



発表内容

仙台空港における後方乱気流のライダー計測

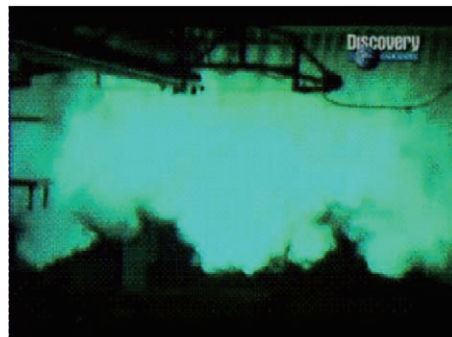
- 後方乱気流の移流・残留に周辺大気風が及ぼす影響

ライダー計測を融合した翼端渦のLES

- ライダー計測融合手法について
- 翼端渦の再現

背景 - 後方乱気流 -

- 主に翼端渦が原因となって生じる乱気流
- 空港の離発着間隔を決める
(順天候時大型機2分が基準)

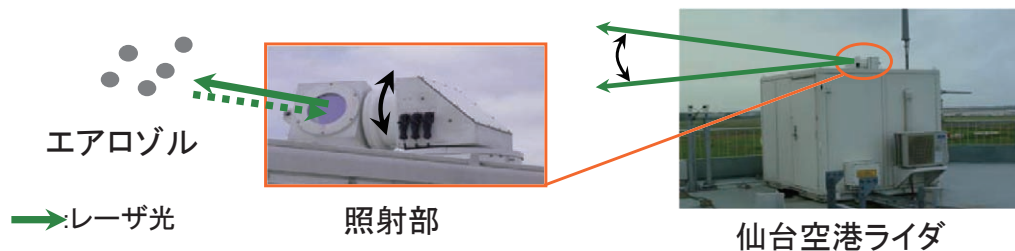


離発着間隔見直しの必要性

- 効率的な空港トラフィックコントロール
- Airbus A380に代表される大型航空機への対応



背景 - ドップラライダー -



➤ 後方乱気流のライダー計測(パルス方式)の特徴

◎ 広範囲の計測が可能

→ 後方乱気流を空間・時間発展的に捉えられる

▲ 距離分解能が低い

→ 正確な後方乱気流の構造を捉えることが困難

ライダの計測精度の検証が必要



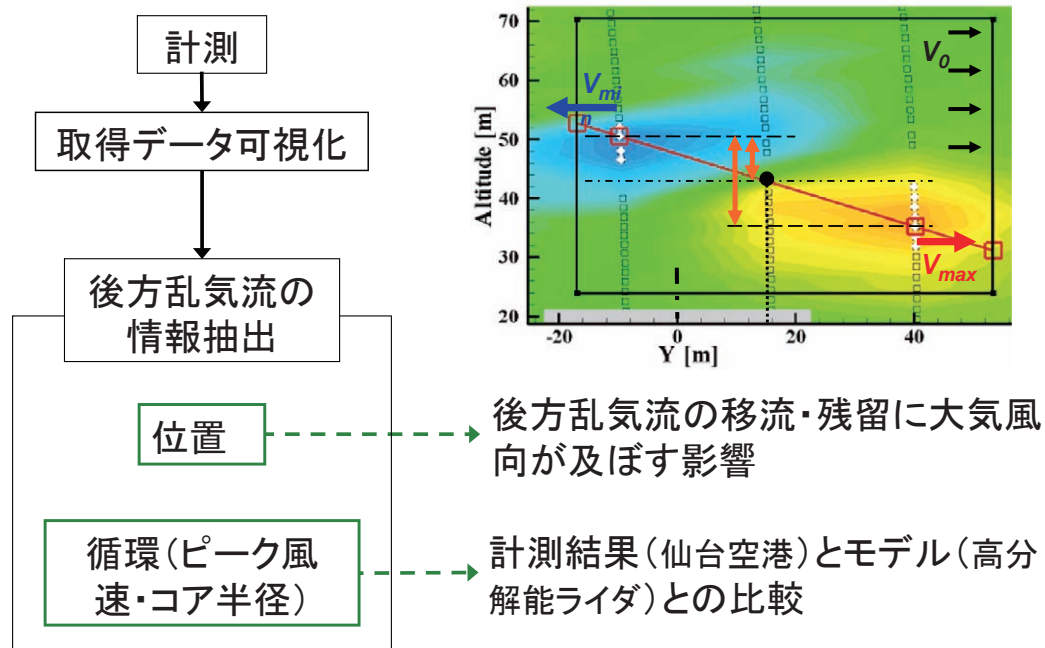
前半の研究目的 - 後方乱気流のライダー計測 -

後方乱気流のライダー計測

- 後方乱気流の情報(位置・ピーク風速・コア半径)の抽出
 - 周辺大気状態が後方乱気流の移流・残留に及ぼす影響
 - ライダの計測精度の検証

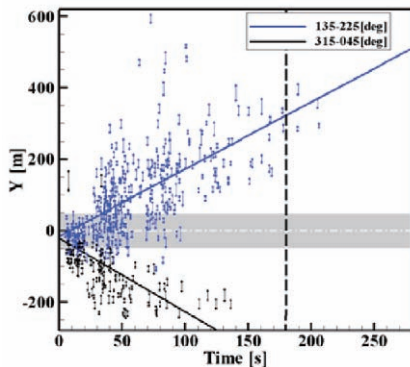
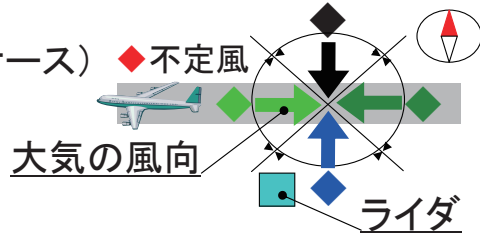


検討内容

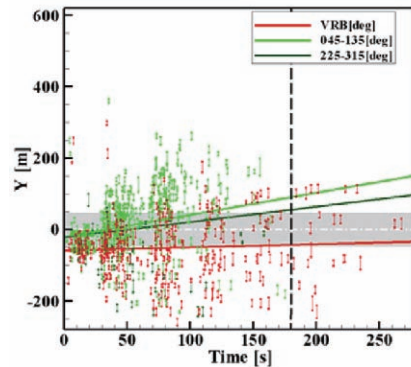


周辺大気の影響 - 後方乱気流の移流・残留 -

- 対象(機種:B767-300、計測数:162ケース) ◆ 不定風
- 計測期間：2006年4月~12月
- 管制間隔: 3分
- 滑走路幅: 約45 [m]



渦中心の軌跡: 横風の分類結果



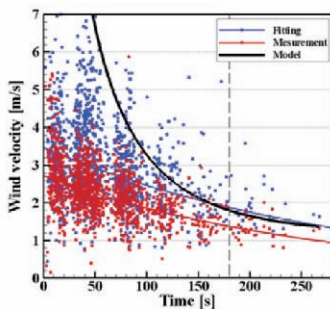
渦中心の軌跡: 向風・追風・不定風の分類結果



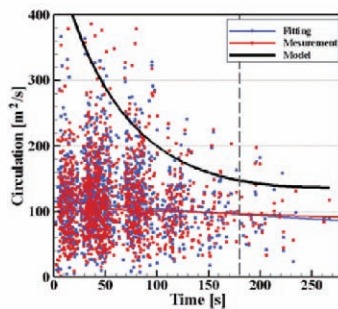
ライダー計測精度の検証(既存モデルとの比較)

- 対象(機種:B767-300、計測数:162ケース)
- 計測期間：2006年4月~12月

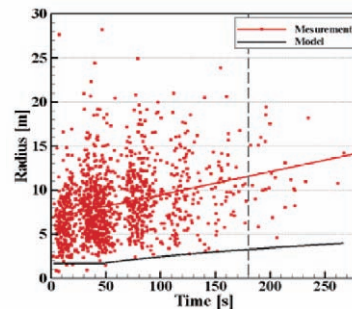
--- 管制間隔: 3分



ピーク風速-時間



循環-時間



コア半径-時間



後半の研究目的 - ライダ計測融合シミュレーション -

後方乱気流のLarge eddy simulation

- 渦対の時空間挙動の解析
- 大気境界層, 大気の一様乱流成分 (Karman Spectrumなど) を考慮

→ 実際の大気条件の考慮は困難



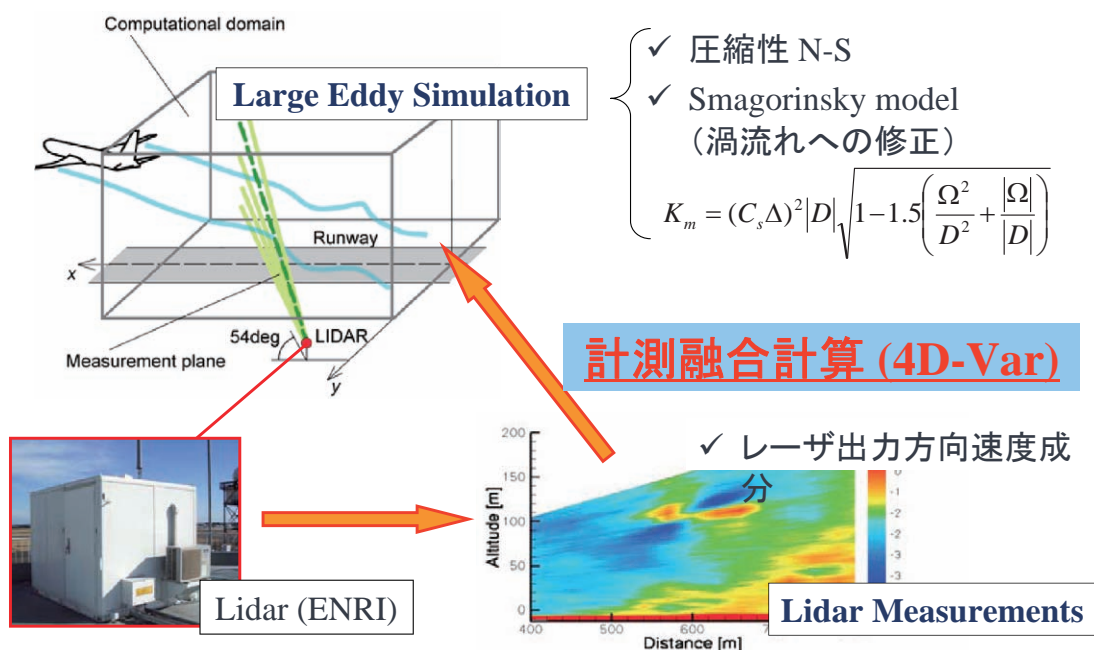
Vorticity isosurface

目的: ライダ計測を融合した後方乱気流解析手法の開発

- シミュレーションでライダ計測の解像度を補足
- シミュレーションで実際の大気条件を考慮
- 気象におけるデータ同化手法の導入: 4D-Var, Bogus Vortex



ライダ計測融合手法 - 概要 -



計測融合計算法:4次元変分法

Four-dimensional variational method (4D-Var)

計測と計算の差: 目的関数 → 最小化(アジョイント法)

設計変数: 初期条件

$$J(\mathbf{Q}_0) = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N (H_i(\mathbf{Q}_i) - \mathbf{Y}_i)^T R_i^{-1} (H_i(\mathbf{Q}_i) - \mathbf{Y}_i)$$

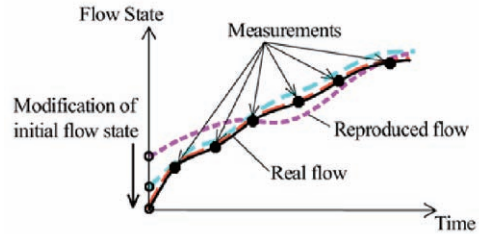
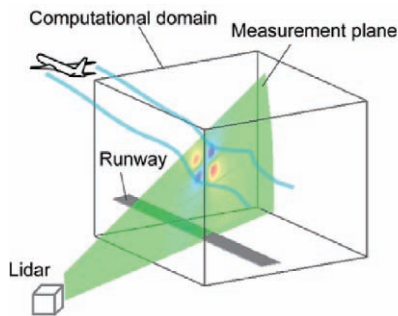
N : 時間ステップ

\mathbf{Q}_i : 計算変数

\mathbf{Y}_i : 計測変数

H_i : 変換行列

R_i : 計測誤差共分散行列



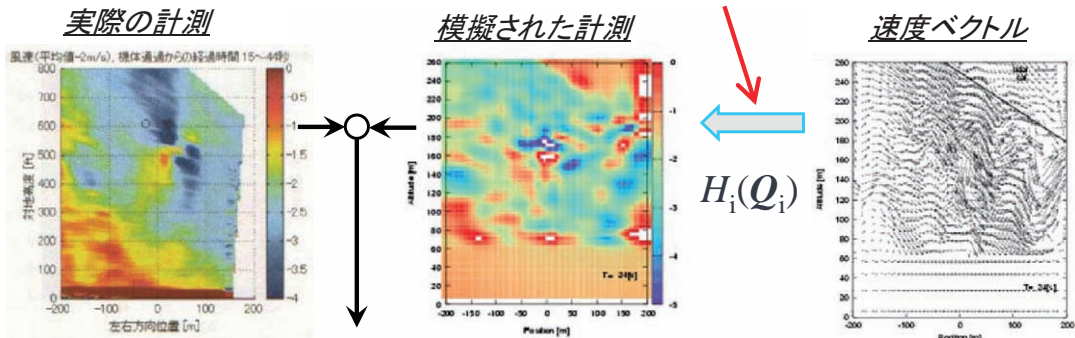
Takashi Misaka, Tohoku University

ライダー計測融合手法 - 4D-Var -

※絵は2次元計算例

➤ 30 [m]ごと平均

➤ レーザ出力方向成分



➤ 3次元計算において, ライダ計測面付近のみ計測と一致

➤ ライダの面データのみで3次元の渦対を再現するのは困難

→ Bogus Vortex Technique



ボーガス渦法

気象の台風シミュレーションで用いられる手法
後方乱気流では初期条件に渦対の存在を仮定



初期条件に付加項

Bogus Vortex Technique

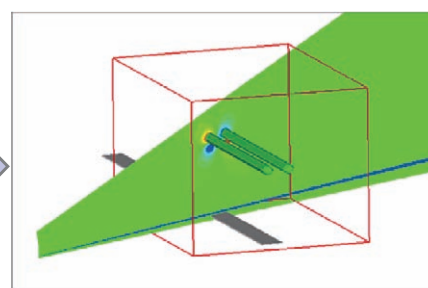
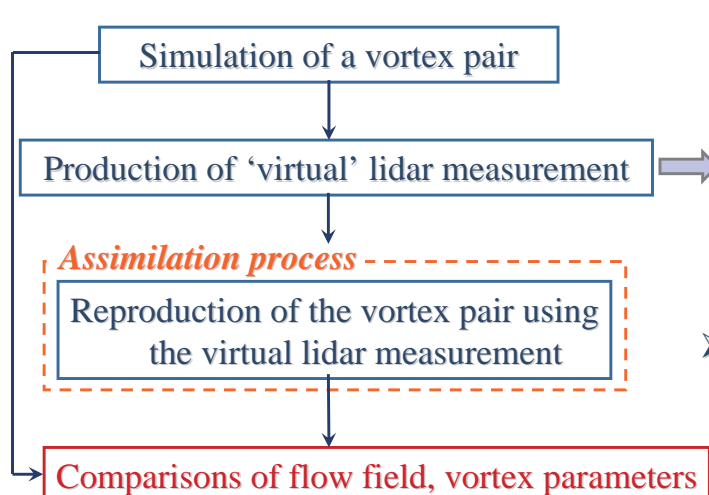
$$J_t(\mathbf{Q}_0) = J_t(\mathbf{Q}_0) + \frac{1}{2} [\mathbf{Q}_0 - F_v(\mathbf{P}_v)]^T B^{-1} [\mathbf{Q}_0 - F_v(\mathbf{P}_v)]$$

- 渦モデル $F_v(\mathbf{P}_v)$ 込みで初期条件最適化



Assimilation Experiment for Validation

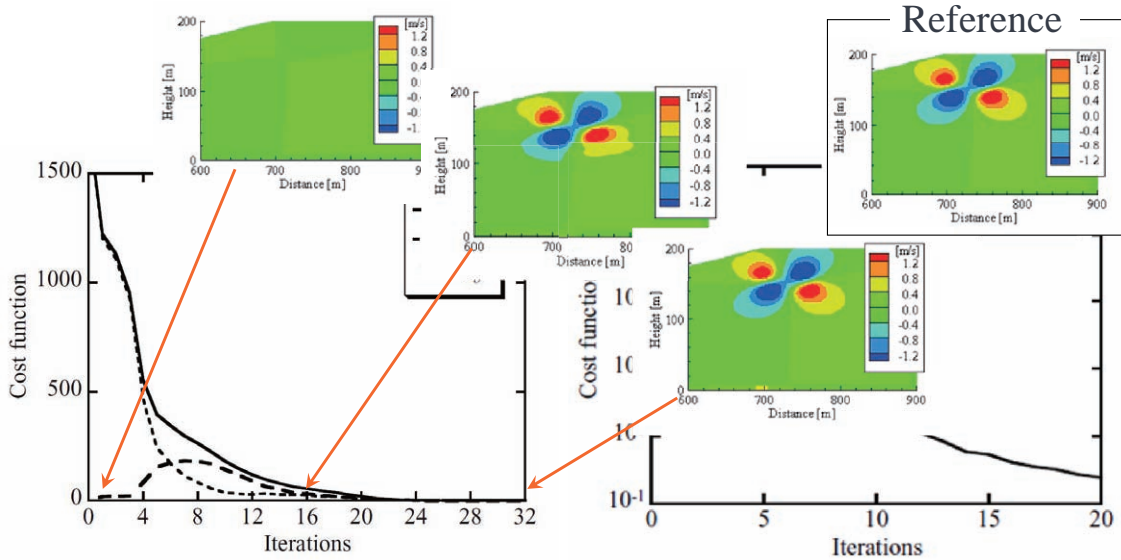
- Flow chart of assimilation experiment



- Extraction process follows the actual measurement procedure: scanning in elevator direction, 30 [m] averaging in LOS direction



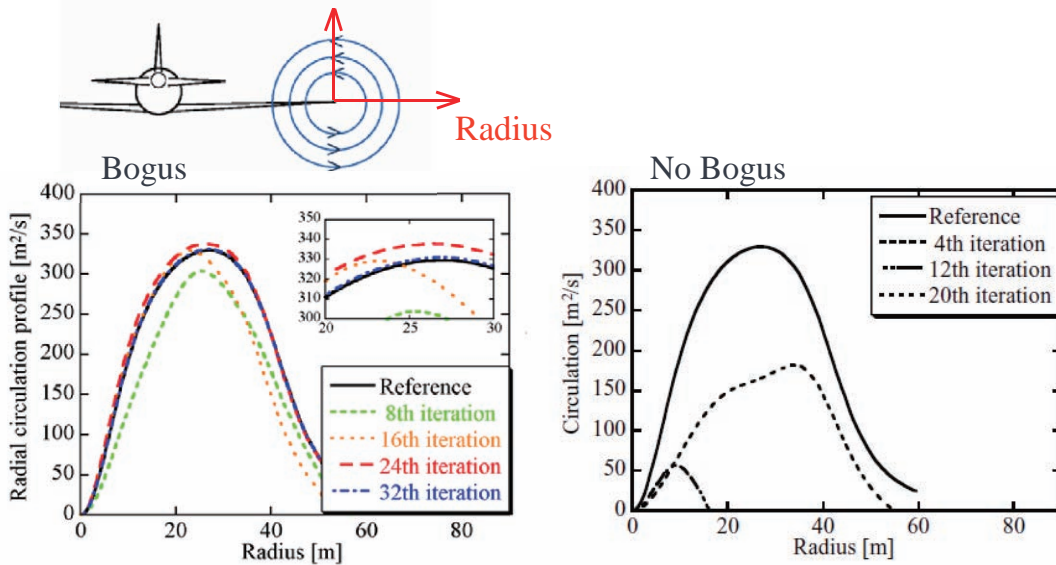
Effect of Bogus Vortex (1) – Cost Function –



➤ Reproducibility of velocity distribution on measurement plane is confirmed



Effect of Bogus Vortex (2) – Radial Circulation Profile –

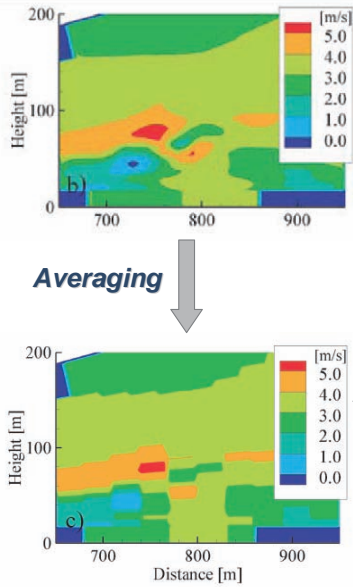


➤ Radial profile of circulation was accurately reproduced by 4D-Var with Bogus Vortex Technique

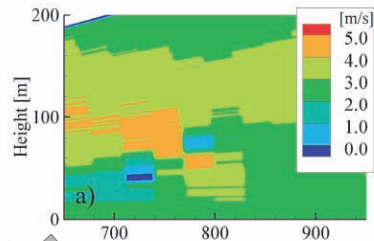


Results using Actual Lidar Measurements

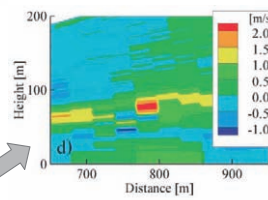
Reproduced velocity distribution



Lidar measurements



Difference

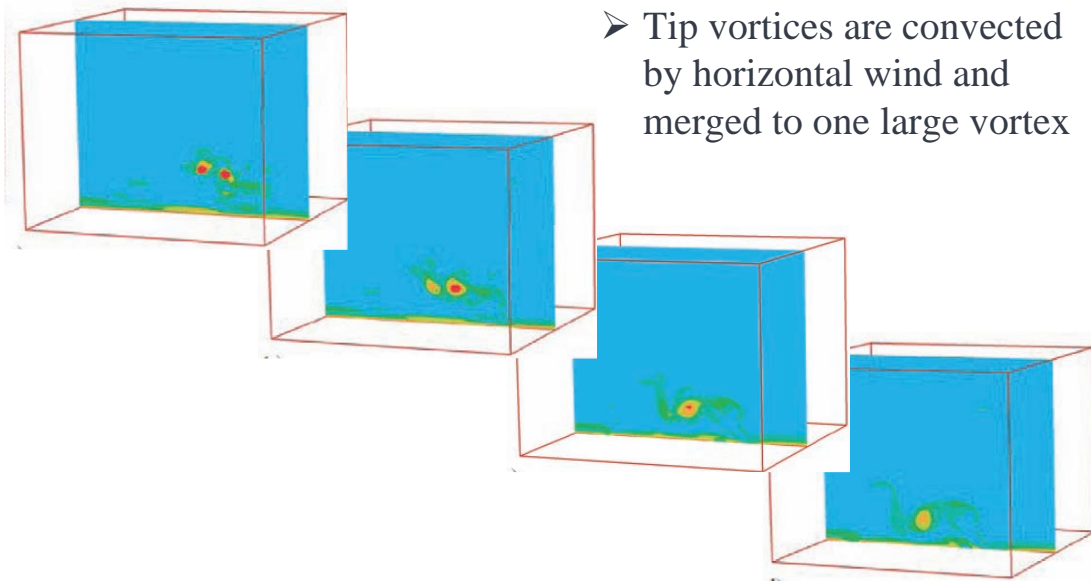


- Agreement of velocity distribution on measurement plane is confirmed



Results using Actual Lidar Data (2)

Vorticity distribution



- Tip vortices are convected by horizontal wind and merged to one large vortex



まとめ

仙台空港における後方乱気流のライダー計測

- 後方乱気流の移流・残留に周辺大気風が及ぼす影響を実測
- 分解能に難

ライダー計測を融合した翼端渦のLES

- 気象のデータ同化手法: 4D-Var + Bogus vortex
- 翼端渦を再現

今後の課題

- 渦の自動検出・画像復元技術によるデータ補正
 - 気象条件が後方乱気流の挙動に及ぼす影響
 - ✓ 大気の流れ成分・温度分布など
-