

タイトル：計算・計測融合空域管理システム in 仙台空港

担当分野：融合流体情報学

1. 研究目的

空港における航空機の離発着間隔を制限する要因の一つに飛行する航空機の後方に発生する後方乱気流がある。この後方乱気流に後続の航空機が巻き込まれると危険であることから、安全かつ効率的な運航のためには、実環境下における後方乱気流の減衰過程に関する研究が必要となる。後方乱気流のように実環境下での現象理解が重要な場合、初期・境界条件の設定の困難さからシミュレーションは依然困難な点が多い。本研究では、まずライダ計測値により実現象の計測値を得て、渦の詳細は計測融合シミュレーションを用いて解析する方法を開発した。また、気象予測モデルからのネスティングによって、水平ロール対流と呼ばれる特別な気象条件を反映した初期値・境界値のもとで、後方乱気流の挙動を予測した。

2. 研究成果の内容

1) 計測融合シミュレーション

宇宙航空研究開発機構(JAXA)・電子航法研究所(ENRI)との共同研究により、ENRIのドップラレーザ装置(LIDAR, ライダ)を利用し、仙台空港の滑走路に隣接するENRI岩沼分室屋上から離陸する航空機の後方乱気流を計測した。シミュレーションモデルには、圧縮性 Navier-Stokes 方程式に基づく LES 解析コードを用いた。本研究では、計測値と時空間的に一致する流れ場を求めるために、初期流れ場を設計変数とする計測値と計算値の誤差の最小化問題を定義し、Navier-Stokes 方程式の随伴方程式を解くことにより誤差の勾配を求めて、誤差の最小化すなわち計測値と計算値の同化を行う 4D-VAR 法を開発した。図1に計算結果の渦を可視化した一例を示す。

2) 気象予測モデルからのネスティング

2007年6月19日仙台空港において、東北大学理学研究科と情報通信研究機構(NICT)の発案のもと、流体科学研究所、ENRI、JAXA、仙台空港測候所が協力して集中的な観測イベントが行われ、NICT、ENRI がそれぞれ所有するライダを用いて海風前線中の水平ロール対流を捉えることに成功した。この現象を東北大学理学研究科流体地球物理学講座のグループによって開発された局地気象予報モデルによって再現し、得られたデータを基に作成した初期値上に仮想的に一对の後方乱気流の渦を重ね、LES 解析によって渦の挙動を計算した。図2に、地上付近の水平ロール対流によって渦が変形しながら減衰していく様子を可視化した例を示す。

以上から、仙台空港周辺の気象条件を再現・予測しつつ、実機が生ずる後方乱気流を計算と計測を融合して再現し、空港周辺での実環境下における後方乱気流の減衰過程をシミュレートするシステムが世界で初めて構築された。今後は仙台空港での飛行実験が予定される新航法システムの安全性評価等に適用する予定である。

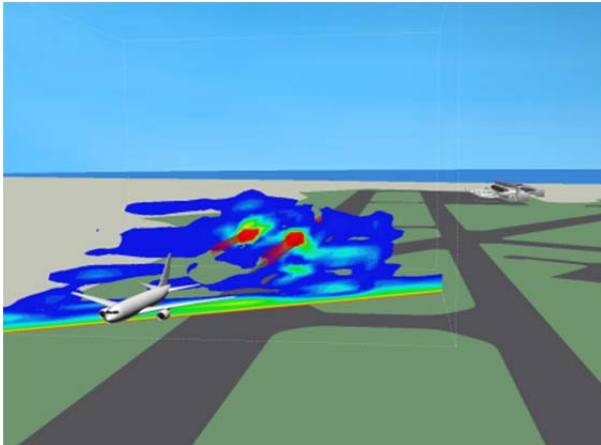


図1 仙台空港を離陸する航空機の後方乱気流

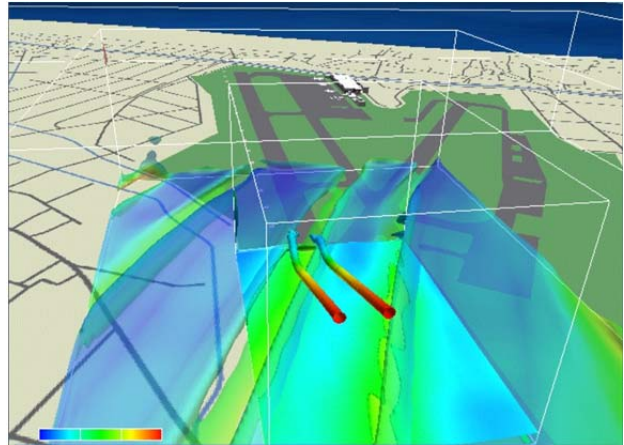


図2 水平ロール対流と干渉する後方乱気流

3. 研究成果

① 学術雑誌（査読付き国際会議，解説等を含む）

- 1) Takashi Misaka, Takeshi Ogasawara, Shigeru Obayashi, Nobuyuki Kaku, and Yoshinori Okuno, "LARGE EDDY SIMULATION OF WAKE TURBULENCE WITH INTEGRATING LIDAR MEASUREMENTS," International Conference on PARALLEL COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS 2007, Turkey, May 2007
- 2) Takashi Misaka, Takeshi Ogasawara, Shigeru Obayashi, Izumi Yamada, Yoshinori Okuno, "Measurement-Integrated Simulation of Wake Turbulence, 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, USA January 2008
- 3) Takashi MISAKA, Takeshi OGASAWARA, Shigeru OBAYASHI, Izumi YAMADA and Yoshinori OKUNO, "Assimilation Experiment of Lidar Measurements for Wake Turbulence," Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 3, No. 4, pp.512-518, June 2008
- 4) Takeshi OGASAWARA, Takashi MISAKA, Toshihiro OGAWA, Shigeru OBAYASHI and Izumi YAMADA, "Measurement of Aircraft Wake Vortices Using Doppler LIDAR," Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 3, No. 4, pp.488-499, June 2008
- 5) Hiroshi Kato, Takashi Misaka, Shigeru Obayashi, and Izumi Yamada, Advection Database of Wake Vortices at Sendai Airport Based on Lidar Measurement, 1st AIAA Atmospheric and Space Environments Conference, USA, 22 June 2009
- 6) Hiroshi Kato, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, "Data Mining for the Advection Database of Wake Vortices," 2nd AIAA Atmospheric and Space Environments Conference, Toronto, Ontario, Canada, 3 August 2010, AIAA-2010-7989

② 国際会議・国内学会・研究会・口頭発表等

- 1) 三坂孝志, 小笠原健, 大林茂, 山田泉, 奥野善則, "後方乱気流シミュレーションへのライダー計測融合手法に関する検討," 第45回飛行機シンポジウム, 北九州市, 2007年10月
- 2) Takashi Misaka, Takeshi Ogasawara, Shigeru Obayashi, Izumi Yamada, Yoshinori

Okuno, "Lidar Data Assimilation Experiment for Wake Turbulence," The Fourth International Conference on Flow Dynamics, sendai Japan, December 2007.

- 3) 三坂孝志, 大林茂, 山田泉, 奥野善則, ライダ計測と CFD を融合した後方乱気流のシミュレーション, 第 40 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2008, 東京 (2008.6.12).
 - 4) 三坂孝志, 大林茂, 山田泉, 奥野善則, 離陸航空機の後流渦のライダ計測融合シミュレーション, 日本機械学会 2008 年度年次大会, 横浜(2008.8.5).
 - 5) 加藤博司, 三坂孝志, 大林茂, 山田泉, 奥野善則, 実大気環境を考慮した後方乱気流予測技術, 日本航空宇宙学会北部支部 2009 年講演会, 仙台(2009.3.11).
 - 6) 加藤博司, 大林茂, 三坂孝志, 山田泉, 奥野善則, 4 次元変分法と CFD による後方乱気流予測に向けた取り組み, 第 58 回理論応用力学講演会 (NCTAM2009), 東京(2009.6.9).
 - 7) 加藤博司, 大林茂, 三坂孝志, 山田泉, 奥野善則, 気象観測と CFD を利用した後方乱気流シミュレーション, 第 41 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2009, 東京(2009.6.18).
 - 8) 加藤博司, 大林茂, 山田泉, 奥野善則, "気象因子から得られる後方乱気流の移流・減衰評価に関する取り組み," 日本航空宇宙学会第 41 期年会講演会, 東京大学山上会館, (2010.4.15).
 - 9) Hiroshi Kato, Shigeru Obayashi, Izumi Yamada, Yoshinori Okuno, "Evaluation of Advection and Decay Process for Wake Vortices Based on Meteorological Factors," The 5th Tohoku University-Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, Institute of Fluid Science, Tohoku University, Japan, 17 June 2010
 - 10) 加藤博司, 大林茂, 山田泉, 奥野善則, "気象予測モデルと CFD とのマルチワンウェイネスティングによる後方乱気流シミュレーション," 第 42 回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2010, 米子コンベンションセンタービッグシップ, (2010.6.25).
 - 11) 加藤博司, 大林茂, "航空 CFD へのデータ同化の適用—後方乱気流への適用例と次世代動的風洞開発に向けて—," 第 1 回データ同化セミナー, 統計数理研究所, (2010.7.15).
 - 12) Hiroshi Kato and Shigeru Obayashi, "Integration of Experiment and Numerical Simulation based on Ensemble Kalman Filter," The Seventh International Conference on Flow Dynamics, Sendai International Center, Sendai, Japan, 3 November 2010
- ③ その他 (特許, 受賞, マスコミ発表等)
- 1) 平成 20 年 5 月 19 日 第 13 回計算工学講演会グラフィクスアワード特別賞「没入的仮想環境を用いた仙台空港における後方乱気流の視覚解析のグラフィックス」(三坂孝志)
 - 2) 平成 22 年 4 月 16 日 日本航空宇宙学会第 41 期年会講演会学生優秀講演賞「気象因子から得られる後方乱気流の移流・減衰評価に関する取り組み」(加藤博司)