

離陸航空機の後流渦の ライダー計測融合シミュレーション

三坂 孝志, 大林 茂 (東北大学 流体科学研究所)

山田 泉 (電子航法研究所)

奥野 善則 (宇宙航空研究開発機構)

第33回CAVE研究会

平成20年8月8日



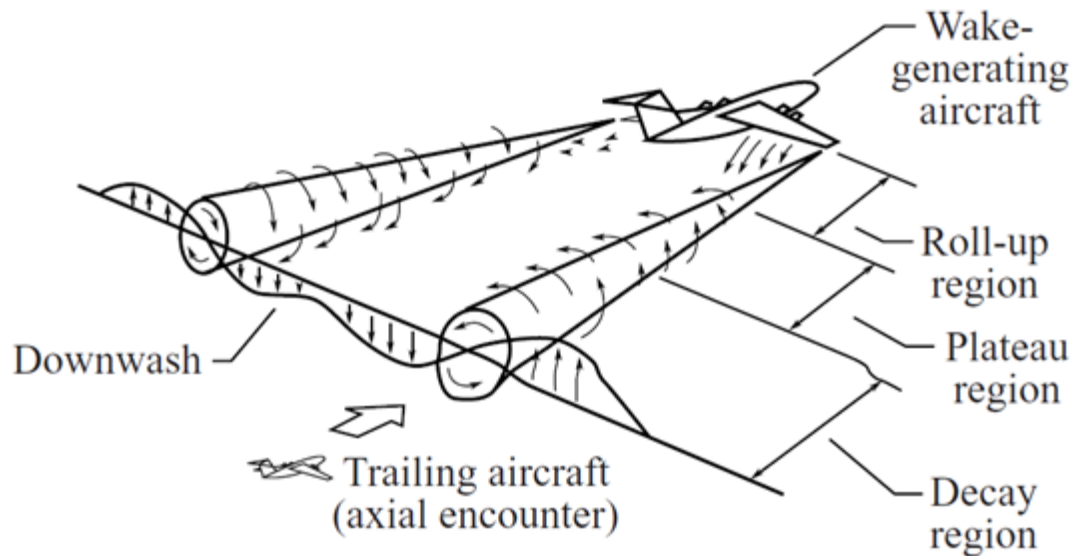
TOHOKU
UNIVERSITY

内容

- 背景
 - 後方乱気流のライダー計測
 - データ同化
- 本研究の目的
- ライダー計測融合手法
- 融合計算の結果
- まとめ



研究背景 – 航空機の後方乱気流 –



J. R. Chambers, NASA SP-2003-4529

- 空港における離発着間隔を決める

$$\Gamma(\text{循環}) = \frac{L(\text{揚力})}{\rho b V(\text{速度})}$$

- 羽田空港: 2分

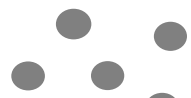
➤ 離着陸間隔の効率化による空港のトラフィックコントロール

— 次世代航空交通に関する取り組み(~ 2020-2025) —

- Next Generation Air Transportation System (**NextGen**): 米国
- Single European Sky ATM Research (**SESAR**): 欧州
- Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System (**DREAMS**): 日本(JAXA)

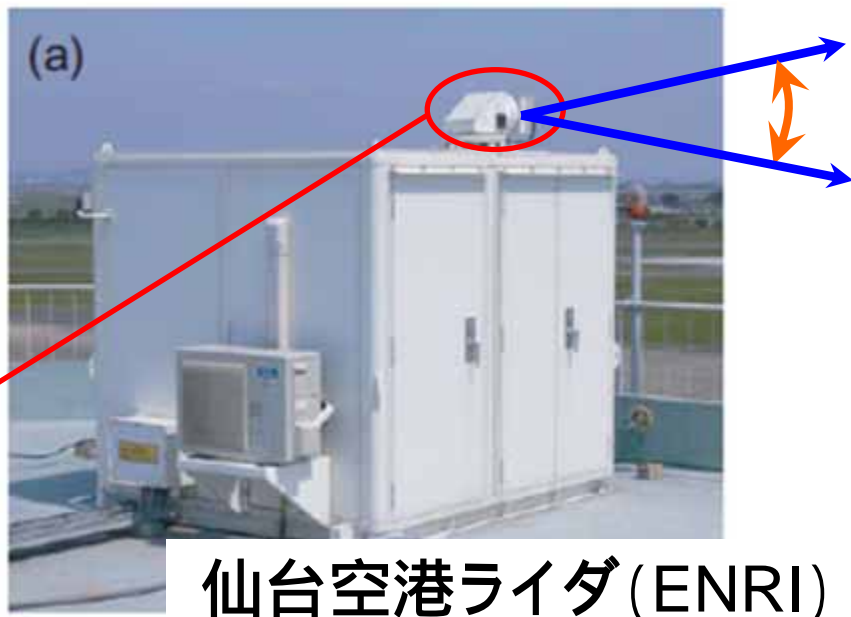
研究背景 – ライダによる実運行機の計測 –

エアロゾル・・・数 μm



レーザ光

レーザ照射部



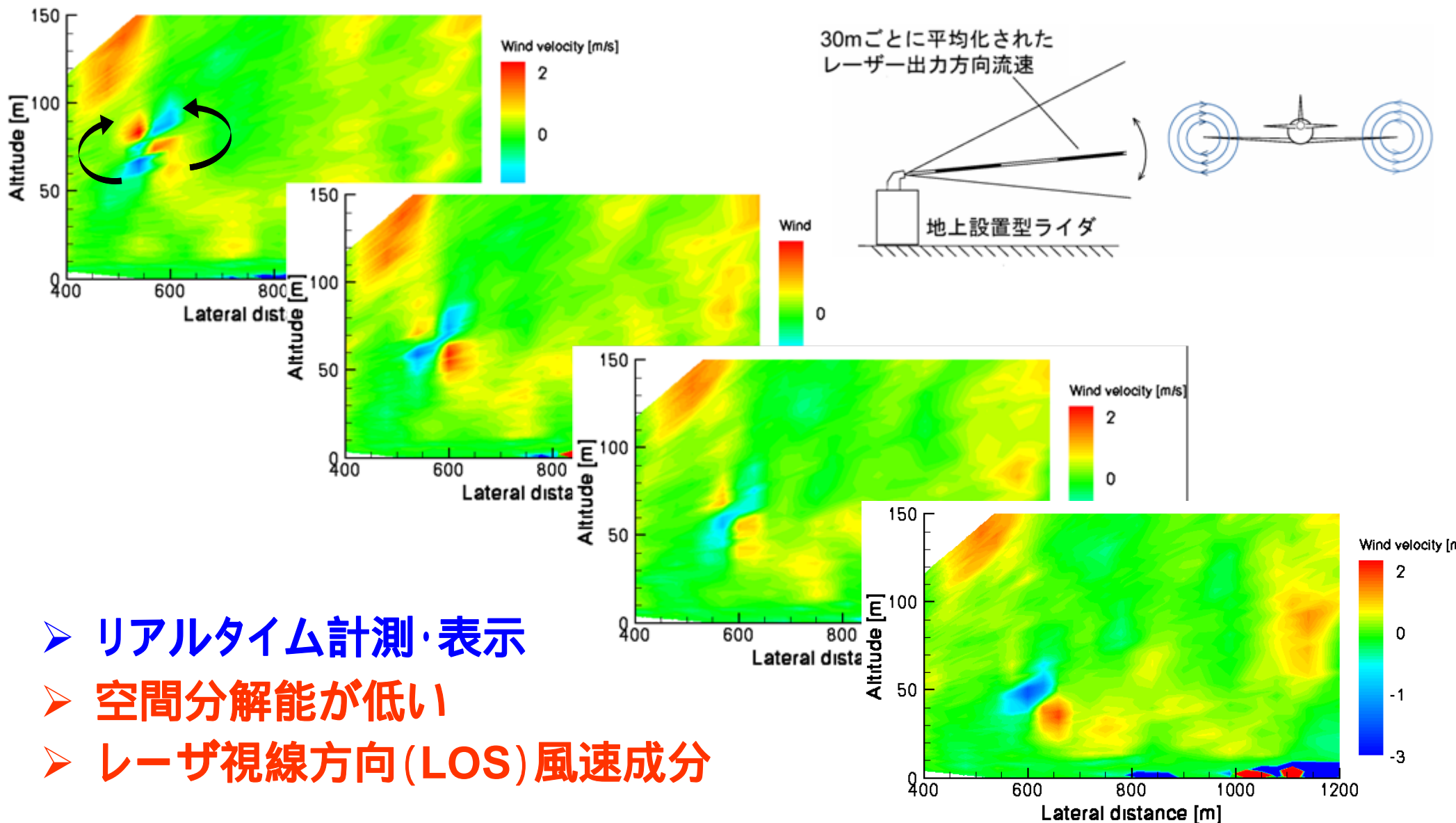
仙台空港ライダ (ENRI)

- エアロゾルの移動によるドップラーシフトで風速を算出
- レーザ光が往復した時間で測定点の距離を算出

一般的なライダの特徴

- レーダに比べ高解像度
 - エアロゾルが計測対象
- 晴天時における計測が可能

研究背景 – ライダによる実運行機の計測 –

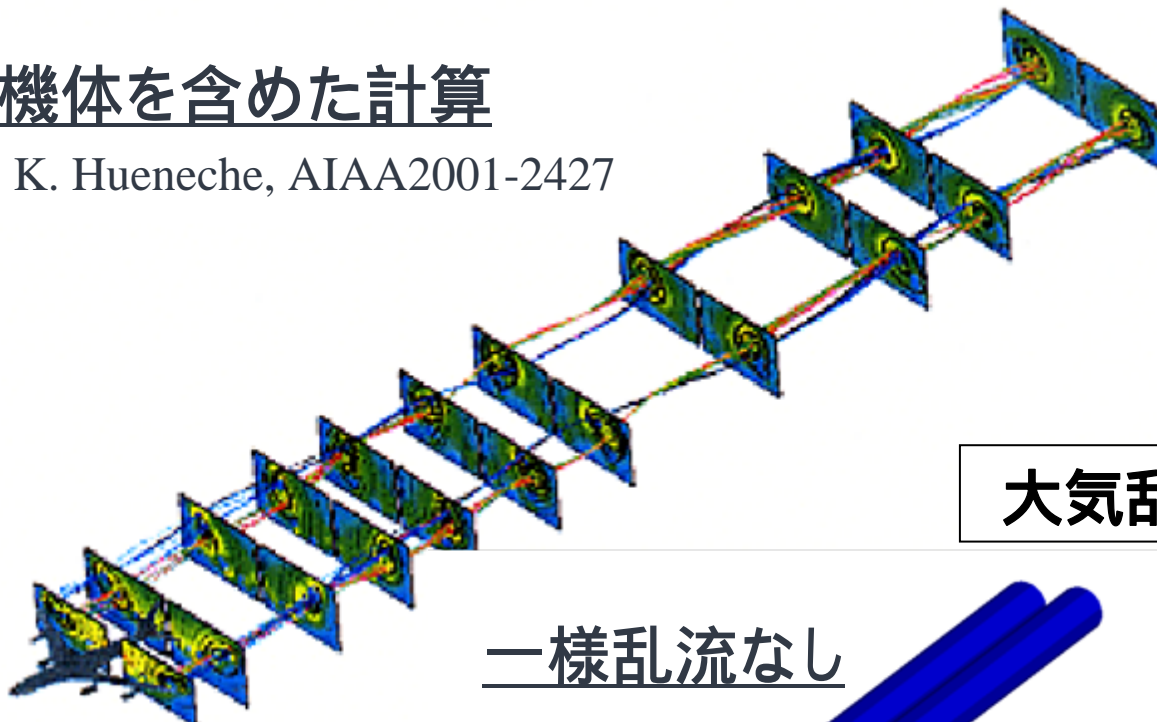


- リアルタイム計測・表示
- 空間分解能が低い
- レーザ視線方向 (LOS) 風速成分

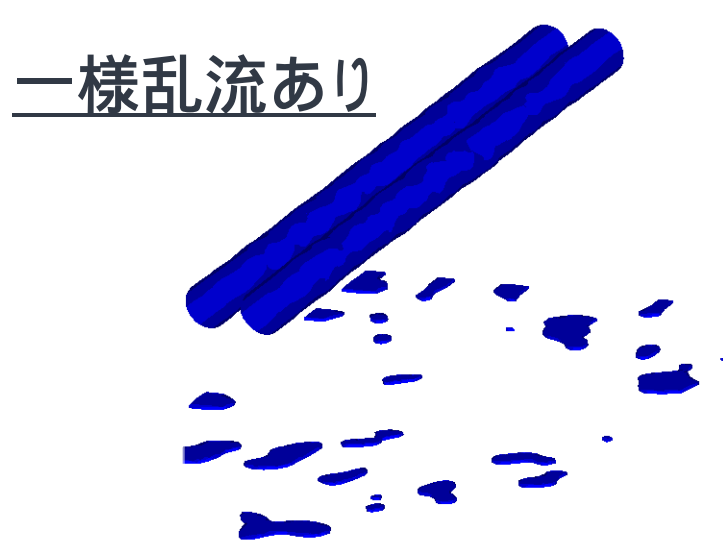
研究背景 – CFDによる研究–

機体を含めた計算

K. Hueneche, AIAA2001-2427



大気乱れが渦の減衰に大きく影響



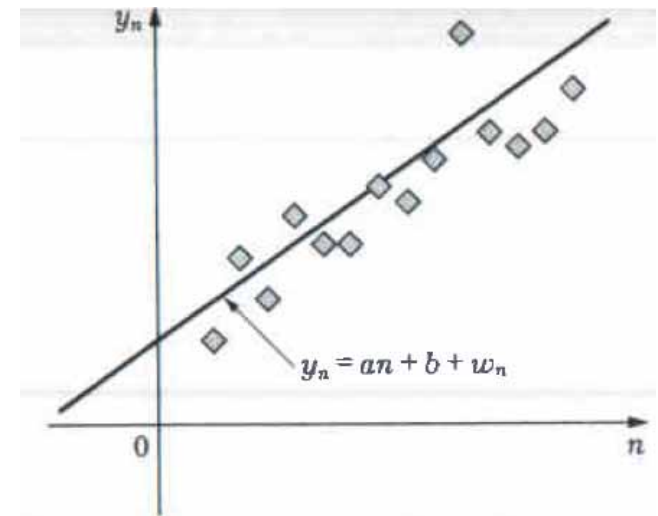
- 渦挙動の詳細解析
- 実条件の考慮は困難

データ同化 - シミュレーションへのデータの当てはめ -

統計を利用した典型的なデータ解析

- 少数のパラメータ (a, b) を持つモデルを観測データに当てはめる

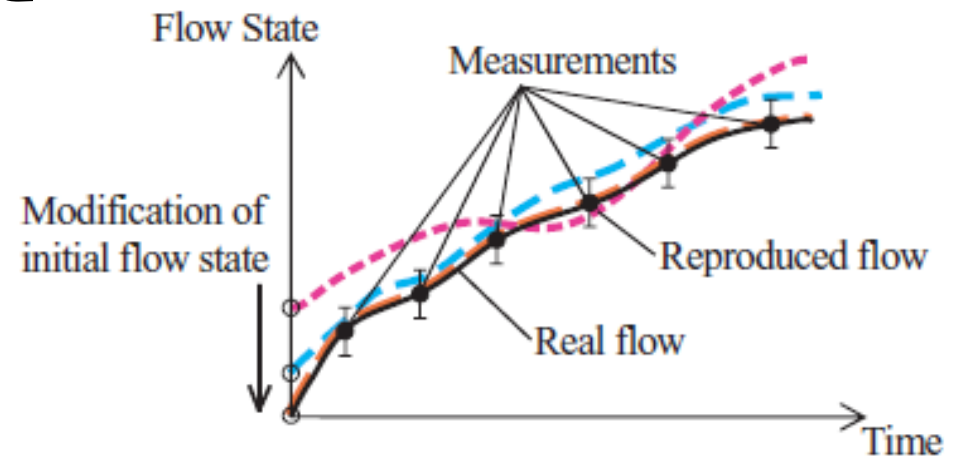
一次直線モデルの例



データ同化

- データにシミュレーションモデルを当てはめることで実現現象を推定

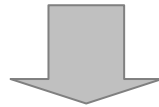
このとき、パラメータとなるのは初期・境界条件！



参考文献: 樋口知之ら, 「統計数理は隠された未来をあらわにする」, 東京電機大学出版局

本研究の目的

ライダー計測値(実現象, 低解像度)をデータ同化手法により
数値シミュレーション(BC・IC依存, 高解像度)に融合



実大気の影響を考慮した後方乱気流の解析

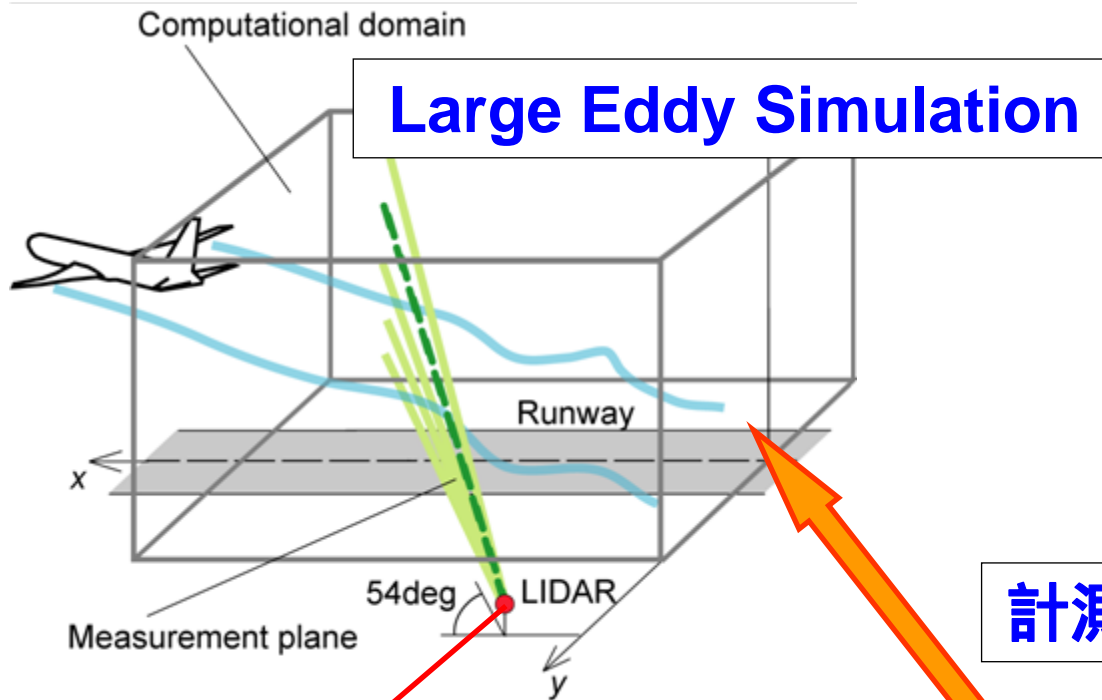


空港空域の監視システム, 柔軟な離発着間隔

本発表では,

- ライダー計測と数値計算の融合手法
- 実ライダーデータへの適用

後方乱気流の計測融合シミュレーション



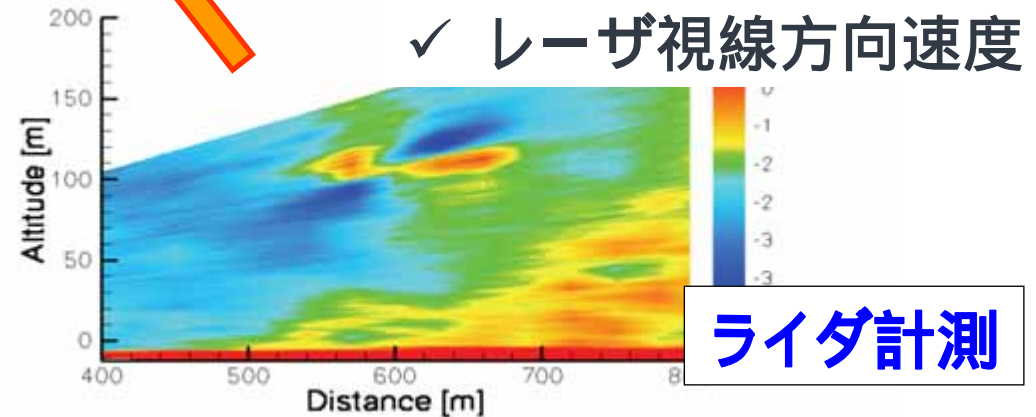
- ✓ 圧縮性N-S Eq.
- ✓ Smagorinsky model (渦流れへの修正)

$$K_m = (C_s \Delta)^2 |D| \sqrt{1 - 1.5 \left(\frac{\Omega^2}{D^2} + \frac{|\Omega|}{|D|} \right)}$$

計測融合 (4D-Var)



ライダ (ENRI)



4次元変分法によるライダー計測の同化(1)

データ同化プロセス

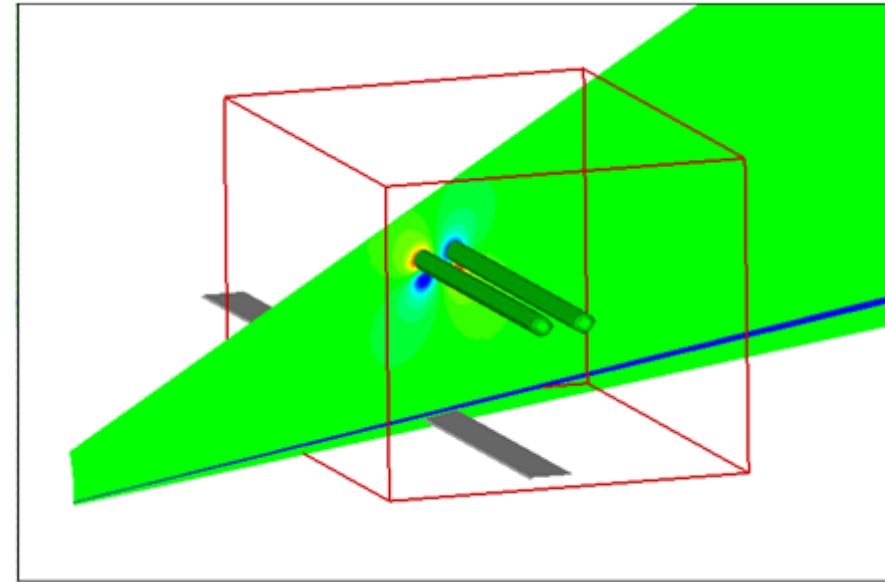
1. CFD計算中にライダー計測を模擬して
擬似ライダーデータを取得

2. 実ライダーデータと擬似ライダーデータの
差をコスト関数として定義

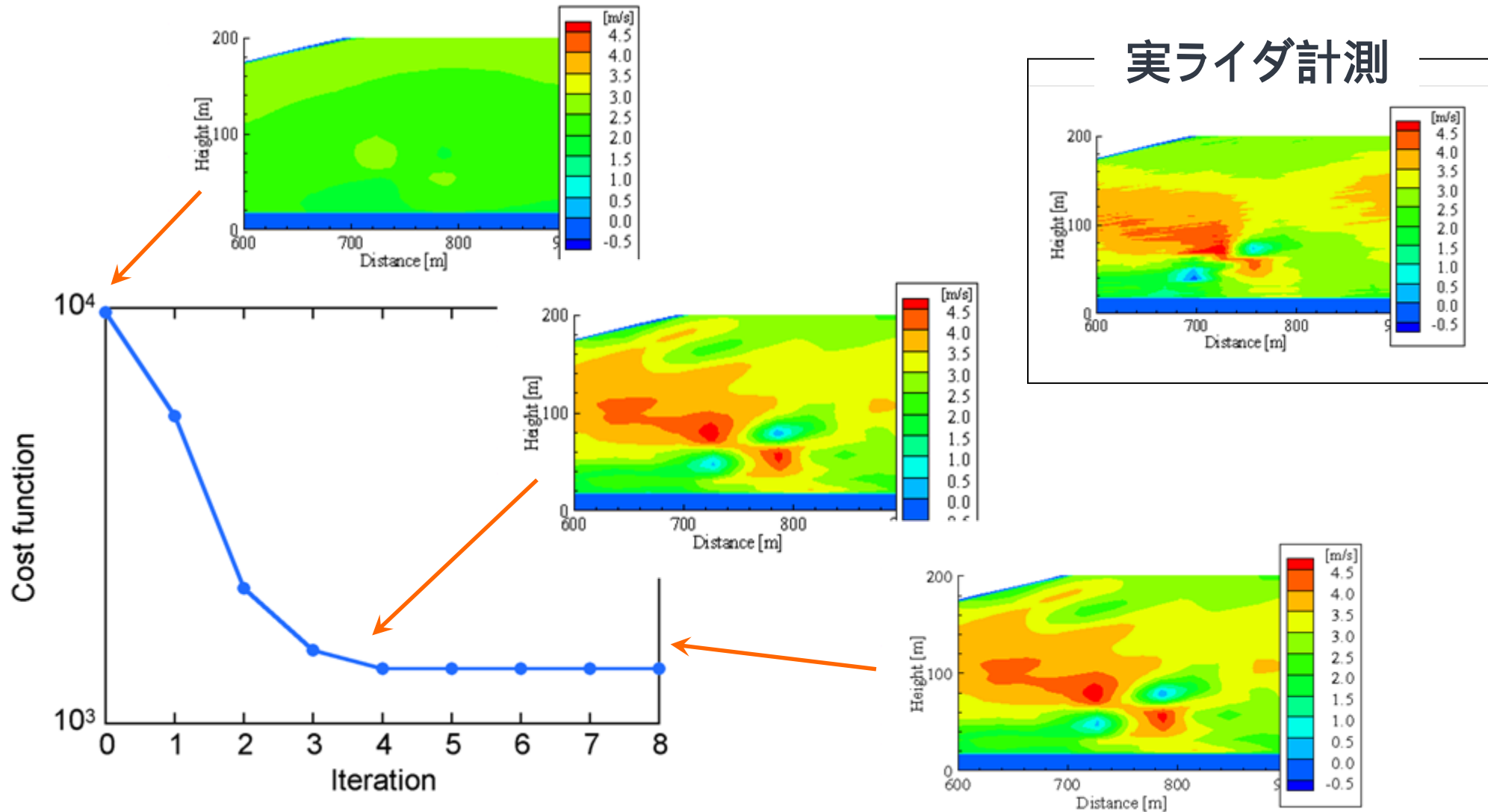
$$J_L(\mathbf{Q}_0) = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^N (H_i(\mathbf{Q}_i) - \mathbf{Y}_i)^T R_i^{-1} (H_i(\mathbf{Q}_i) - \mathbf{Y}_i)$$

3. アジョイント法によりコスト関数の最小化を行う
(設計変数は初期流れ場)

→ ライダー計測に一致する非定常流れ場が得られる

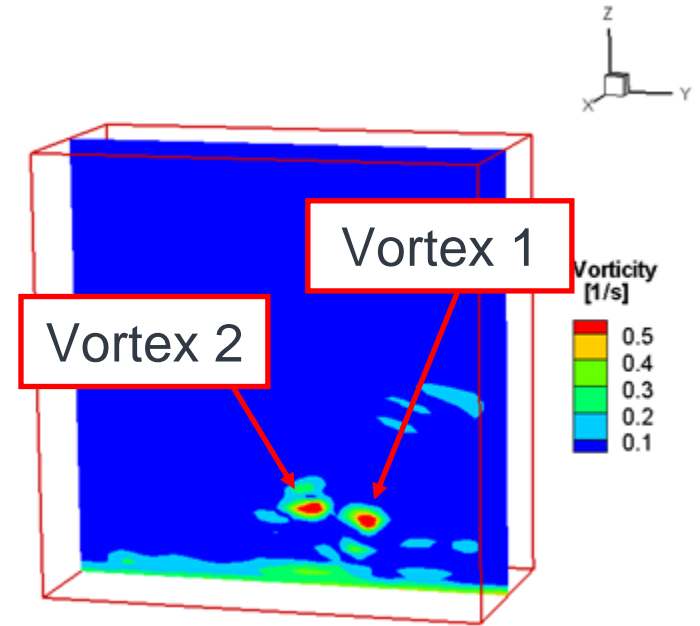
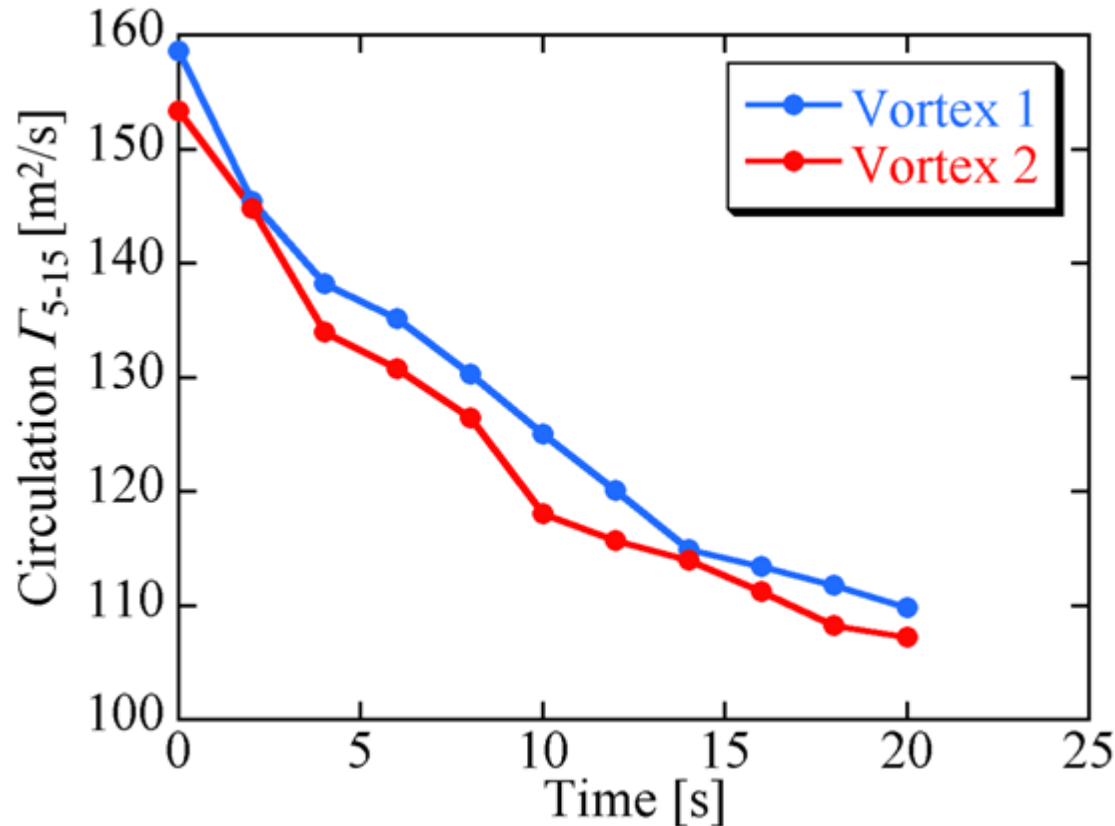


実ライダー計測への適用(1) - コスト関数の履歴 -



➤ 計測断面における速度分布の再現性を確認

実ライダー計測への適用(1) – 循環の時間履歴 –



一断面を計測する間
(20秒)の渦対の移流

- ライダ計測(断面2次元データ)
 - 循環の時間履歴(非定常3次元データ)

まとめ

- ライダ計測 + CFD: 4次元変分法
- 実データに適用: 翼端渦の移流・崩壊
- ライダ面データ 非定常空間データ

