

## 大気成層構造の小型無人航空機・MUレーダー同時観測

# 橋口 浩之 [1]; 森 昂志 [1]; Luce Hubert[2]; Kantha Lakshmi[3]; Lawrence Dale[3]; Mixa Tyler[3]; Wilson Richard[4]; 津田敏隆 [5]; 矢吹 正教 [1]

[1] 京大・生存圏研; [2] ツーロンヴァール大学; [3] コロラド大; [4] LATMOS-IPSL, UPMC; [5] 京大・生存研

## Simultaneous observations of atmospheric structure with UAV and the MU radar

# Hiroyuki Hashiguchi[1]; Takashi Mori[1]; Hubert Luce[2]; Lakshmi Kantha[3]; Dale Lawrence[3]; Tyler Mixa[3]; Richard Wilson[4]; Toshitaka Tsuda[5]; Masanori Yabuki[1]

[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] Toulon-Var University; [3] Univ. of Colorado; [4] LATMOS-IPSL, Pierre and Marie Curie University; [5] RISH, Kyoto Univ.

<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/~hasiguti/>

Turbulence mixing is an important process that contributes to the vertical transport of heat and substance, but it is difficult to be observed because its scale is very small. The atmospheric radar transmits the radiowave and receives backscattered echoes from turbulence to measure wind velocity profiles with high time resolution, so it has advantage in the observation of atmospheric turbulence. The MU (Middle and Upper atmosphere) radar is the atmospheric radar located at Shigaraki, Koka, Shiga Prefecture, has the center frequency of 46.5 MHz, the antenna diameter of 103 m, and the peak output power of 1 MW, and has been operated since 1984. In 2004 it is upgraded to enable radar imaging observation which provides us the improved range resolution data. The MU radar can be most accurately image the turbulence structure and is the most powerful tool to study the relationship to meso-synoptic scale phenomena. For example, although atmospheric turbulence due to the Kelvin-Helmholtz instability is known to occur in strong wind shear region, continuous turbulence structure under the cloud base has been imaged by the MU radar.

In recent years, small unmanned aerial vehicle (UAV) has been attracting attention as an observation tool of the lower atmosphere. As Japan-USA-France international collaborative research, ShUREX (Shigaraki, UAV-Radar Experiment) campaign using simultaneously small UAVs developed by the University of Colorado and the MU radar has been carried out in June of 2015-2017. The UAV is a small (wing width about 1 m), lightweight (about 1 kg), low cost (about \$1,000), reusable, autonomous flight possible using GPS, and it is possible to obtain a high-resolution data of the turbulence parameters by the temperature sensor of 100-Hz sampling, in addition to temperature, humidity, and barometric pressure data of 1-Hz sampling. Take-off and landing of the UAV was carried out at a pasture in 1-km southwest from the MU Observatory. The flight method previously programmed in advance takeoff before, it is also possible to change the flight method after takeoff according to the situation. It is possible to continuously fly about one hour.

The time-altitude cross-section of the echo intensity obtained with the range imaging mode of the MU radar and temporal variations of UAV altitude and temperature measured by the UAV are shown in the figure. At 15:50-16:10, the UAV was flying horizontally, but large temperature variations were observed. Temperature variations correlated with the vertical fluctuation of the strong echo layer existing around the flight altitude, and a good correlation was found with the vertical flow observed by the MU radar. From the vertical profile of the temperature measured by UAV in the following time period, it is confirmed that a deep temperature inversion layer existed and a strong echo layer accompanied it. By modeling the measured temperature profile and assuming that the temperature profile varies up and down according to the echo layer, temperature variation was reproduced. It was almost consistent with the observation result.

乱流混合は熱や物質の鉛直輸送に寄与する重要なプロセスであるが、そのスケールが極めて小さいことから観測が難しい現象の一つである。地上から上空に向けて電波を発射し、大気の流れに散乱されて戻ってくる電波を受信することで、上空の風向風速等を高時間分解能で測定する大気レーダーは、大気乱流からの散乱エコーを観測すること、時間・空間的に連続観測可能である点で、大気乱流の観測装置として優位にあるが、従来空間分解能に限界があった。MUレーダーは滋賀県甲賀市信楽町に設置された、中心周波数 46.5MHz、アンテナ直径 103m、送信ピーク出力 1MW の大気観測用大型レーダーであり、1984 年から運用されているが、2004 年に高機能化への大幅改修が行われ、レーダーイメージング(映像)観測が可能となった。その後、イメージング観測手法の開発・改良が重ねられ、現在ではレンジ分解能が飛躍的に向上した観測が可能となっている。MUレーダーは現在のところ乱流を最も正確に映像化でき、それらの発生・発達・形成メカニズムや、メソ〜総観規模現象との関連を研究する上で最も強力な測器である。例えば、風速の変化が大きいところでは、ケルビン・ヘルムホルツ不安定により乱流が発生することが知られているが、雲底下で持続的に乱流が存在する様子が MU レーダー観測によりイメージ化されている。

近年、下層大気の観測手段として小型無人航空機(UAV)が注目されている。2015~2017年の6月に気象センサーを搭載した小型 UAV と MU レーダーとの同時観測実験を実施した。日米仏の国際共同研究により、コロラド大で開発された UAV を用いて、MU レーダーとの同時観測実験(ShUREX(Shigaraki, UAV-Radar Experiment)キャンペーン)が行われた。UAV は、小型(両翼幅約 1m)、軽量(約 1kg)、低コスト(約 \$1,000)、再利用可能、GPS による自律飛行可能で、ラジオゾンデセンサーを流用した 1Hz サンプリングの気温・湿度・気圧データに加えて、100 Hz の高速サンプリングの気温セン

サーによる乱流パラメータの高分解能データを取得可能である。UAVの離着陸は、信楽MU観測所から南西へ約1kmの利用休止中の牧草地を借用して行った。飛行方法は予め離陸前にプログラムしておくが、状況に応じて離陸後に飛行方法を変更することも可能であり、約1時間の連続飛行が可能である。

図にMUレーダーのレンジイメージングモードで得られたエコー強度の時間高度変化とUAVに搭載されたセンサーで得られた気温の時間変化を飛行高度とともに示す。15時50分～16時10分にUAVは水平飛行しており、4-5分周期でMUレーダーを中心とした半径400-500mの円を描いて半時計回りに旋回していたが、水平飛行中にも関わらず、大きな気温変化が観測された。気温変化は飛行高度辺りに存在する強いエコー層の上下変動と相関があり、MUレーダーで観測された鉛直流とも良い相関が見られた。その後の時間帯にUAVで測定された気温の鉛直プロファイルから、深い温度逆転層が存在し、強いエコー層はそれに伴うものであると考えられる。測定された気温プロファイルをモデル化し、その気温プロファイルがエコー層と同様に上下変動していると仮定して、気温変化を再現したところ、概ね観測と整合的な結果が得られた。

