

航空安全運航を目指した次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出・予測技術の開発

川村誠治¹・橋口浩之²・山本衛²・東邦昭²・足立アホロ³・
梶原佑介^{4,3}・別所康太郎^{4,3}・黒須政信⁵

1: 情報通信研究機構, 2: 京都大学生存圏研究所, 3: 気象庁気象研究所,
4: 気象庁観測部, 5: 日本航空

1. はじめに

グローバル化の進展とともに、航空機による旅客・輸送需要が増大しており、我が国でも東京国際空港の再拡張事業や成田国際空港の滑走路延長事業等による航空交通量の大幅な増大・過密化が見込まれている。このような状況の下、航空機の安全運航を維持していくことは最重要課題となっている。

航空機の運航に重大な支障をもたらす要因として、種々の気象現象が挙げられる。中でも大気中の乱気流(ウィンドシアアを含む)は、航空機自体に防止装置が装備可能な着氷現象などとは異なり、機体の改良・改善で対処しうるものではなく、基本的には回避するしか方法がないものである。国土交通省運輸安全委員会では報告された2000～2009年の大型機での事故例を表1に示すが、この期間中に発生した事故全体の半数以上で乱気流が原因であり、負傷者数も重傷者の6割、軽傷者の3割を乱気流によるものが占めている。現状では乱気流の観測データはパイロットからの機上気象報告(Pilot Weather Report; PIREP)のみであるが、PIREPはパイロットの主観も入り、かつ常時ある地点・高度を観測できるものではない。このため、精密に乱気流の有無を常時把握できる新たな観測機器の開発が待たれている。一方、各種の乱気流予測技術は、このPIREPデータに基づいて開発されており、その予測精度にはまだ改善の余地があると言える。

そこで、2011年7月に鉄道・運輸機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」により、「航空安全運航のための次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出・予測技術の開発」プロジェクトを開始した。本研究では、図1に示すように、地上から航空機の巡航高度までの観測が可能な次世代ウィンドプロファイラのプロトタイプを開発し、リモートセンシングによる乱気流検出技術の確立を目指している。さらにそのウィンドプロファイラの観測データを検証データとして、乱気流の予測精度を向上させ、航空機事故防止の礎となることを目的とする。

本研究により得られた成果は、将来、気象庁などで現業の気象観測に使われるウィンドプロファイラ網に組み込まれ、大気監視・乱気流観測の一翼を担うことになると期待される。さらに、乱気流の予測精度が向上することで、航空機の安全な運航に寄与することが期待される。本報告では、プロジェクトの概要と進捗について紹介する。

表1. 2000～2009年の大型機での事故件数と負傷者数

事故件数	うち乱気流によるものの件数	負傷者数		うち乱気流によるものの負傷者数	
		重傷	軽傷	重傷	軽傷
27件	15件	32人	173人	20人	57人

2. 次世代ウィンドプロファイラの開発

2.1 中型ウィンドプロファイラの開発

ウィンドプロファイラは、地上から上空に向けて電波を発射し、大気中の屈折率の乱れなどによって散乱されて戻ってくる電波を受信・処理することで、上空の風向風速等を高時間分解能で測定する気象リモートセンシング観測機器の一つである。現在、気象庁が大気の常時監視に運用している現業用ウィンドプロファイラでは、平均的な観測可能高度は約3～5km以下に限られ、高々度の乾燥した領域ではデータが得られにくい[Ishihara et al., 2006]。このため、航路上の乱気流を直接観測するには不十分なものとなっている。

この現状を打破するため、次世代のウィンドプロファイラを開発し、高々度・乾燥域での観測を可能とする。具体的には、現業用ウィンドプロファイラと同等の性能を有する、既存の研究用小型ウィンドプロファイラ2台を合成・改修し、送信出力及び送信パルス幅の増大による高出力化とアンテナサイズの拡大及びパルス圧縮の多ビット化による高感度化を施した次世代の中型ウィンドプロファイラを開発する。

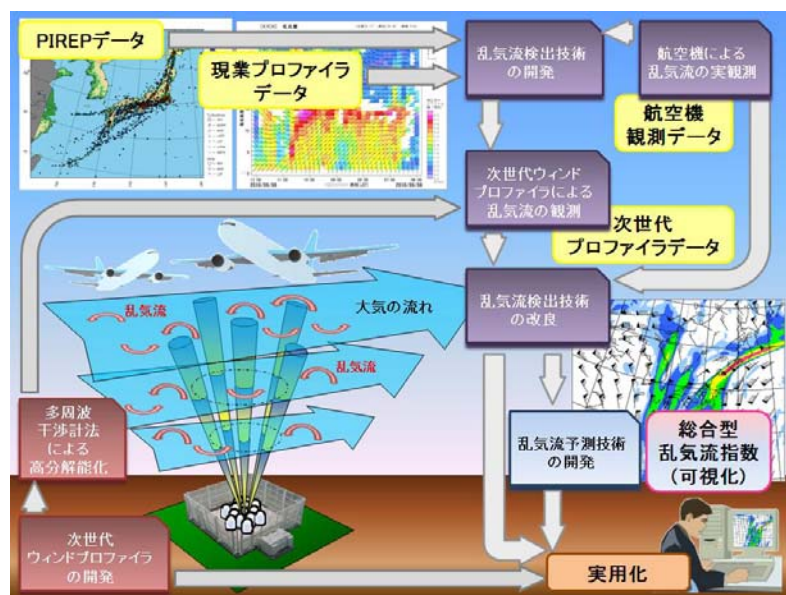


図1. 本プロジェクトの概要

2.2 多周波干渉計法による高分解能化

上記で開発する中型ウィンドプロファイラでは、高々度まで観測するため、送信パルス幅を増大させる。単一の周波数を用いる通常のパルスレーダーでは、高度分解能はパルス幅で規定されるため、送信パルス幅の増大は高度分解能の低下につながる。これを解決するため、送信周波数をパルス毎に切り替え、多周波干渉計法(レーダーイメージング法)により、高度分解能を向上させる技術を適用する[Luce et al., 2001]。これは、異なる送信周波数で得られた受信信号間の位相差の情報を利用することで、送信パルス幅より細かい高度分解能を得る手法である。これにより、短パルスの既存ウィンドプロファイラよりもむしろ高度分解能を向上させることが可能となる。以上により、現業用のウィンドプロファイラでは難しかった高々度・乾燥域での大気観測が優れた高度分解能で行われることになり、高度10km程度までの乱気流の常時監視が可能となる。

3. 乱気流検出技術の開発

3.1 現業用ウィンドプロファイラ観測データを用いた乱気流検出技術の開発

ウィンドプロファイラが大気から得る情報には、主に散乱体のドップラー速度、受信強度、スペクトル幅の3つがある。ドップラー速度からは鉛直成分を含む風速三成分が、受信強度からは降水の有無等が分かるが、スペクトル幅は散乱体の運動のばらつきを示す指標であり、乱気流の強さに関する情報が得られる。スペクトル幅は乱気流のほか、ウィンドプロファイラから発

射する電波のビームに広がりがあること等、様々な要因により広がることが知られているが、これらを適切に補正することで、乱気流の寄与を推定することが可能である。本研究では、気象庁の現業用ウィンドプロファイラの低高度における観測データを利用し、スペクトル幅を適切に補正して、まず、低高度で乱気流を検出する手法を開発する。また、PIREP による乱気流の情報を用いて、開発された検出技術の検証を試みる。気象庁のウィンドプロファイラは全国 31 ヶ所に設置されており、10 年程度の連続観測データが存在するため、様々な状況に対応した開発・検証が可能である。

3.2 航空機による乱気流の実観測

上記で検証に用いる PIREP は、機上のパイロットからの主観に基づく気象通報であり、通報される乱気流の強度・場所・高度・時間には誤差が含まれる。一方、航空機には機体に各種のセンサーが設置されており、その位置や時刻、気圧高度、風向、風速、鉛直加速度、前後方向の加速度、左右方向の加速度、ヘディング、上昇速度、ピッチ角、ロール角、ドリフト角といったデータが記録されている。これらのデータからは、飛行中の機体の揺れの程度、すなわちその空域の乱気流の強さなどを客観的に推定することができる。そこで PIREP で乱気流があったと報告された事例について、これらの航空機観測データを収集・保存し、PIREP データの精度評価を行う。また、ウィンドプロファイラによる乱気流推定結果そのものとも比較し、その乱気流検出技術の検証を行う。

3.3 次世代ウィンドプロファイラ観測データを用いた乱気流検出技術の改良

2 節で述べた次世代ウィンドプロファイラを用いて、連続観測を実施し、この観測データを用いて、乱気流検出技術の改良や次節で述べる予測技術の改良を行う。また、GPS ラジオゾンデなどとの比較観測を実施し、ウィンドプロファイラの性能評価を行う。次世代ウィンドプロファイラの設置場所は、小金井市の情報通信研究機構を想定している。この近傍の空域では 2008 年度から横田基地に関わる分が一部開放され、羽田・成田空港を離着陸する旅客機と、巡航高度で通過する旅客機からの PIREP が高度 2-10km に満遍なく分布するようになった(図 2)。この豊富な PIREP データを検証に用いて、3.1 節で開発された低高度での乱気流検出技術を大幅に改良し、低高度から高々度まで対応した次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出を可能にする。この際、航空機による乱気流の実観測データを用いた検出技術の精度評価もあわせて実施する。検出技術の改良後、次世代ウィンドプロファイラで得られた観測データを再解析し、次世代ウィンドプロファイラによる乱気流観測データセットを作成する。このデータセットを用いて、次の予測技術の改良を行う。

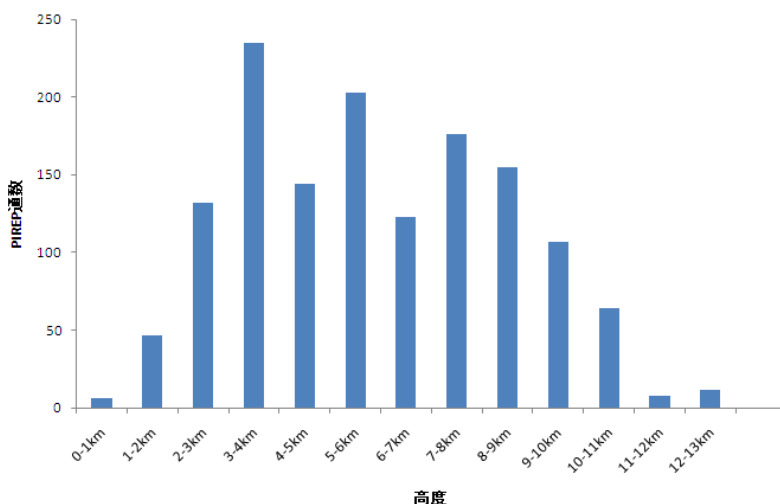


図 2. 設置予定地付近で通報された PIREP の高度分布 (2010 年)

4. 次世代ウィンドプロファイラによる乱気流観測データを用いた乱気流予測技術の開発

これまで、各国で気象数値予報モデルの結果を利用した様々な乱気流予測技術が開発さ

れてきた。この開発の際、検証用データとして PIREP が用いられているが、PIREP には様々な誤差が含まれていることが知られている。また PIREP を検証用データとして使う上で最も注意すべきことは、PIREP は航空機が通過したある高度・時刻での乱気流の情報でしかなく、PIREP 通報がない高度・時刻では乱気流の有無が不明という点である。

本研究では、次世代ウィンドプロファイラの観測から、高々度・乾燥域においても、定常的に乱気流の有無が判別できるようになる。乱気流の発生には、KH(シア不安定)波・対流雲・山岳波・中層雲・トランスバースバンドといった様々な要因が考えられる。本研究では、まず気象庁が実際に運用しているメソスケール気象予測モデルの結果から、その要因別に予測指数を作成する。その上で、次世代ウィンドプロファイラによる観測データセットを検証データとして用いることで、それらの指数を統計的に組み合わせ、総合的な指数とする。これにより、データセット中の高々度・乾燥域での乱気流の有無を反映した、気象予測モデルを用いた乱気流予測技術が確立される。

5. まとめ

本研究の次世代ウィンドプロファイラ開発で得られた成果が気象庁の次世代大気監視システムに組み込まれることで、システムの観測範囲は高々度・乾燥域まで拡大し、高度分解能も向上するなど、乱気流に限らず通常の気象データの観測能力・精度も大幅に向上することが期待される。これにより、より詳細な風の鉛直分布データが気象庁の観測データ解析システムに組み込まれ、航空機や船舶などの安全運航・運行に必要な風の実況監視の精度向上に役立てられる。さらに、風の分布は、例えば湿度を含んだ大気の収束や発散をもたらすなど降雨の発生にも深く関わっている。このため、観測データの解析結果を数値予報システムの初期値とすることで、風をはじめとした気象予報全体の精度も向上する。

現在開発中の次世代ウィンドプロファイラのプロトタイプの外観を図3に示す。本年度で2台のレーダを合体・改修を行ったが、次年度からはさらに改良を加えながら、観測を開始する予定である。



図 3. 次世代ウィンドプロファイラのプロトタイプとして開発された LQ-13

謝辞

本研究は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」による支援を受けています。

参考文献

- Ishihara, M., Y. Kato, T. Abo, K. Kobayashi and Y. Izumikawa, Characteristics and performance of the operational wind profiler network of the Japan Meteorological Agency, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 1085-1096, 2006.
- Luce H., M. Yamamoto, S. Fukao, D. Helal, and M. Crochet, A frequency radar interferometric imaging technique applied with high resolution methods, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, **63**, 221-234, 2001.