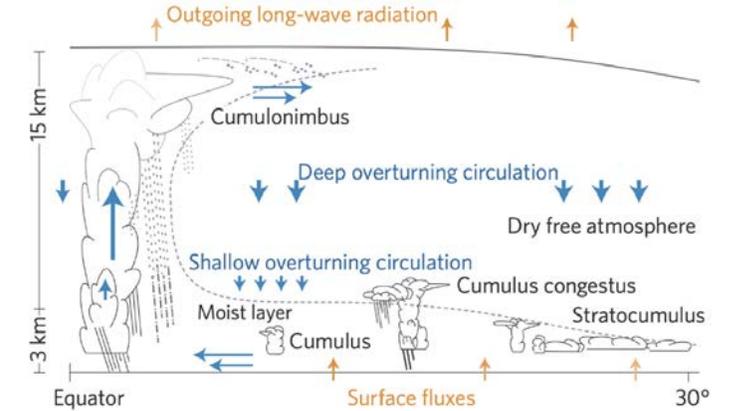


Figure 4.2 Interaction of clouds, circulation, surface energy exchange and radiative processes. SOURCE: After Bony et al. (2015).

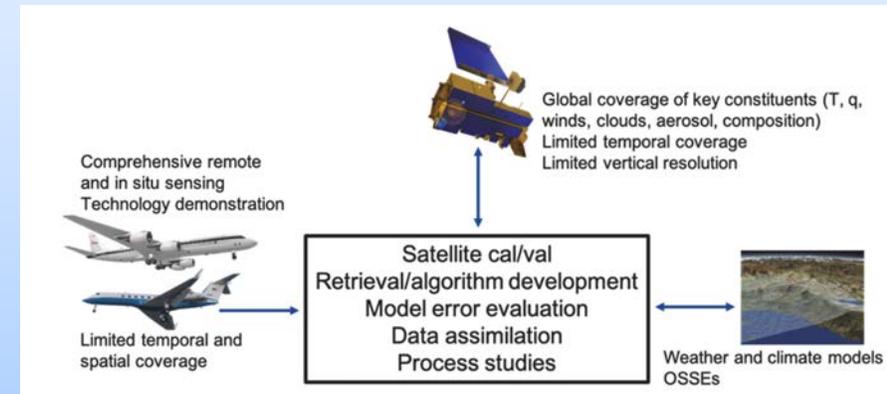


Figure 4.3 Schematic representation of the integrated observing system for physics and dynamics of weather. Observing System Simulation Experiments (OSSEs) are used for assessing potential data impacts and developing observing systems. T represents temperature and q represents water vapor. SOURCE: Amin Nehrir, workshop presentation.

4.1c Air Quality and Atmospheric Chemistry— Chemistry Coupled to Dynamics

37

- ▶ **大気の組成の人為的な活動による急速な変化**
 - ▶ 経済発展、エネルギー利用、農業、土地利用、等
 - ▶ 大気質、成層圏オゾン、気候、生態系の動態とのフィードバック（例：森林火災、北極圏永久凍土の融解）へ影響
- ▶ **大気組成の変化とその地球システムへの影響を地域スケールから地球スケールまで理解する必要**
 - ▶ 空間と時間に同居する多数の変数（多種多様な大気成分・物質）とその化学過程、排出、輸送など測定が必要。
- ▶ 陸域、海洋、雪氷圏の観測と異なり、大気では、移動速度が非常に速いことを考慮する必要
- ▶ **航空機観測**には、対流圏および下部成層圏の一部において、**大気全体**を詳細に**その場で観測**することが求められている。
 - ▶ **衛星観測とコンピュータモデルを組み合わせ**による相互補完

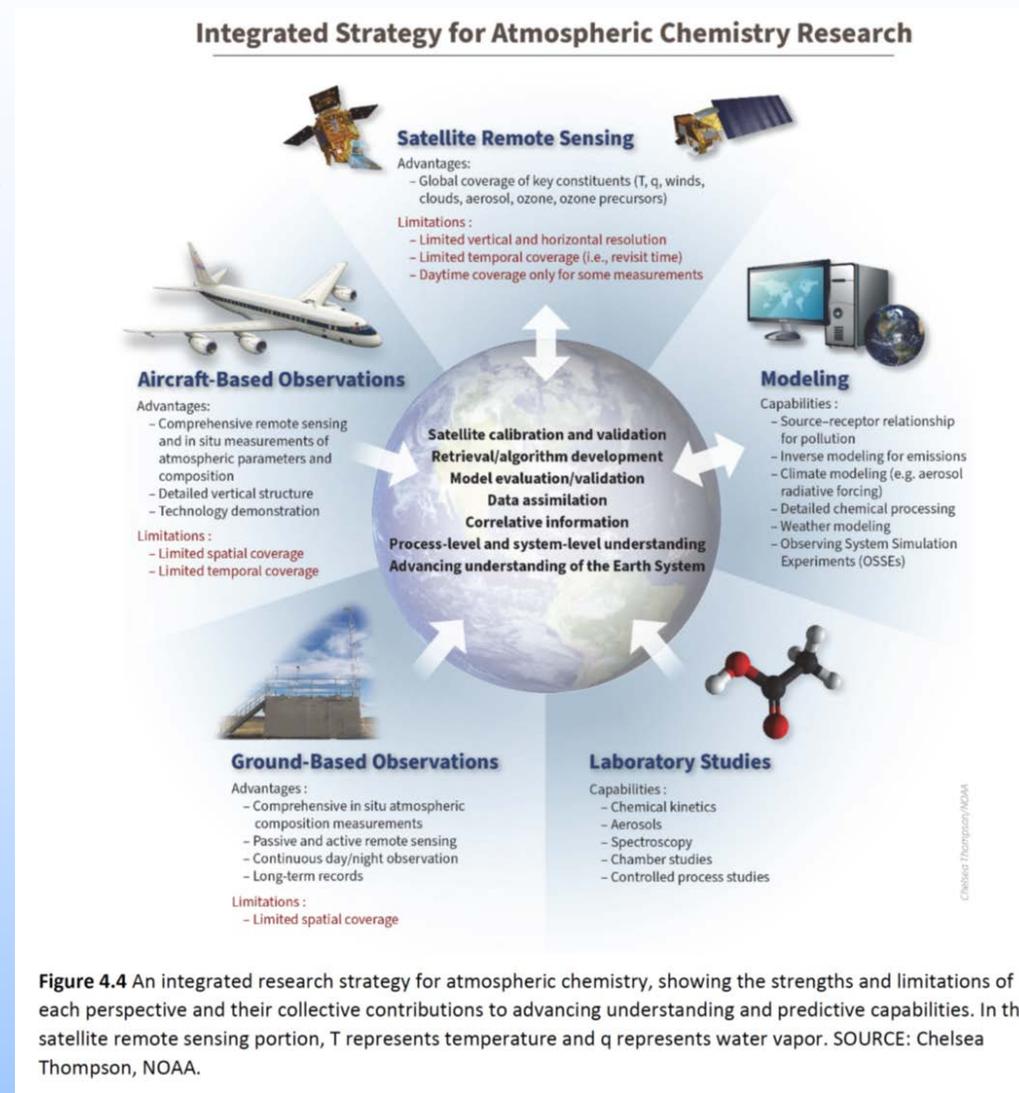


Figure 4.4 An integrated research strategy for atmospheric chemistry, showing the strengths and limitations of each perspective and their collective contributions to advancing understanding and predictive capabilities. In the satellite remote sensing portion, T represents temperature and q represents water vapor. SOURCE: Chelsea Thompson, NOAA.

4.1d Ecosystem Change—Land and Ocean

- ▶ **生態系科学**は、単細胞生物の研究から、生物圏全体を制御する組織構造や統治機構の研究まで、幅広い分野を対象であるが、主に、地上の植生と露出した土壌の研究である。
 - ▶ **植生**の役割は、水と大気と地球環境の間でのエネルギー・物質交換を促す。
 - ▶ **生態系**は、複雑な相互作用とフィードバックを持っており、
 - ▶ 空間スケールは、分子から地球の生物圏まで（化学プロセスから地球まで）
 - ▶ 時間スケールは、サブ秒から数世紀まで
- ▶ 生態系科学のための様々な種類の**リモートセンシング機器**を搭載した**航空機プラットフォーム**のターゲットは、主に次の2つ：
 1. バイオマスや生物群集の種類、生物多様性、種の消失や絶滅、侵入種など、生態系の構成と構造
 2. 蒸散、光合成、呼吸など、エネルギーや物質の交換を支配するプロセス

(つづき)

39

- より狭い範囲での「検証」研究から、広大な地域での生物地球化学的パターンを理解する研究へシフト
 - 複数の機器による同時観測（光学センサ、レーダ）
 - 大型航空機やその他の航空機での共同観測、地上やタワーでのその場測定も必要
- 陸上では、ハイパースペクトルやマルチスペクトルの光学機器をライダーやレーダと一緒に飛行させることで、植生分布の分類精度が向上し、高さや構造のモデリングは、データを組み合わせることで改善される。また、熱画像を追加した場合にも改善が見られている
- 海洋生態系では、WozencraftとMillar（2005）が、水深計ライダー、地形計ライダー、高解像度デジタルカメラ、ハイパースペクトルイメージャを組み合わせ、水深、地形、光学特性を測定し、海底と水柱・水面の特性をマッピングしました。
- 航空機プラットフォームは、生態系研究に関連するモデルの評価と検証に重要な役割
 - 炭素循環研究** 炭素循環分子と多数の共存・相互作用する化学成分を同時に測定するために、多くの機器（炭素循環ガス、その他の微量ガス、エアロゾル、汚染物質、その他の成分など）が必要

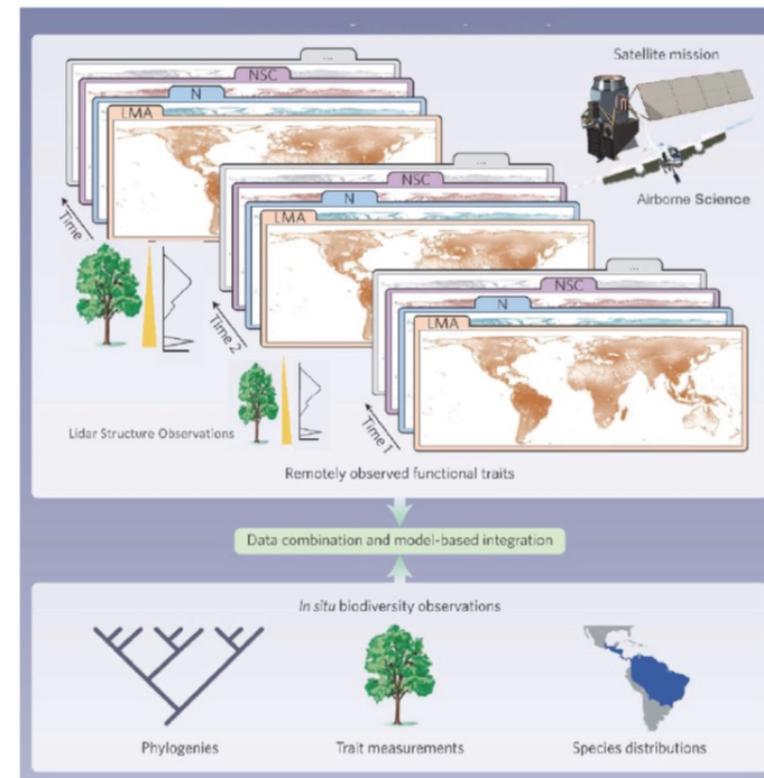


FIGURE 4.5 An integrated research strategy for ecosystems shows the value of including information from multiple co-located instruments. For example, hyperspectral imagers measuring canopy chemistry including leaf mass area (LMA), nitrogen content (N), non-structural carbohydrates (NSC) and traits and lidar scanners measuring three dimensional structure such as canopy height, vertical distribution, horizontal gap size and frequency, which together with in situ data contribute to advancing interdisciplinary science and predictive capacity. SOURCE: Modified from Jetz et al. (2016).

4.1e Sea level Rise in a Changing Climate and Coastal Impacts

40

▶ 海面上昇

- ▶ 特に海岸線への影響が大きい
- ▶ 熱帯・冬季の暴風雨時の沿岸洪水の急激な増加も問題

▶ 海面上昇の原因

1. 熱膨張をもたらす海洋の温暖化
2. 主に南極とグリーンランドの氷床の融解に伴う海洋への質量投入

- ▶ 氷床については、マスバランス（固体降雨による氷の純増と、融解、昇華、地表水の流出、氷河の決壊による純減のバランス）が重要なポイント

- ▶ **観測とモデリングの両方が必要で、衛星リモートセンシング機器は、これらのパラメータのデータ収集の役割**

- ▶ **航空機観測**は、衛星ミッションの間のギャップを埋めたり、衛星データの校正や相互校正を容易にしたり、複数の観測機器から目標とする高解像度の同時観測を行う。

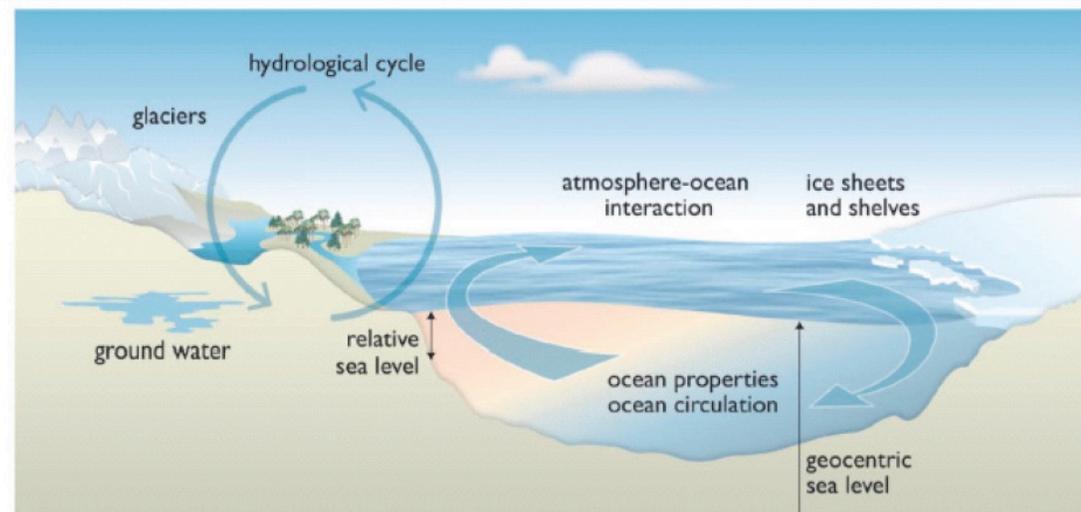


Figure 4.6 Processes contributing to sea level rise include mass additions from melting glaciers and ice sheets, thermal expansion of the ocean as a result of ocean heat content increases, groundwater releases, isostatic adjustment changing relative sea level, and alterations of the hydrological cycle. SOURCE: IPCC, 2013.

4.1f Surface Dynamics, Geological Hazards, and Disasters

41

- ▶ **地表の力学・地質学的脅威・災害**は、地殻変動、水文学、生態学、気候学の過程や人為的活動に対する地球表面の応答
 - ▶ 時間スケール：数分から数日、数十年、数百年
 - ▶ 局所的から大きな領域での被害をもたらすことがある。
- ▶ 地表のダイナミクスの時空間的特徴を捉えることが必要
 - ▶ 人工衛星や航空機プラットフォームからのリモートセンシング観測と、現場での測定
 - ▶ 人工衛星は比較的粗い空間と時間の解像度で全球の観測を行う。
 - ▶ 航空機はより細かい空間と時間の解像度で局所的な観測を行う。
- ▶ 地表のダイナミクスを研究するための主なリモートセンシング機器には、**干渉型合成開口レーダー (InSAR)**、**ライダー**、**光学機器 (マルチスペクトルおよびハイパースペクトル)** などがある。
 - ▶ SAR画像を異なる時刻に取得した場合、得られたInSAR画像 (リピートパスInSAR) で地表の変形をマッピングすることができる。
 - ▶ 2つのSAR画像を同時に取得した場合は、SAR画像 (シングルパスSAR) を用いてデジタル地表面モデル (DSM) を構築できる。このDSMの標高は、裸地と植生地域のキャノピートップの間に位置します。
 - ▶ ライダーは、裸地の標高モデルと植生、雪、氷のキャノピーの高さの両方を計測できる。

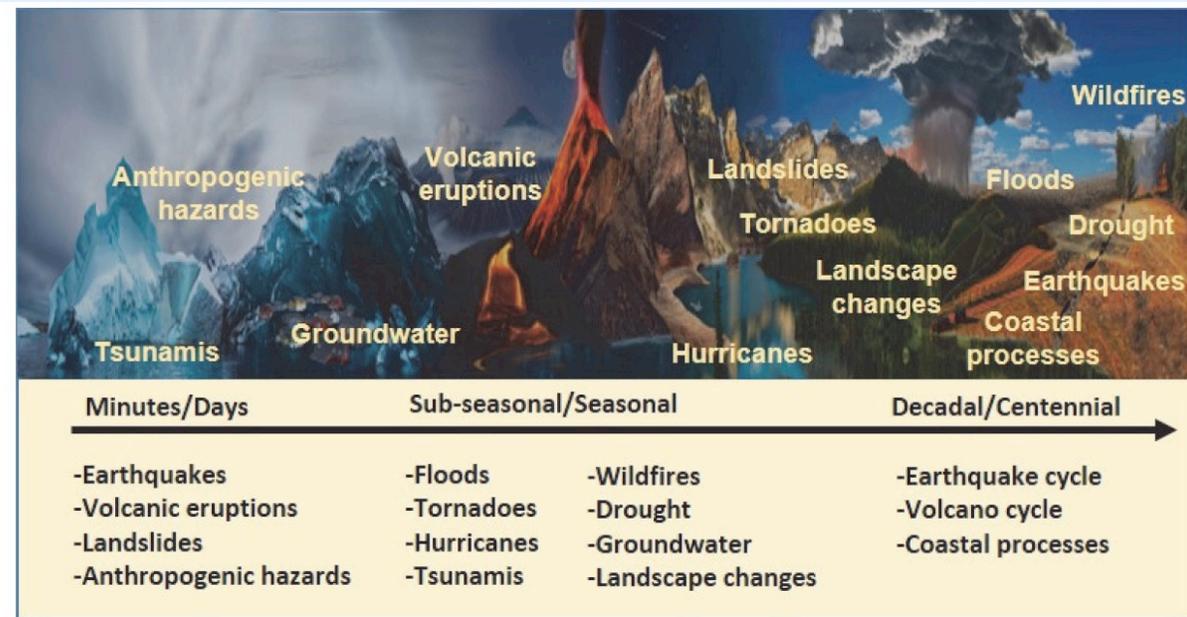


Figure 4.7 Overview of some common surface dynamics, geological hazards, and disaster processes that occur on a range of timescales. SOURCE: Modified from St. Germain (2020).

4.2 Providing Capacity for Expanding Future Earth system Research Needs

4.2 将来拡大する地球システム研究のニーズのための機会の提供

42

分野をまたぐ学際的な研究の推進

- ▶ 近年の地球上で発生する極端現象は、様々な**地球システムの構成要素間の相互作用**またはそれぞれの内部プロセスによる。
- ▶ **気候変動などの地球システムの変動が社会に対する影響が大きくなってきており、地球システム科学における学際的なアプローチの必要性が増してきていると同時に航空機プラットフォームの重要性も増している。**
 - ▶ **既存の技術や新しい技術に基づいた機器を搭載した航空機観測**
 - ▶ **小型航空機やUASは、学際的で社会的に重要なニーズを満たすために不可欠なもの**
 - ▶ **ハリケーンや暴風雨の急激な強まりや、PBLや上層海洋などの地表付近の特性は、宇宙からの観測が困難**

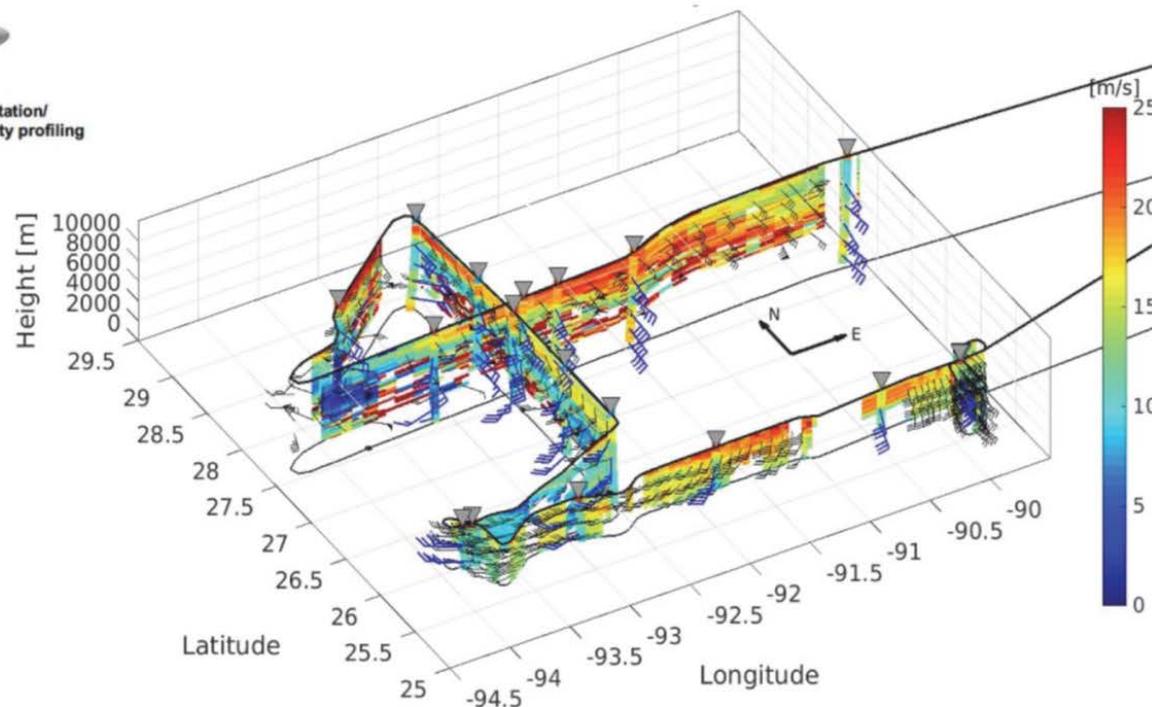
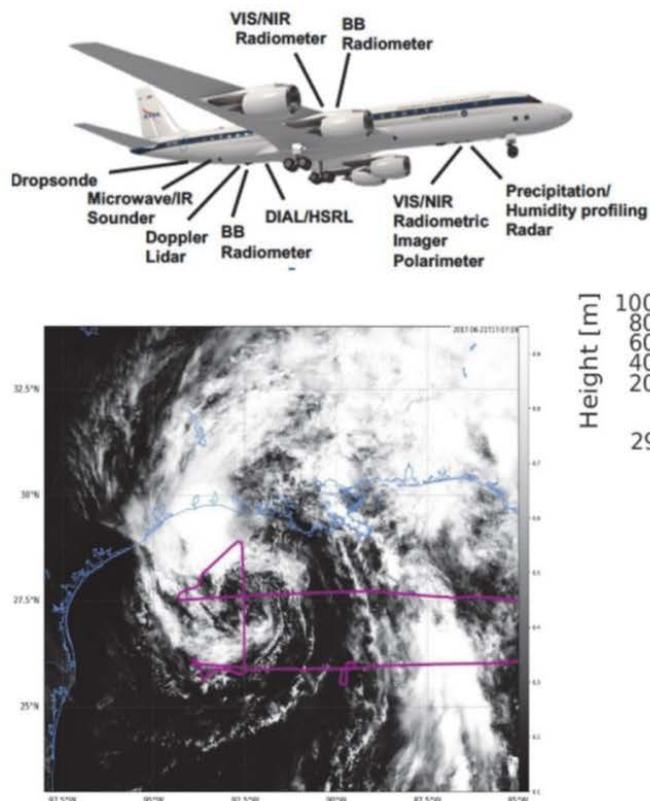
航空機観測に求められるもの

43

- ▶ 大型プラットフォームの条件
 - ▶ 約10~12時間の長時間飛行
 - ▶ 12-15kmまでの広い範囲の高度能力
 - ▶ 氷結や乱気流の中でも安全に飛行可能な堅牢な機体
 - ▶ レーダー、ライダー、空中投下型のドロップゾンデ、海洋漂流物、フロート、UASを扱うことができるペイロード
 - ▶ 降水量が多く、風が強い状況でもターゲットを絞った観測が可能なスキミング降水レーダー
- ▶ 大型航空機が有効な対象：ハリケーンや冬の嵐
 - ▶ 宇宙機や地上ベースのプラットフォームでは、多面的な同時観測やリモートセンシングの測定、機動性に限界がある。

熱帯低気圧Cindy上陸前におけるDC 8 による観測 (Chen 2019)

44



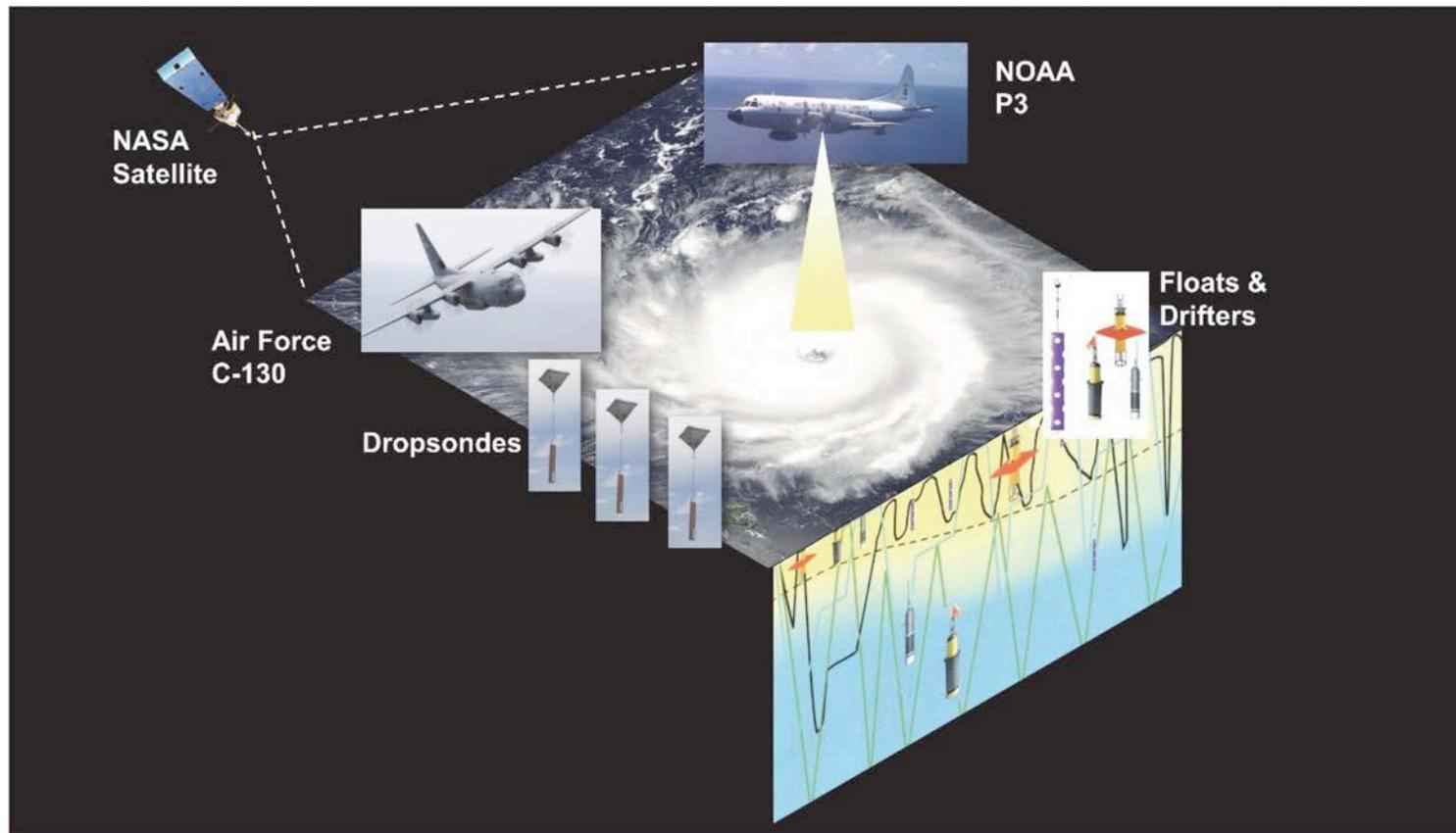
搭載機器

- ドップラーライダー
- レーダ
- ドロップゾンデ
- マイクロ波・赤外放射計

Figure 4.8 (top left) Schematic of the DC-8 equipped with multiple instruments, including Doppler lidar. (bottom left) Flight path of the DC-8 in Tropical Storm Cindy on 21 June 2017 (purple line). (right) First of its kind observations made using the DC-8 with Doppler Wind Lidar (DAWN) and dropsondes that captured 3-dimensional winds and shear prior to the landfall of Tropical Storm Cindy during CPEX 2017. SOURCE: Adapted from Chen (2019).

Coupled Boundary Layers/Air-Sea Transfer (CBLAST) フィールド観測 (Black et al., 2007)

45



観測項目

- 強風
- 降水
- 波浪
- 海流
- 海水温

搭載機器

- レーダ
- ライダー
- ドロップゾンデ
- 海洋フロート
- 海洋ドリフター

Figure 4.9. Example of Measurements and Platforms Observing Hurricanes during the Coupled Boundary Layers/Air-Sea Transfer(CBLAST) field campaign. Platforms include multiple aircraft (NOAA P3 and Air Force C-130) equipped with radar and lidar (indicated by yellow triangle), and air-deployed GPS dropsondes; ocean floats (underwater) and drifters (surface measurements); and satellite remote sensing (satellite image of Hurricane Frances in 2004; NASA). These platforms were used for observing extreme wind, precipitation, surface waves, ocean currents, and temperature in hurricanes during CBLAST (2003-2004). Vertical ocean profile and float/drifter drawings adapted from Black et al., 2007.

まとめ（今後の方向性）

46

2022年度にはマスタープラン2023の公募の可能性があり、継続的に重点課題に採択されるための改善を行ってゆく必要がある。

- ▶ コミュニティのアクティビティ向上、分野間での連携の強化
- ▶ コミュニティの中での議論の熟成
 - ▶ JpGUの航空機観測セッションの活用（ぜひ、参加をお願いいたします）
- ▶ 計画の具体化

- ▶ ISEEでの航空機観測の実績の蓄積が必要
 - ▶ 坪木先生科研費S（TPARC-II）、村上先生
 - ▶ データ（・観測）の共同利用の推進
 - ▶ 本セミナーシリーズなどの継続