

グライダーを用いた下層大気中の乱れの in situ 観測

佐藤 博紀(北大院・環境)・藤吉 康志(北大・低温研)

1. はじめに

航空機事故の多くはケルビン-ヘルムホルツ不安定波を成因とする晴天乱流によって発生すると考えられている。しかし、事故は、気象観測データが不十分な航路上で発生し、かつ航空機データは非公開が原則であるため、晴天乱流の実態解明はほとんど進んでいない。そこで、最新鋭の各種リモートセンサー(後述)の観測範囲内を各種観測装置を取り付けたグライダーで飛行し、両者のデータを比較することで機体の揺れの原因解明を目指している。

2. グライダー観測

グライダーとは、エンジンを持たない飛行機であり、主に滑翔競技やレジャー用途に使用されている。離陸の際は、セスナ機やウインチ、自動車などに曳航されることが必要であるが、離陸した後は、サーマルや山岳波などの上昇気流を乗り継ぎ、より高く、より長い時間飛ぶことを目指す。図1にグライダーの外観を示す。



図1 本研究で観測機として使用したグライダー

グライダーを気象観測に用いる利点を挙げると、1)高度3km程度までであれば、比較的自由に飛行できる。2)飛行中は周囲の空気との相対速度が小さいため、機外へ出す

センサー部の保護が容易で通常の観測測器が使える。3)機体が軽量なため、大気の運動による動揺を直接観測できる。4)大気を汚さない。5)ゾンデ、ドローン、模型飛行機、パラグライダーなどに比べて多くの観測装置を用いた同時観測が可能。

観測は、北海道滝川市のたきかわスカイパークの協力の下、複座のグライダーに3軸振動計(MTi-G)、3本の高速熱電対、2種類の温湿度計、気圧計、エアロゾルカウンター(OPC)およびエアロゾルサンプラー(インパクター)、GPSビデオカメラなどを搭載して実施した。3軸振動計は計器盤上に設置し、他の測器のセンサー部分とOPCとインパクターの吸引チューブをまとめ、風防を取付けて機外へ出し測定した(図2)。これらのデータはGPSで時刻同期して記録した。

観測は自由対流圏高度(通常3km程度)までセスナ機に曳航され上昇し、離脱後、同所に設置した3次元走査型ドップラーライダー(以下、3D-CDL)が観測する空間内を滑空した。これまで、2014年の8月~11月(10回)、2015年8月~11月(10回)、計20回観測を実施した。事例の多くは、大気境界層内では3次元的に大きく揺れるという予想通りの結果を示した。その一方、自由対流圏では揺れが小さく、かつ、水平方向の揺れが鉛直方向の揺れよりも卓越するという新たな知見が得られた。

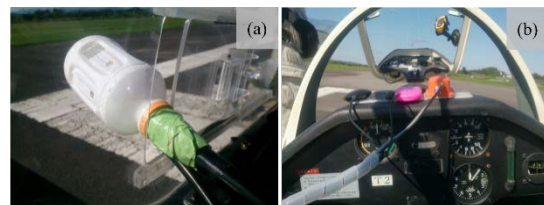


図2(a)計測プローブをまとめて入れたペットボトル、(b)観測機計器盤上に固定した3軸振動計とGPSアンテナ。

次節では、この傾向がよく分かる2014年9月14日の事例を紹介する。

3.観測事例 (2014年9月14日観測)

図3(a)は3D-CDLのS/N比の時間平均図に、グライダーの航跡(青線)を重ねた図である。S/N比が1.3 km付近で急変し、ここが大気境界層の上端である。一方、図3(b)に示したドップラー速度の時間平均図を見ると、1 km付近で上下の風向が異なっていることから、大気境界層が2層構造であったことが分かる。グライダーで測定した物理量を見ると、0.8~1.3 kmの層はそれ以下と比べて湿度が高く、かつ、エアロゾルの数濃度が低くなっており、明らかに大気質が異なっていることが確認できる。さらに、機体の乱れの指標である加速度の鉛直分布を見ると、大気境界層の上端(1.3 km付近)と0.8 km付近で大きな値を示している。

図4に最大の揺れを示した高度1.3 kmをはさむ高度範囲で測定した各種物理量の水平分布を示した。グラフ右から左に向かって高度が下がっている。2箇所所鉛直方向の大きな揺れ(最上段:赤線)が発生した(赤枠内)。鉛直速度(V_z :青線)を見ると上部の揺れは強い下降流で、下部の揺れは上昇流による揺れであった。上部の強い揺れと同時に、エアロゾル数密度が急低下していることは、大気境界層より上の清浄な空気が下向

きに入り込む(エントレインメント)流れによって機体が大きく揺れたことを意味している。さらに、高速度熱電対で測定した気温(最下段:赤線)が低くなっていたことから、上端付近に発生した雲粒の蒸発という非断熱効果が示唆される。一方、下方の揺れは気温もやや高いことから、下から貫入してきたサーマルによるものである。

4.まとめ

本研究によって、気象観測プラットフォームとしてのグライダーの有利性を示すことができ、かつ、地上リモートセンサーと組み合わせることで、大気中の乱れの正体を明らかにできる可能性を示すことができた。

謝辞:本研究は文部科学省科学研究費科研(B)(H26-H28)より研究資金を得た。

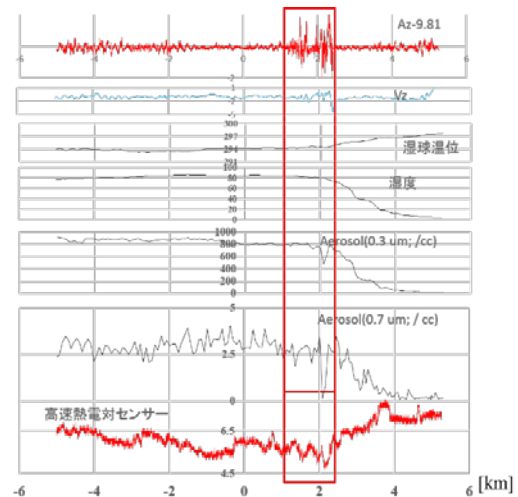


図4 揺れが最大を示した高度範囲の各種物理量の水平分布。

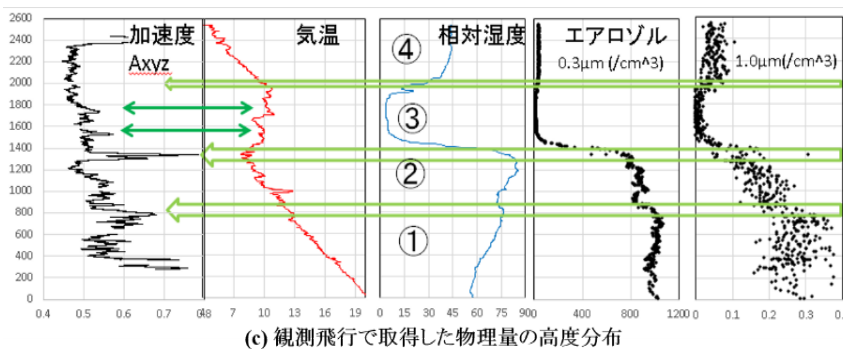
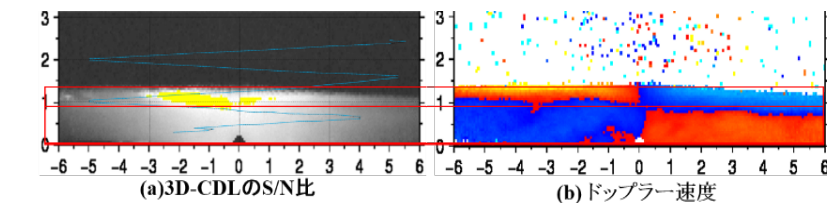


図3 3D-CDLで取得したデータ高度分布と観測飛行で取得した物理量の高度分布