

ドローンを用いた高層気象観測技術の開発

Development of an upper-air observation method using a drone

佐々木寛介¹・河見博文¹・○町田駿一¹
小島啓美¹・井上実²・辻本浩史²
渡辺豊³・名取悦朗³・平坂直行³

1. 一般財団法人 日本気象協会
2. 京都大学防災研究所
3. ルーチェサーチ(株)

研究背景

近年のドローン利用

空撮・航空測量

- 災害地域における上空からの写真撮影
- 測量機器を搭載しての地形測量

インフラ保守点検

- 人が立ち入れないような橋梁部などの保守点検

農業支援

- 薬剤散布
- 広大な耕作地での農作物の生育状況調査

...etc

気象分野では..

- 高度400mまでの気温の鉛直構造の観測事例(下山・渡邊,2016)
- ドローンを用いた気象観測例は少ない
- 上空の気温や風向風速の観測はラジオゾンデを用いた観測が一般的

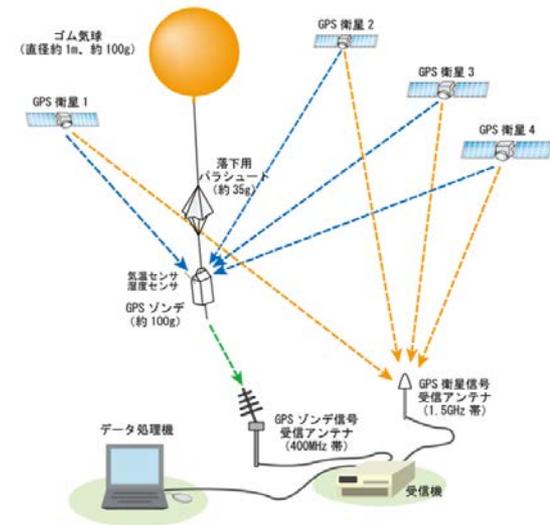


図 GPSゾンデによる高層気象観測方法

研究の目的

従来の高層気象観測法(ラジオゾンデ)の問題点

バルーン使用に伴う問題

- 上空で破裂後、どこに落下するかわからないリスク
- 上空で航空機等に衝突するリスク
- ヘリウムの供給不安

ゾンデ発信機を使い捨てにすることによる問題

- 環境にやさしくない
- コストがかかる



ドローン(UAV)を使って、上空の気温や風が計測できないか?



図 ゾンデによる高層気象観測の様子

研究内容

UAV耐風性能の把握

- 風洞施設を用いて、どれくらいの風速まで安全に観測可能かを把握する

バルーンの代替としてのUAV活用可能性調査

- 従来のバルーンの代替としてUAVを使用し、ゾンデ発信機による気温観測が可能か

UAV姿勢データからの風向風速逆推計手法の開発

- UAVの傾きなど姿勢データから、その場の風向・風速を逆推計する手法の検討

調査方法(UAVの仕様)

本研究では、6枚ブレードのマルチコプターを使用



図 本研究で使用したUAVの外観

表 本研究で使用したUAVの仕様

型式	SPIDER CS-6 (ルーチェサーチ(株))
機体重量	約3800g
外形寸法	950×950×400 mm
耐風速	約15m/s
飛行時間	約25分
搭載重量	約4000g
モーションセンサ	CSM-MG100 (東京航空計器(株))

調査方法(風洞施設)

本研究では、京都大学防災研究所の境界層風洞を利用した

実験は風洞施設の下流側の扉を開放し、UAVの飛行は屋外で実施した。

事前に、風速の断面分布を把握した。



図 本研究で使用した境界層風洞

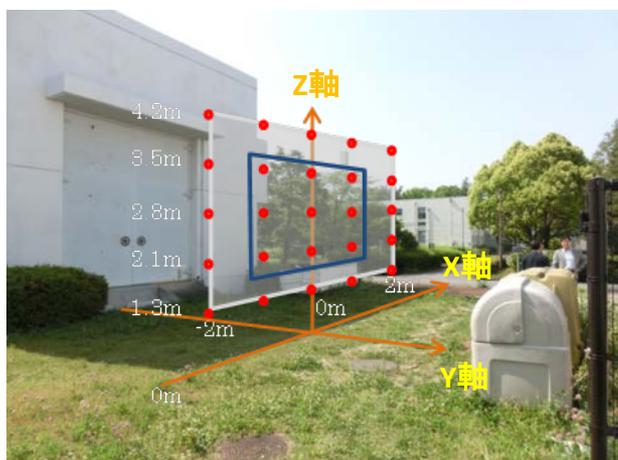


図 風速の断面分布測定ポイント(Y=6mの断面)

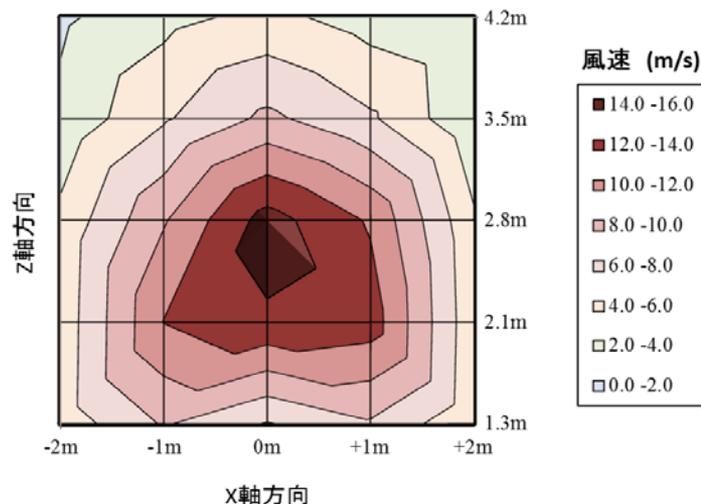


図 風速の断面分布測定結果(設定風速15m/s)

耐風性能の調査(1)

断面風速分布調査結果から、風洞設定風速と実風速がほぼ同等になるポイントでUAVをホバリングさせた。

X方向 0m (風洞Fanの中心)
Y方向 6m (扉出口からの距離)
Z方向 2.8m (地上からの高さ)

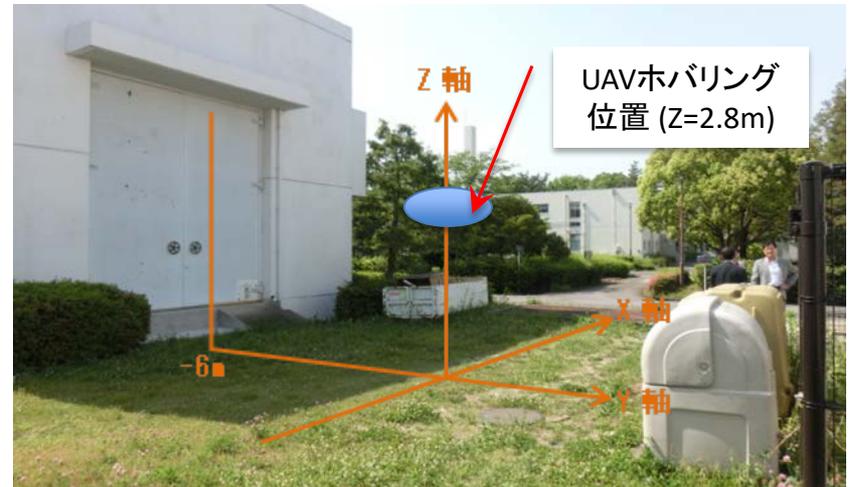


図 UAVのホバリングポイント

UAVホバリング位置の近傍で超音波風速計による風の計測を同時に実施した。

風洞の設定風速を
0 → 5 → 10 → 15 (m/s)
に段階的に変化させて、
UAVのホバリング時の挙動
を調査した。

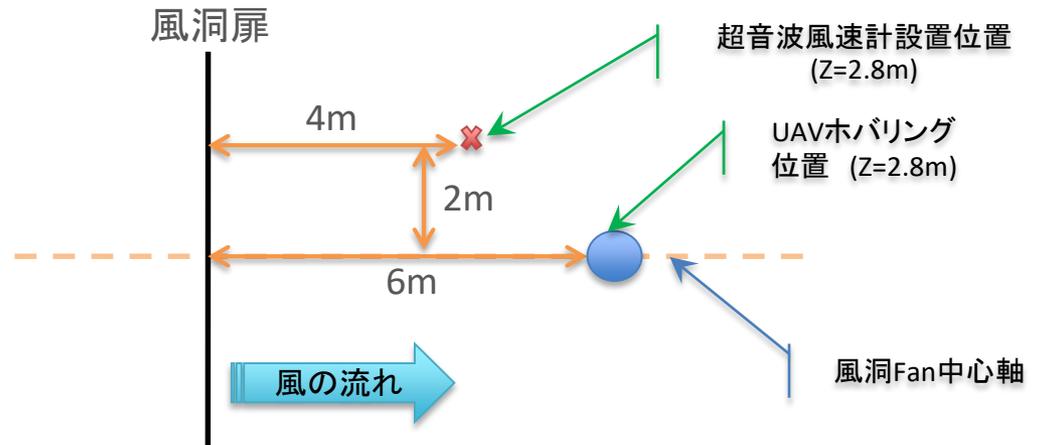


図 UAVのホバリングポイント・超音波風速計の位置関係 (上から見た図)

耐風性能の調査(2)

設定風速5(m/s)の場合は、
姿勢は比較的安定しており、
定位置でホバリング可能。



設定風速15(m/s)の場合は、
姿勢は機体のふらつきが
大きくなり、定位置でのホ
バリングが難しくなる。
また、風上方向に機体が
傾いている。



バルーンの代替としてのUAV活用可能性調査(1)

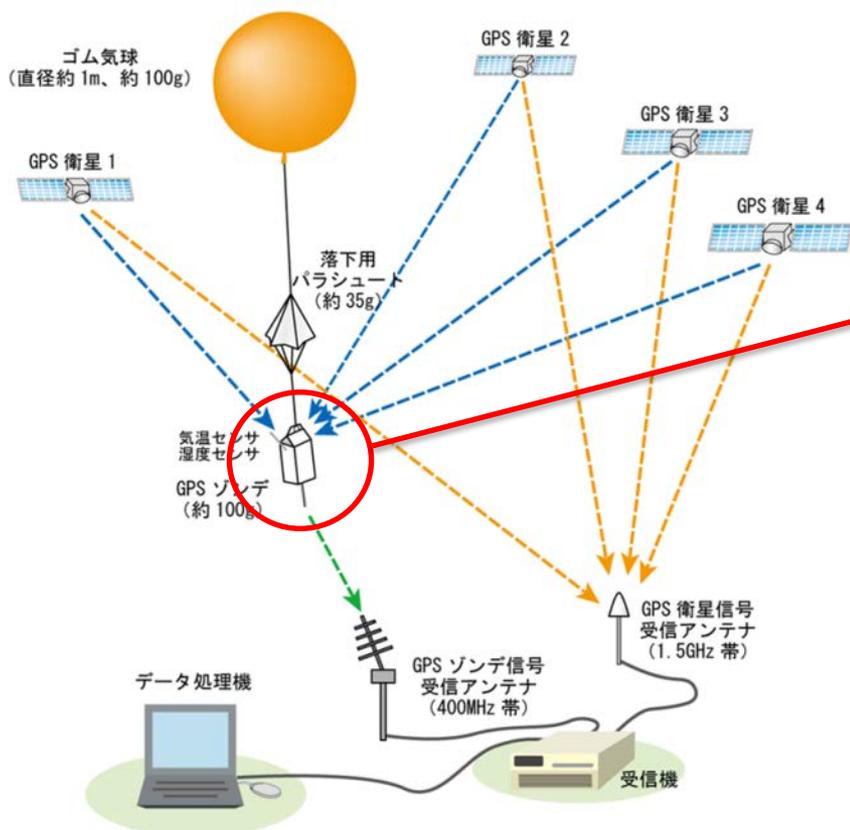


図 GPSゾンデによる高層気象観測方法



図 GPSゾンデ発信機のUAV搭載例

バルーンの代わりにUAVを使えば、上空の気温がリアルタイムで把握できるのでは？



ブレードが回転するとゾンデからの信号が受信不可になる現象が発生

バルーンの代替としてのUAV活用可能性調査(2)

発信機をUAVから1m以上離すと
受信障害が解消される



モーターまたは、UAVのコントローラー等
からの電磁波(ノイズ)がゾンデ発信機か
らの電波に干渉しているのではないか?



スペクトラムアナライザによる調査では、
干渉するような電磁波は観測されなかった

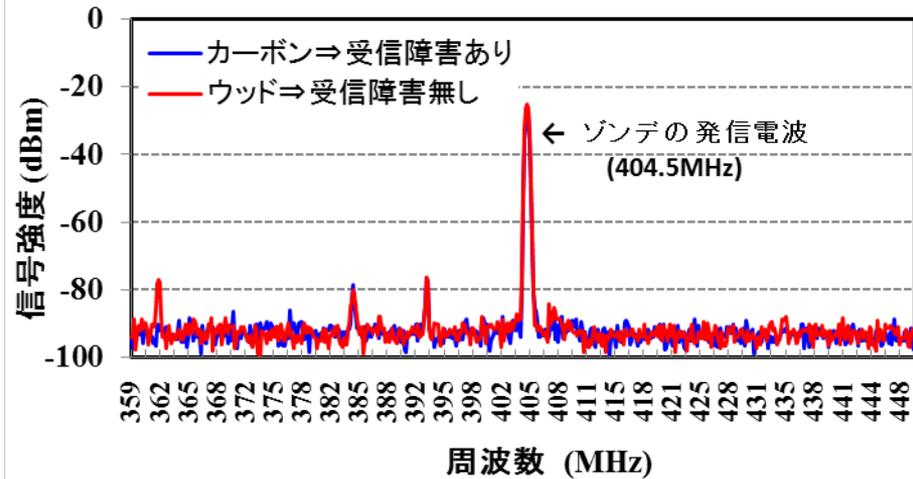


図 スペクトラムアナライザによるノイズ調査結果

一方で...

ブレードの材質を"カーボン"から"ウッド(木)"に変更する
ことで受信障害が軽減されることが分かった

風車の回転に伴う電波障害(遮蔽障害・反射障害)と同じ現象ではないか?

UAV姿勢データからの風向風速逆推計手法の開発(1)

GPSゾンデでは、単位時間当たりの移動方向・距離から上空の風向風速を算出



UAVでは別の方法を検討しないといけない

UAVは、ホバリング中に風が強くなると風上方向を向いて傾く特性がある



UAVの傾斜角と傾いている方向(方位角)から、風向風速を逆推計できないか?

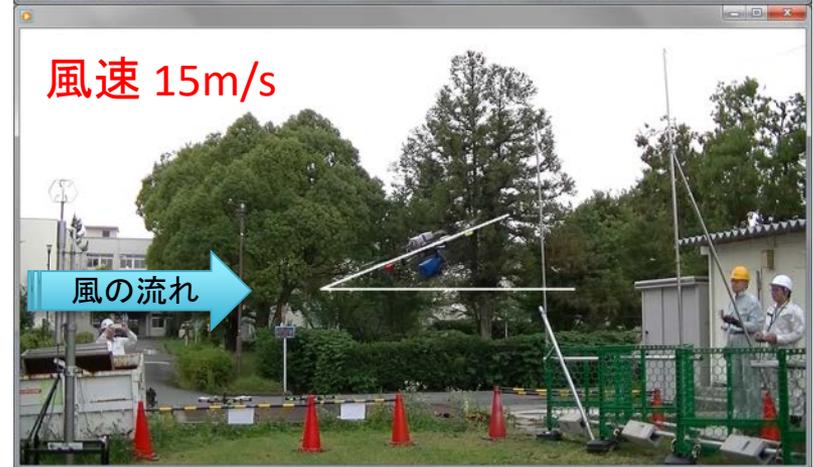
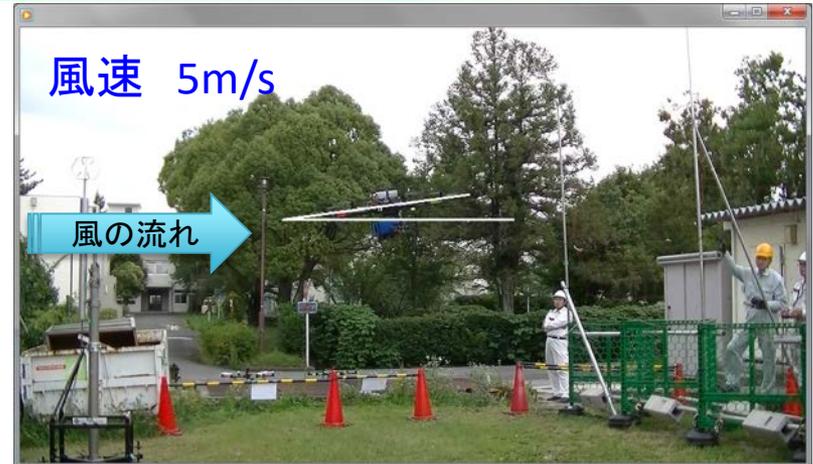


図 弱風時と強風時のホバリング姿勢の比較
(上図:弱風時 下図:強風時)

UAV姿勢データからの風向風速逆推計手法の開発(2)

【実験1】

風洞の設定風速を0 → 3 → 6 → 9 → 11 (m/s) に段階的に変化させて、UAVのホバリング時の傾斜角と最大傾斜方位角を調査した

*ホバリング2分間の平均値



風速が増大すると傾斜角が二次関数的に増加

【実験2】

UAVに2kg, 4kgのウエイトを搭載して、実験1と同様の調査*

*設定風速は 0→6→11(m/s)



Wt 4kg, 風速11m/s以外の条件では同一風速下の傾斜角にほとんど差はない

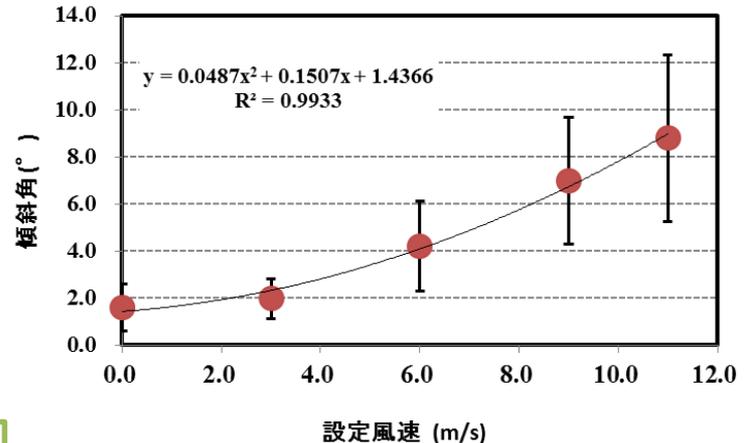


図 風速と傾斜角の関係 (Wt=0kg)

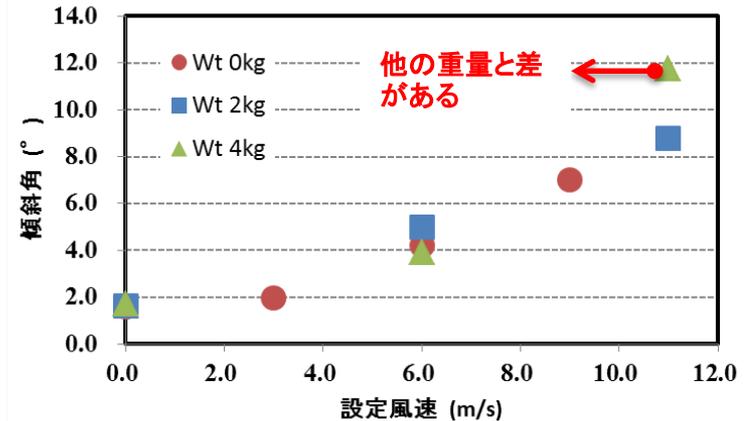


図 風速と傾斜角の関係 (積載重量別)

UAV姿勢データからの風向風速逆推計手法の開発(3)

【風向と最大傾斜方位角の関係】

強風時は、傾斜の方向は風上方向とほぼ一致するが、弱風時は風上方向とはややズレた方位を向いて傾く傾向がみられた

- ・ホバリングポイントの一般風の影響?
- ・もとの機体特性(重心が機体中心にないetc)?
→ 機体の状態によって推定式のキャリブレーションが必要?
- ・モーションセンサによる計測誤差(磁気コンパスへの干渉、キャリブレーション不足)?



UAVの姿勢データからその場の風向風速が逆推定できる可能性が示唆された
→強風時の強制帰還モード移行の判断にも応用できないか?

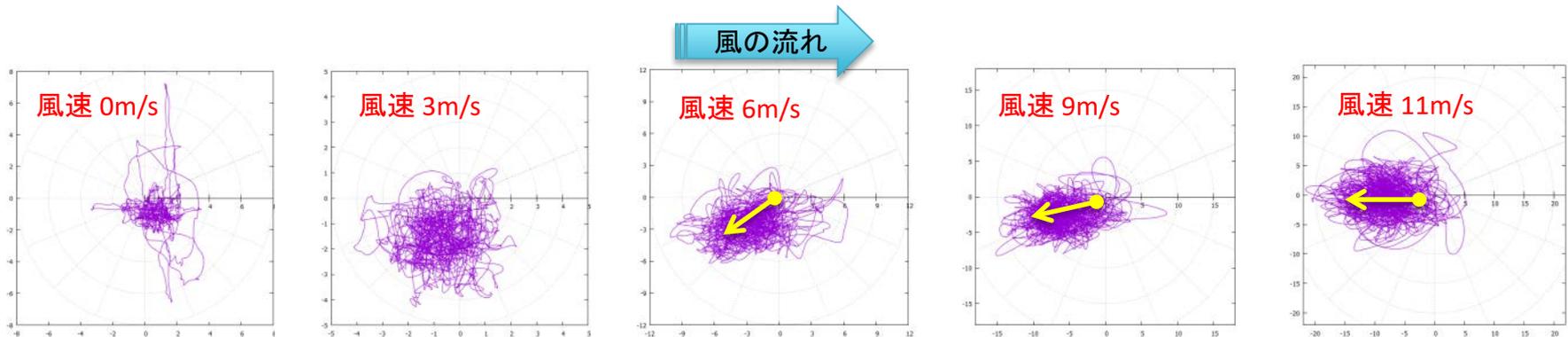


図 風速と最大傾斜方位角の関係 (r: 傾斜角度 θ : 最大傾斜方位角 の極座標で表現)

小型超音波風向風速計による風観測の試行

気象観測鉄塔との比較観測

京大防災研宇治川オープンラボラトリの気象観測鉄塔(高さ55m)による、気象観測データとの比較を実施

小型超音波風向風速計による風観測の試行

- 超音波風向風速計をUAVに搭載して、直接上空の風を測定することが可能か?

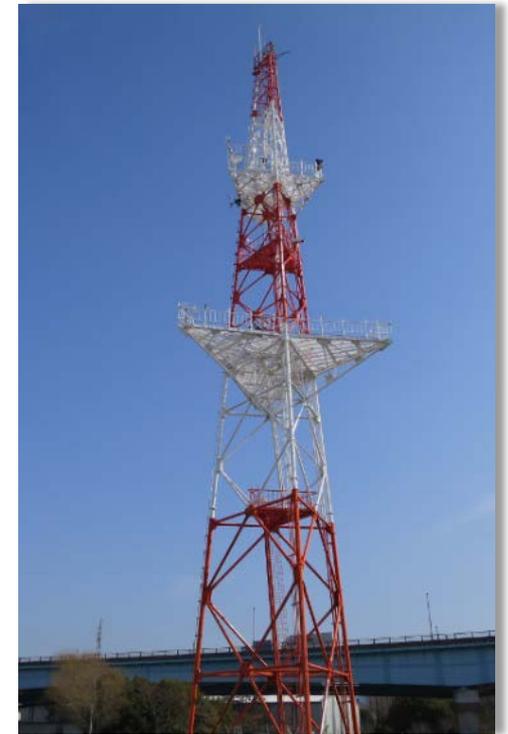


図 宇治川OLの気象観測鉄塔

小型超音波風向風速計による風観測の試行



小型の超音波風向風速計をUAVに搭載して、上空の風を直接観測

- 超音波風向風速計をUAVに搭載しても、飛行安定性にはほとんど影響しないことが確認できた
- 観測値と概ね風向・風速が一致している
- 今後は、ブレード回転に伴う、気流乱れの影響や3次元の傾斜の補正方法を検討する必要がある

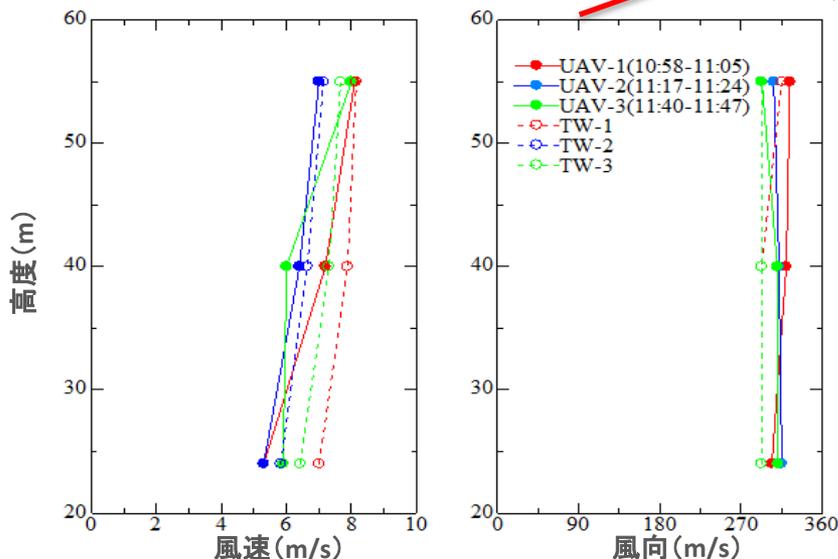


図 UAVに搭載した超音波風向風速計と気象観測鉄塔での観測値との比較



図 超音波風向風速計による観測

その他観測事例



図 高高度での気象観測
(大正池～焼岳周辺)

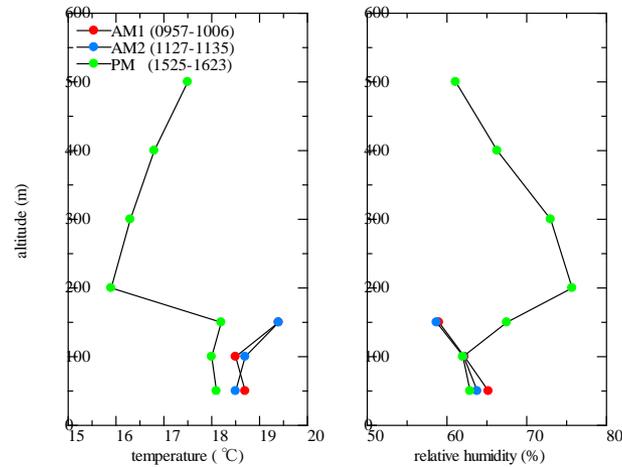
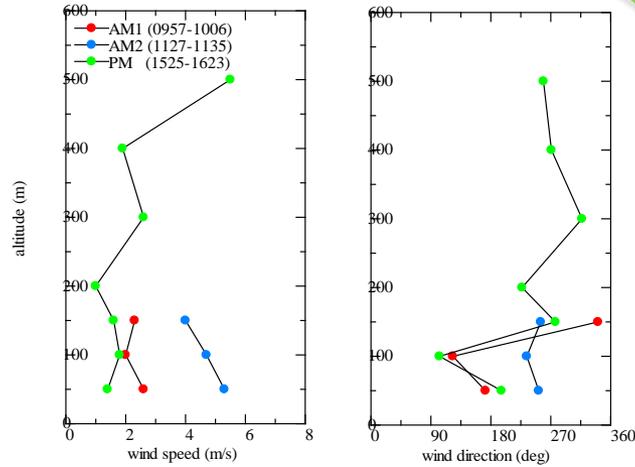
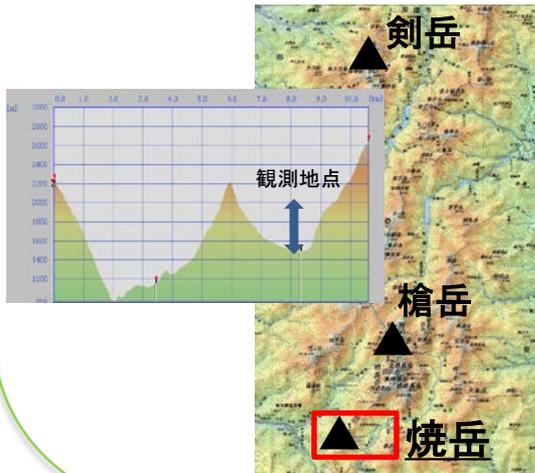


図 鉛直プロファイル(風、気温、湿度)



図 SO₂計搭載観測(桜島)



まとめ、今後の課題と展望

まとめ

- 今回使用したUAVは最大風速15m/s以下で運用する必要がある
- テレメトリー等でUAVからリアルタイムデータを送信する場合には、カーボンブレードの回転により受信障害が発生する可能性がある
- ホバリング時のUAVの姿勢データから、その場の風向風速を逆推定できる可能性が示唆された
 - 定性的な、風向風速の判断には使用可能
 - 定量的な推定には、観測毎のキャリブレーションが必要
- 超音波風向風速計による風向風速測定の可能性が示唆された

今後の課題と展望

- 超音波風向風速計による風向風速測定を想定した、3次元姿勢データによる補正方法の検討
- ローター回転に伴う、UAV機体周辺の気流乱れの影響把握
- 火山ガス・火山灰の調査、大気汚染物質の測定への利用