

## ドローンを用いた大気流速場の局所計測

荒川弘之\*、杉田 暁\*\*、佐々木 真\*\*\*、稲垣滋\*\*\*

\*島根大学、\*\*中部大学 中部高等学術研究所 国際 GIS センター、\*\*\*九州大学 応用力学研究所

## 1. はじめに

地表面近傍（～地表100m程度）の大気の流れ場（ビル風等）は我々の生活・環境に直結している。例えば、農業においては、作物の生育・霜による冷害、また都市部におけるヒートアイランド現象やPM2.5等の微粒子状の大気汚染物質の人体への取り込み（文献：1）、ビル風による突風がある。また、産業分野においては、風力発電の効率に影響する。これらの解明には、地表面近傍（～地表100m程度）の三次元的な大気の流れ場を得る必要がある。しかし、測定には、衛星観測装置からの測定では分解能が悪く、かつ鉛直方向の測定が困難である。また、地上の測定装置であるドップラー・レーダーやフェーズドアレイ・レーダー等は、非常に高価な機器であり、局所の流れ計測には不向きである。

そこで、本研究では、現在普及が進んでいるマルチコプターに代表されるドローンに着目した。ドローンにはカメラの他、自律飛行のための気圧センサーや傾きセンサー等多くのセンサーを積載している場合が多い。本研究では、大気中のドローン搭載のセンサー群から局所的な大気の流れ場を求め、デジタルアース上に付加する。今年度は（1）風洞を用いたドローンと風速の校正データを元に、実際の大気中の風速を導出した。（2）気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)データとドローンによる風速データを表示するWebアプリケーション開発を行った。（3）本手法の自作ドローンへの適用を検討し、実証のための自作ドローンの制作を行った。

## 2. 方法

(1)九州大学応用力学研究所所有の風洞を用いて、DJI社製mavic miniのプロペラ回転数、及びドローン傾きと風速との対応関係から、大気中にホバリング中のドローン風速を再構成した。

(2)気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)データ（文献：2）から得られた風速とドローンから導出した風速データを比較し、インタラクティブに地図上に表示するWebアプリケーション開発を行った。Webアプリケーション開発においては、オープンソースライブラリであるleaflet（文献：3）、plotly（文献：4）、Shiny（文献：5）を用い、プログラム言語はR言語（文献：6）を用いた。

(3)セキュリティに優れたドローン開発を行うため、オープンハードウェア/オープンソースのpixhawk/ardupilot（文献：7）を用いた自作ドローン制作を行った。制作の際は、GNSS(GPS)に加え、高精度なホバリングを行うため、横方向の姿勢維持を行うためのオプティカルフロー及びレーザー高度センサーを設置した。

## 3. 結果

(1)図1に、校正データを元にドローンの前方方向(Front)及び横方向(Side)の風速の再構成図を示す。データ取り込みから約80秒後にドローンを上昇(約50m)させ、ホバリング状態を維持している。数秒から数十秒以上の風速変動が観測されていることが分かる。

(2)図2に、気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)データ及びドローンの風速ベクトルを示す。図2左図の背景にある多数の白線が、気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)のデータ(2020年2月11日10時)である。場所は島根県松江市周辺とし、航空写真データを背景に示している。また、風速の絶対値を透過色により示している。図2左

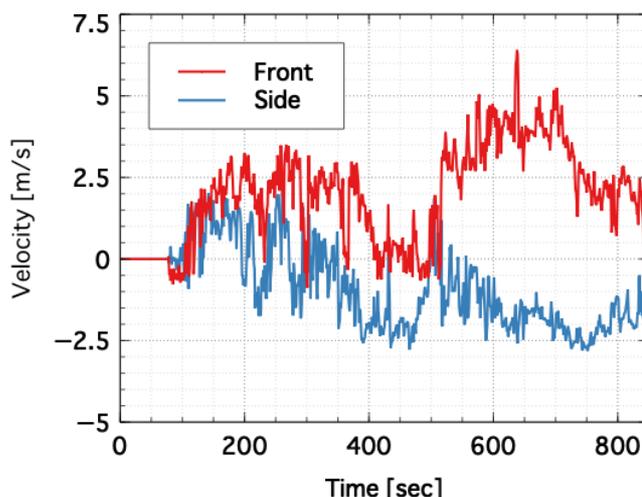


図1：DJI社製mavic miniを用いた風速再構成データ。ドローンに対して前方方向(Front)及び横方向(Side)の風速を示す。

図にドローンのアイコン及び風速ベクトル(赤線)を示す。ドローンのデータは2020年2月11日10時30分頃の3分間の測定値を用いた。図2右上及び右下は、緯度方向及び経度方向の風速を示す。気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)は1時間毎に対して、ドローンデータは1秒毎のデータである。それぞれの図の横線は気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)の値を示す。また縦線は図2左図においてドローンによる風速ベクトルを示している時刻を示す。ドローンを用いた計測では、平均値についてはおよそ気象庁数値予報モデルGPV(LFM)と同等の値を担保しつつ、時空間的にGPV(LFM)と比して圧倒的に微小な変動を捉えることに成功している。本Webアプリケーションは、図の拡大縮小がマウス操作で可能であり、また、任意の時刻への移動及び実時間での風速情報の再生が可能である。

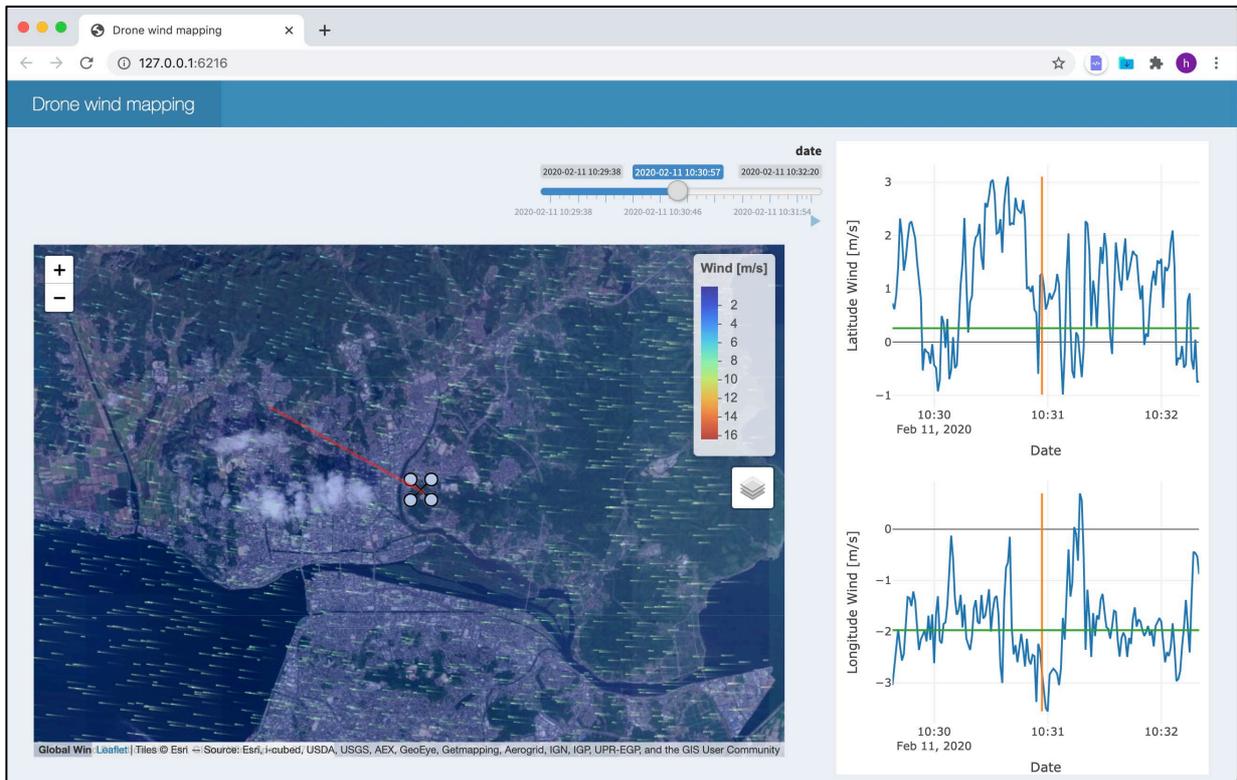


図2：開発したWebアプリケーション。気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)及びDJI社製mavic miniによる風速再構成データを用いた。左図は、ある時刻の風速ベクトルを多数の白線(気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM))及び赤線(ドローンによる再構成風速)で示している。

(3)図3に制作した自作ドローンを示す。ドローンは室内において、オプティカルフローセンサー及びレーザー高度計を用いることで、ホバリング飛行を行った。

#### 4. 考察

(1)これまででは、大型扇風機を用いた校正データを用いた風速再構成を行っていた。この為、風速0m/s周辺において分解能が高く得られず、値の不自然なジャンプが見られた。今回、風洞を用いた風速再構成により、低速な風速においても矛盾なく再構成が得られたと考えられる。

(2)Webアプリケーション開発により、異なる時間及び空間スケールの比較が可能になった。気象庁局地数値予報モデルGPV(LFM)では、数km



図3：pixhawk および ardupilot を用いた自作ドローン。

の範囲で1時間毎の平均風速データのみしか得られないが、ドローンによる局所・高時間分解能の風速データにより、より生活・環境に直結した流れの観測が可能になると考えられる。

(3) オープンハードウェア・オープンソースの自作ドローンにより、ブラックボックスのある市販ドローンと比べてセキュリティに優れる他、より細かくドローン姿勢データ(気圧センサーや傾きセンサー、プロペラ回転数)が得られると考えられる。一方で、自作ドローンで機器の設置を行う度に風洞で校正を行うことは現実的ではない。このため、野外においてGNSSを用いた簡易的な校正を行う手法開発が必要と考えられる。

## 5. まとめ

本研究により、異なる時間及び空間スケールの比較が可能となり、ドローンを用いた大気流速場測定のプラットフォーム基盤構築へ大きく近づいた。今後は、より扱いやすいプラットフォーム構築を目指す他、本手法を自作ドローンへ適用し、より汎用化を目指す。

## 6. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS202031 の助成を受けたものです。

## 参考文献・データ

1. 環境省, 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書, 2008.
2. 気象庁局地数値予報モデル GPV (LFM)  
[https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/cgi-bin/catalogue/make\\_product\\_page.cgi?id=KyoModel](https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/cgi-bin/catalogue/make_product_page.cgi?id=KyoModel)
3. Leaflet for R  
<https://rstudio.github.io/leaflet/>
4. Plotly R Open Source Graphing Library  
<https://plotly.com/r/>
5. Shiny  
<https://shiny.rstudio.com/>
6. The R Project for Statistical Computing  
<https://www.r-project.org/>
7. Ardupilot  
<https://ardupilot.org/>