

第42回メソ気象研究会の報告

—メソ気象学・雲物理学における航空機利用—

コンピーナー：坪木和久*

1. はじめに

気象学における航空機観測の重要性と必要性は、学界の内外を問わず誰もが認めるものである。航空機は様々な観測のプラットフォームであり、多様な観測に用いられる。気象学会は観測専用の航空機を保持することを長年希望してきた。近年、その気運が特に高まってきており、その一助となるように、今回のメソ気象研究会では、「メソ気象学・雲物理学における航空機利用」というテーマを選び、国内からこの分野の航空機観測に実績のある4名の研究者と、台風の航空機観測で先進的な台湾から2名の教授に講演いただいた。

国立台湾大学のChun-Chieh Wu教授とPo-Hsiung Lin教授は、航空機を用いて台風観測を行ったプロジェクトDOTSTAR (Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region) について紹介いただいた。このプロジェクトは台風が台湾に接近するとき、航空機で台風周辺を観測し、その進路や強度の予測を改善するというもので、これまで多くの実績を上げてきている。講演ではその立案から観測の実施、さらにその成果について苦労話も含めて詳しくお話しいただいた。このプロジェクトは大学を中心に始められ、技術を確立したあとは、台湾気象局の現業に引き継がれ、現在、気象局がその観測を実施している。このような大学から現業へというプロジェクト成果の移管は、まさに日本がモデルとするべきもので、多くを学ぶことができた講演であった。

国内からの講演者の内容については、以下にそれぞれ

の要旨をまとめていただいた。今回の研究会は2014年10月20日に、九州大学西新プラザで行われ、ほぼ会場がいっぱいになるほどの多くの参加者があった。本研究会が国内の航空機観測の気運のさらなる盛り上がりにつながれば幸いである。

2. 熱帯低気圧観測における航空機の利用

山口宗彦 (気象研究所)

本発表では、熱帯低気圧を対象とする航空機観測の現状をレビューしたのち、その意義や効果を、台風の解析、予報、検証、プロセス解明、気候監視という観点で整理し、関連する先行研究を紹介した。

台風の解析とは、台風の位置や強度、大きさを推定することであるが、航空機観測によりその推定精度を格段に向上させることができる。Landsea and Franklin (2013) は、衛星データだけを用いて解析した場合と、衛星データに加えて航空機観測を利用した場合とで解析の不確実性がどの程度減少するかを定量的に評価した。例えば、中心気圧の推定では航空機観測を用いることで不確実性は半減した。また、米国NHC (National Hurricane Center) のFranklin氏は、衛星データだけの場合25%の割合で中心気圧の解析誤差が10 hPa以上となるが、航空機観測を用いるとその割合が2%となることを示した。

航空機観測を数値予報モデルの初期値に反映させることにより、台風の予報精度、特に進路予報の精度が改善するという研究は1980年代頃から行われており、進路予報誤差が平均的に10~20%減少するというのが大方の見方である。近年では、航空機搭載のドップラー風速など台風中心付近の観測データを用いて強度予報の改善を目指した研究が盛んである。また、T-PARC (THORPEX Pacific Asian Regional Campaign) では、予報精度向上に効果の高い観測領

* (連絡責任著者) Kazuhisa TSUBOKI, 名古屋大学, tsuboki@nagoya-u.jp

© 2015 日本気象学会

域を割り出し、その領域で集中的に観測を行い、その新たに得られた観測データに基づく初期値から数値予報を行う最適観測法 (Majumdar *et al.* 2011) の実証実験が行われた (Nakazawa *et al.* 2010)。

検証に関しては、ドボラック法などリモートセンシングによる観測に基づいた手法の検証や、リモートセンシングによる観測そのものの検証 (例えば、Uhlhorn *et al.* 2007) のために航空機による直接観測のデータが不可欠であることについて述べた。また、台風の解析にも通じることであるが、数値モデルを用いて台風のシミュレーションを行った際の検証という観点でも航空機観測のデータは重要である。

米国では、現業的な航空機観測に加え、政府研究機関、大学、軍が協力して研究観測も積極的に行っている。台風の急発達・急減衰や発生メカニズムなど、まだ我々の理解が十分ではないプロセスを対象として、例えば、発達・減衰過程における大気海洋相互作用の理解促進のための観測実験 (Black *et al.* 2007) や高高度滞空型無人航空機である Global Hawk など新しいプラットフォームによる観測を行っている。

気候監視という観点では、使用するベストトラックデータにより、強い台風の数の変化傾向が異なるという先行研究を紹介した (Song *et al.* 2010)。気候変動にともなう台風の数や強度がどのように変化するか、より正確に監視するためには直接観測が可能な航空機観測を定常的にを行い、高精度の解析結果を蓄積することが重要であると述べた。

最後に、衛星観測との補完性について強調して講演を終了した。衛星観測は、観測時間や領域が比較的広範囲に及ぶが、柔軟性は高くない。航空機観測は、観測時間や領域を比較的自由に設定でき、またリモートセンシングだけでなく直接観測が可能である。衛星観測と航空機観測が排他的な関係となるのではなく、お互いの長所を活かしつつ欠点を補うような補完的な関係となることが望ましい。

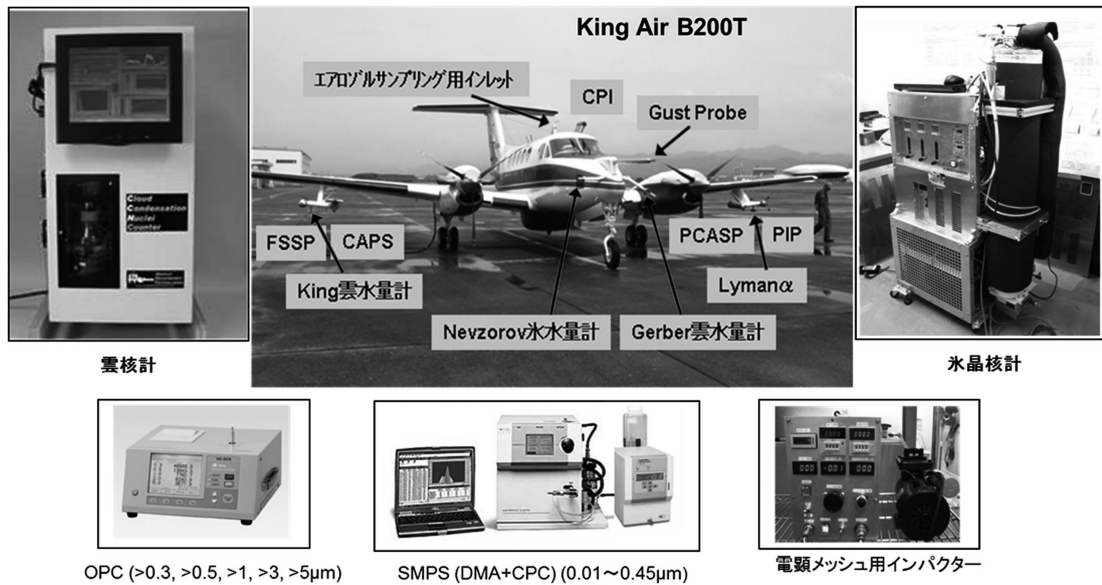
3. 航空機観測の現状と課題

一雲物理からメソ気象まで一

村上正隆 (気象研究所)

1990年代以降に気象研究所が実施してきた雲・降水システムを対象とした本格的な航空機観測から得られた主な成果を紹介するとともに、筆者のこれまでの経験に基づき、航空機観測の課題や今後の方向性についても議論した。

雲・降水システムを対象とした本格的な航空機観測は、科学技術振興調整費「降雪機構の解明と降雪雲調節の可能性に関する基礎的研究」(1988～1992年度、研究代表者：松尾敬世)の一環として、ワイオミング大学の観測用航空機 B200T を用いて日本海降雪雲の内部構造 (メソγスケール) 観測を実施したのが国内では初めてである (気象研究所技術報告第48号「日本海降雪雲の降水機構と人工調節の可能性に関する研究」)。その後、海洋地球科学研究推進費「雲が地球温暖化に及ぼす影響解明に関する研究」(1991～1999年度、研究代表者：浅野正二)において、我が国に初めて導入された気象観測用航空機 (B200, 中日本航空) を用いた雲の微物理構造・放射特性観測技術を開発し、冬季東シナ海上に発生する層積雲を対象に C404 と同期観測を実施し、当時論争となっていた日射の異常吸収はないと結論した (Asano *et al.* 2000)。科学技術振興機構戦略的基礎研究費「メソ対流系の構造と発生・発達メカニズム解明に関する研究」(1998～2003年度、研究代表者：吉崎正憲)においては、中型ジェット機 (G-II, ダイヤモンドエアサービス) を用いた気象観測技術を開発した。この技術を駆使した雲の微物理構造・力学構造・熱力学構造 (メソβスケール) の観測から、冬季日本海上および梅雨期九州南西海上に発生する種々の雲システムのなかで働く降水メカニズムを解明した (気象研究ノート第208号「メソ対流系」)。利根川ダム統合管理事務所との共同研究「山岳性降雪雲の人工調節に関する研究」(1997年度から2002年度)においては、人為的に氷晶数濃度を増加することによる雲の微物理構造の変化、それに引き続く降水過程の変化を観測用航空機 (MU-2, ダイヤモンドエアサービス; B200, 中日本航空) を用いて調べた。その結果、数百個 L⁻¹の氷晶を人為的に導入することによって微物理構造は劇的に変化し、降水能率・総降水量・降水の場所・タイミングが大きく変化することが確認された (Murakami *et al.* 2007)。科学技術振興調整費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」(2006～2010年度)では、エアロゾルの物理化学特性・雲核・氷晶核・雲・降水を総合的に測定する航空機観測システムを整備し (B200T, ダイヤモンドエアサービス, 第1図)、寒候期のドライアイスシーディング、暖候期の吸湿性粒子シーディングによるシーディング効果を解明するとともに、シーディング効果に影響を与える大気 (バックグラウンド) エアロゾルの物理化学特性



第1図 観測用航空機 (B200T) と主な測定機器。

および雲核・氷晶核特性を測定した。雲の微物理構造との比較から、雲核・氷晶核として働くエアロゾルの間接効果に関する実証的データも取得した（気象研究ノート第231号「人工降雨・降雪研究の最前線」）。

今後、航空機観測を実施していく際には、航空機観測の制約（飛行時間、飛行高度、使用可能な電力・スペース等）を考慮して、目的に応じた（場合によっては複数の航空機を用いた）効率的なフライトプランを練る必要がある。大型航空機を使用する場合には、異なる観測手法・目的をもった複数のグループが乗り合わせることになるので、それらの調和を図ったフライトプランの作成が必須となる。航空機以外の観測手法との連携も必要となってくる。

これまで国内では、気象研究所も含めて幾つかのグループが外部資金等を用いて個々に航空機観測を実施してきたが、今後、国内に航空機観測を定着させるためには、これまで直接航空機観測に携わったことのない多くの研究者にも航空機観測の有用性を理解していただき利用していただくことで、航空機観測の裾野を広げていく必要がある。

4. 無人航空機の民生利用における課題と展望

原田賢哉（宇宙航空研究開発機構）

近年、無人機の民生利用に対する関心が高まっている。既に空撮や農薬散布などに活用されているが、災

害監視や警備、インフラ点検、物流、通信など様々な分野において実用化/利用拡大が期待されている。本講演では、無人機の民生利用における課題と展望を概観するとともに、宇宙航空研究開発機構（JAXA）における研究開発事例を紹介した。

無人機の民生利用において障壁となっているのが運用環境の不備である。特に安全な運航を確保するためのルールや技術基準が定められていないため、限られた用途でしか実用化されていない。これは世界共通の課題であり、国際民間航空機関（ICAO）では無人機を従来の（有人）航空機の体系に組み込むべく国際標準の改訂作業が進められている。ただし小型の無人機については、有人航空機と同等の設計・運用基準等を適用するのは現実的でないため、隔離された空域で運用することを基本に、各国で法規・基準が整備されつつある。また、数多くの研究・試験サイトや実証プロジェクトが政府機関等によって設置・運営され、安全性の評価が行われている。このような取組みが世界的に進んでおり、早晩我が国でも無人機に対する法規・基準が整備されると考えられる。しかし、他機との衝突防止など解決すべき安全上の課題が残されているため、人口密集地の上空や運用者の目視外における飛行の安全を確保するのは難しく、当面は運用範囲が限定される可能性が高い。本格的な利用拡大のためには、技術開発や運用実績の積上げによって安全性・信頼性

を高め、段階的に運用範囲を拡大してゆく必要がある。

JAXAでは、無人機が災害対応などを通じて安全・安心な社会の実現に貢献することを期待し、その実用化/利用拡大を目指した研究開発を行っている。小型無人機に関しては、安全性向上に資する基盤的な技術開発とともに、有人地帯上空での運用を想定した独自の安全技術基準を策定し、これを適用した無人機システムの開発・実証に取り組んできた。現在は福島原子力発電所周辺における放射線モニタリングのための無人機システムを日本原子力研究開発機構(JAEA)と共同で開発している。小型無人機によれば、既に同目的で利用されている無人ヘリコプタよりも広い範囲を、有人航空機に比べて遙かに低コストで観測することができる。地表近くを飛行できるため、高分解能の観測も可能となる。一方、悪天候の影響を受けない高高度に長時間滞空できる大型の無人機(高高度滞空型無人航空機システム)の研究にも着手した。静止/周回衛星に比べて詳細かつ連続的な監視・観測や遅延・減衰の少ない通信中継を可能とすべく、システム概念検討及びその実現に不可欠なキー技術の開発を進めている。これらの無人機は、従来の航空機(または衛星)による気象観測の能力/範囲を拡大できると期待しており、その実現にJAXAの研究開発が貢献できることを願っている。

5. メソ気象研究用専用航空機への期待

上田 博(名古屋大学)

メソ気象研究用の専用航空機を研究者コミュニティで所持するためには、どのような航空機をどのような組織で保有してどのように運用するか等多数の問題を検討する必要がある。メソ気象学研究としてどのような現象をどのように観測するのか、ターゲットを明確にし、研究者コミュニティの共通認識を持つ必要がある。これまでの日本におけるチャーター機を用いた航空機観測を振り返り、観測経験に基づいて、日本におけるチャーター機を用いた航空機観測の到達レベルについて考察し、20年~30年先を見通した台風に伴う降水系の航空機搭載偏波レーダによる観測に関して一つの方向性を提示した。

地上設置のドップラーレーダと航空機搭載のマイクロ波放射計の比較観測や、雲解像数値モデルCRESS(Cloud Resolving Storm Simulator)を用いた独自の予測により飛行経路を事前に決めた梅雨前線のドロ

ブゾンデ観測の例を示し、観測目的にあった航空機を選定し、適切な飛行経路をパイロットに伝える方法を確立することにより、チャーター機でも成果をあげることができることを示した。また、日本においてはチャーター機を用いた航空機観測のノウハウを蓄積してきたので、適切に知見を研究者に継承する必要があることについて述べた。

専用航空機を持つということはチャーター機による観測を行うこととは全く別の次元のことになるので、新たな測器の開発とその測器を用いた観測に必要な経験、およびデータの解析方法の事前開発が必要になる。メソ気象学で目指す将来の航空機観測が台風の壁雲やレインバンドの雲・降水系を対象とするなら、航空機搭載のレーダが必要になる。将来導入する専用機に搭載するなら、航空機の機体に取り付けることができるフェイズドアレイの偏波・ドップラーレーダが必要になる。参考のために、NCAR(National Center for Atmospheric Research)の航空機搭載ドップラーレーダELDORA(ELectra DOppler RAdar)の後継である、航空機の機体の胴体に取り付けるフェイズドアレイレーダの計画について紹介した。そのようなフェイズドアレイレーダの開発は日本でも進んでおり、将来機体の胴体に取り付けるフェイズドアレイレーダを日本の企業でも開発する素地があることを、メソ気象研究用専用航空機への期待として述べた。

謝 辞

今回のメソ気象研究会を開催するに当たって、会場の準備・運営をさせていただいた九州大学川野哲也先生をはじめとする学生の皆さま、気象学会員の有志の方々ならびに筑波大学連携大学院(気象研究所)の学生のみなさまに感謝します。また、総合討論の参考のためにご意見をいただいた多くの方々にもお礼申し上げます。

参 考 文 献

- Asano, S., A. Uchiyama, Y. Mano, M. Murakami and Y. Takayama, 2000: No evidence for solar absorption anomaly by marine water clouds through collocated aircraft radiation measurements. *J. Geophys. Res.*, **105**, 14761-14775.
- Black, P. G., E. A. D'Asaro, T. B. Sanford, W. M. Drennan, J. A. Zhang, J. R. French, P. P. Niiler, E. J. Terrill and E. J. Walsh, 2007: Air-sea exchange in

- hurricanes: Synthesis of observations from the coupled boundary layer air-sea transfer experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **88**, 357-374.
- Landsea, C. W. and J. L. Franklin, 2013: Atlantic hurricane database uncertainty and presentation of a new database format. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 3576-3592.
- Majumdar, S. J., S. D. Aberson, C. H. Bishop, C. Cardinali, J. Caughey, A. Doerenbecher, P. Gauthier, R. Gelaro, T. M. Hamill, R. H. Langland, A. C. Lorenc, T. Nakazawa, F. Rabier, C. A. Reynolds, R. Saunders, Y. Song, Z. Toth, C. Velden, M. Weissmann and C.-C. Wu, 2011: Targeted Observations for Improving Numerical Weather Prediction: An Overview. World Weather Research Programme / THORPEX Publication No.15, 37pp. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/THORPEX_No_15.pdf (2015.9.4閲覧).
- Murakami, M., N. Orikasa, M. Hoshimoto, K. Kusunoki, M. Seki and A. Ikeda, 2007: Recent Japanese activities in weather modification research. Proc. 9th WMO Scientific Conference on Weather Modification.
- Nakazawa, T., K. Bessho, S. Hoshino, T. Komori, K. Yamashita, Y. Ohta and K. Sato, 2010: THORPEX - Pacific Asian Regional Campaign (T-PARC). RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review, (12), 1-4.
- Song, J.-J., Y. Wang and L. Wu, 2010: Trend discrepancies among three best track data sets of western North Pacific tropical cyclones. *J. Geophys. Res.*, **115**, D12128, doi:10.1029/2009JD013058.
- Uhlhorn, E. W., P. G. Black, J. L. Franklin, M. Goodberlet, J. Carswell and A. S. Goldstein, 2007: Hurricane surface wind measurements from an operational stepped frequency microwave radiometer. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 3070-3085.
-