

2016年9月9日
第10回MULレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム

小型無人航空機・MULレーダー同時観測実験

森 昂志¹・橋口 浩之¹・Lakshmi Kantha²
Dale Lawrence²・Tyler Mixa²・Hubert Luce³
Richard Wilson⁴・津田 敏隆⁴・矢吹 正教¹

¹ 京都大学生存圏研究所
² Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado Boulder, Boulder, Colorado, USA
³ Université de Toulon, CNRS/INSU, IRD, Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), UM 110, France
⁴ Université Pierre et Marie Curie (Paris06); CNRS/INSU, LATMOS-IPSL, Paris, France

研究背景

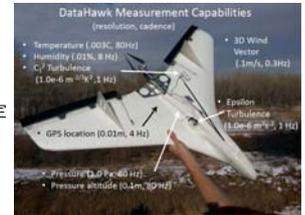
従来から下層大気の観測にはラジオゾンデ（気象気球）が用いられている
→ 風に流されるため、レーダーと同じ場所の観測が困難

対流圏の観測手法としてUAVが注目されている

(UAV: Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機)

- ・各種センサーを搭載
- ・プロペラや翼を装備
- ・GPSによる位置情報の取得, 飛行位置の指定

任意の場所のデータを取得できる



ShUREX2015の概要

- ・2015年6月に信楽MU観測所(滋賀県甲賀市信楽町)で実施
- ・UAVをMULレーダーの近くに飛ばして同時に運用 米グループがUAV運用を担当
仏グループがMURイメージング観測を担当
- ・気温, 湿度, 気圧, 風向, 風速の他, 乱流構造定数 C_T や乱流エネルギー消散率 ϵ などの乱流パラメータを測定
- ・ライダーやラジオゾンデも運用 (本発表では省略)

主な目的

- ・乱流パラメータについてMULレーダーとUAVの観測値を比較する
- ・UAVの大気観測装置としての有用性を実証する
- ・K-H不安定の構造や大気重力波などを測定する上で同時観測の相乗効果を実証する

MULレーダー周波数イメージング観測

位置	滋賀県甲賀市信楽町 34° 51'15" N, 136° 06'20" E
中心周波数	46.5MHz
周波数帯域	3.5MHz
アンテナ	直交八木アンテナ475本
構造	直径103m円形アレイ
機能	電子ビーム方向走査
ビーム幅	3.6° (半値全幅)
送信出力	1MW (尖頭電力)

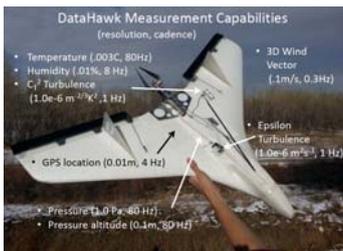


天頂方向の周波数イメージング観測と天頂角10°で北, 北東, 東, 南東, 南の5方向の観測

キャンペーンで使用したUAV

コロラド大学で開発された
DataHawk Small Airborne Measurement Systems (SAMS)
というUAVを使用

- ・両翼幅1m
- ・軽量(700g)
- ・低コスト(約1000\$)
- ・GPSによる自律飛行
- ・再利用可能

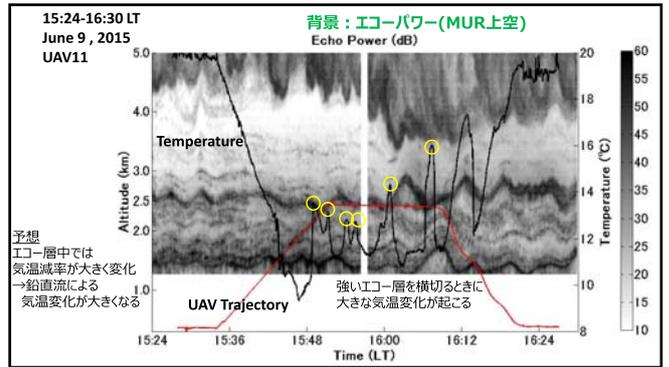
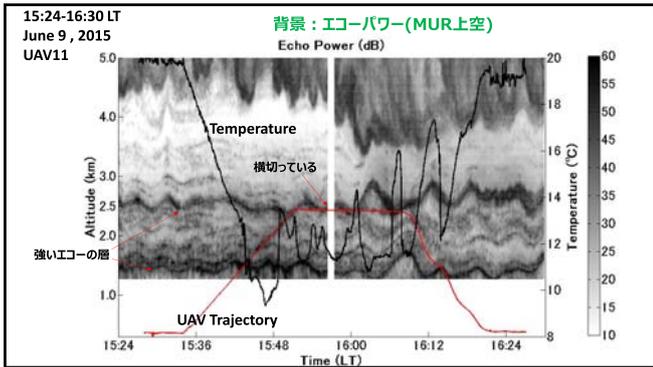


観測方法

- MULレーダーから離れた場所で離陸
- ↓
- 高度を上げながらMULレーダーに接近
- ↓
- MULレーダー上空をしばらく旋回
- ↓
- 打ち上げ場所に帰還



1回の飛行は30-60分



シミュレーション

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \underbrace{(\Gamma(t) - \Gamma_a)}_{\text{鉛直流に伴う気温変化}} w_{air}(t) \Delta t - \underbrace{\Gamma(t) \Delta Z}_{\text{UAVの高度変化に伴う気温変化}}$$

水平飛行中に観測した気温変化について鉛直流や気温の鉛直プロファイルを仮定してシミュレーションを行い、妥当性を確かめた

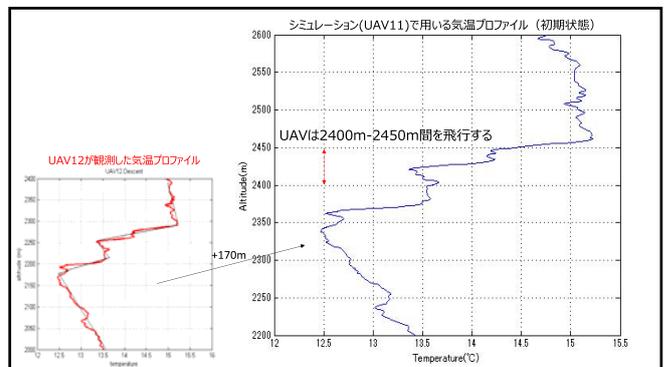
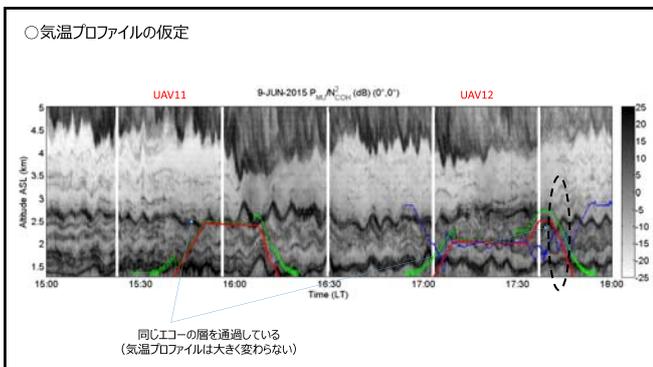
○鉛直流の仮定

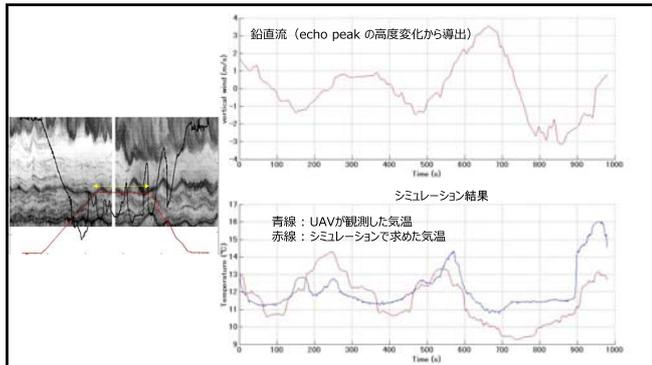
エコー強度が最も大きい層 (echo peak) の高度変化から鉛直流を導出

エコー層の影響で温度変化が起こるならば MURレーダーの観測値を使うより エコー層の高度変化から鉛直流を求めるべき

$$w_p(t) = \frac{\Delta Z_p}{\Delta t}$$

ΔZ_p : echo peak の高度変化
 Δt : MURのサンプリング周期(約4.15秒)
 $w_p(t)$: 時刻 t における echo peak の高度変化 [m/s]





まとめ

- ShUREXキャンペーンの中でUAVとMULレーダーの同時観測により下部対流圏のデータを取得した
 - UAVは下部対流圏ではラジオゾンデより有用な観測装置になる可能性がある
 - 水平飛行時に強いエコー層中で鉛直流と相関のある大きな気温変化が観測された
 - エコー強度の特に強い領域を飛行中に大きな変化が起こる
 - シミュレーションにより気温変化の大部分を再現できた
- 今後は
- 鉛直流と気温プロファイルを調整してシミュレーションを継続する。
 - 今年5/26～6/13のデータも用いて、UAVとMULレーダーで観測された乱流パラメータを比較・解析する