

# 局所天気予報への挑戦 ～空気の流れの可視化～

2年D組 小松 輝 齋藤 優希  
小野 政利 渋谷 亮汰  
佐藤 流伽 小松 大飛  
山田 将生 武田 凌

## 要約

テレビでよく見る天気予報でも、最も詳細なもので2km間隔・1時間毎までしか観測することができず、より細かい範囲での気象状況を知ることができない。そこで、今回の研究では、昨年の研究同様に気象要素の3要素である気温・気圧・湿度は「BME280 センサーモジュール」を使用し、風向・風速に関しては、自作の観測装置を使用して、2km間隔よりも細かい範囲で調査しようと思う。さらに空気の流れを可視化してわかりやすくするために「processing」を使用し、実験した。

## 1. 調査・研究の動機と目的

今回、この研究に挑戦した理由は、現在テレビで放送されている天気予報よりも細かい天気予報ができないのかという疑問や、昨年の先輩方の発表を聞いて、気象庁よりも狭い範囲での観測ができる自作の装置を作りたいと考えたからだ。

気象庁の気象衛星で観測したものであっても、早いもので2.5分後の画像が送られてくるだけである。それでは最新の気象状況を知ることができないと考えた。そこで、自作の装置で計測した値がすぐにパソコンの画面に表示されるようにし、昨年の先輩方のデータをもとに、さらに空気の流れを可視化して観測ができるようになれば、気象庁よりも狭い範囲の気象状況がすぐにわかると考えた。また、観測して出された結果をもとに図やグラフで示すことにより、正確で細かい気象状況を知り、今後の天気を予測することもできるのではないかと考えた。しかし、気象庁よりも細かい観測ができるような装置と言っても、観測機の台数の関係により限られた範囲での観測しかできないため、学校の中庭程度の狭い空間で実験を行うことを目標とした。

## 2. 研究の仮説・検証・調査・結果

### 仮説

空気の流れをビジュアルプログラミングの「processing」により可視化することで、さらに精度の高い天気予報ができるのではないかと考えた。

### 検証

#### (1) 概要

昨年と同様に気温・気圧・湿度の観測に関してはボッシュ社の BME280 センサーモジュールを使用して計測する。風向・風速については、1か所につき X, Y, Z の3方向について超音波スピーカーと超音波マイクをとりつける。超音波スピーカーから送出した超音波を超音波マイクが受け取るまでにかかった時間の長さを、GR-SAKURAと呼ばれるマイクローコンピューターで計測し、風速を計算する。

風向・風速についても、同様にセンサーモジュールを使って観測しようとしたが、壊れやすかったり、空気の流れを三次元にできなかったため不採用とした。また、ヒーター式のもの消費電力が大きく、そもそも風向が測れないためこちらも不採用とした。ほかにも、回転数で

風速を求めることができる風車式の機械を使うことも考えたが、プロペラ部分が何回も使用するうちに壊れてしまう可能性があったため、こちらも不採用とした。そこで、超音波を使って見かけ上の音速から風速を測定しようということになった。そのために、超音波を発生させることができる装置を製作し、送信機と受信機の2つを1組とする。その2つを向い合わせるようにして4か所に他の観測装置を設置する。

この装置は、X, Y, Zつまり縦、横、高さの3方向の送信機から出ている超音波が受信機まで届くとX方向は黄色、Y方向は赤色、Z方向は青色の検出回路基板上のLEDが点滅する。

また、今年は昨年よりも精度の高い予想を目標とするため、風向や風速を三次元で示すことのできる「processing」を使用した。

## (2) 多項式近似と、データの補完について

例えば気圧の場合、観測装置の数は限られるため、装置を設置した何か所かの気圧の分布を表す式を求めてしまえば、観測地点以外のデータも、座標を代入するだけで推定することができる。例えば、X方向だけで考えてみると、一見、複雑な形だが、一次関数、二次関数、三次関数などをブレンドすることで、近づける事ができる。この研究では、三次、二次、一次、X分の1、X<sup>2</sup>乗分の1、そして定数項のブレンドで式を表すことにした。

## (3) 空気の流れの可視化

空気の流れを可視化するために、「processing」というものを使った。

「processing」とは、電子アートとビジュアルデザインのプログラム言語で、グラフィックを書くためのビジュアルプログラミングである。「processing」を使用した理由は、GR-SAKURAとの親和性が高いということや、視覚的なフィードバックが即座に得られるということ、二次元や三次元で表すことが容易にできるという点があったからである。

## (4) 各装置の動作確認

### ①気温・気圧・湿度の観測装置について

気温・気圧・湿度の動作確認については、まず観測装置に息を吹きかける。その時、パソコンの画面には、左から気温・気圧・湿度の順で每秒表示され、観測される気温や湿度の上昇を確認できた場合、各装置の動作が正常に動いているとされる。

#### [1次元の多項式近似と拡散の様子]

測定地点の座標と値を代入した式6本を連立することにより関数の係数を求め、分布を表す近似式を求めた後、時間とともに拡散していく場合の例を右に示す。このように、関数さえ求めれば、任意の座標における値がわかり、時間変化を知ることができる。

### ②風向・風速の観測装置について

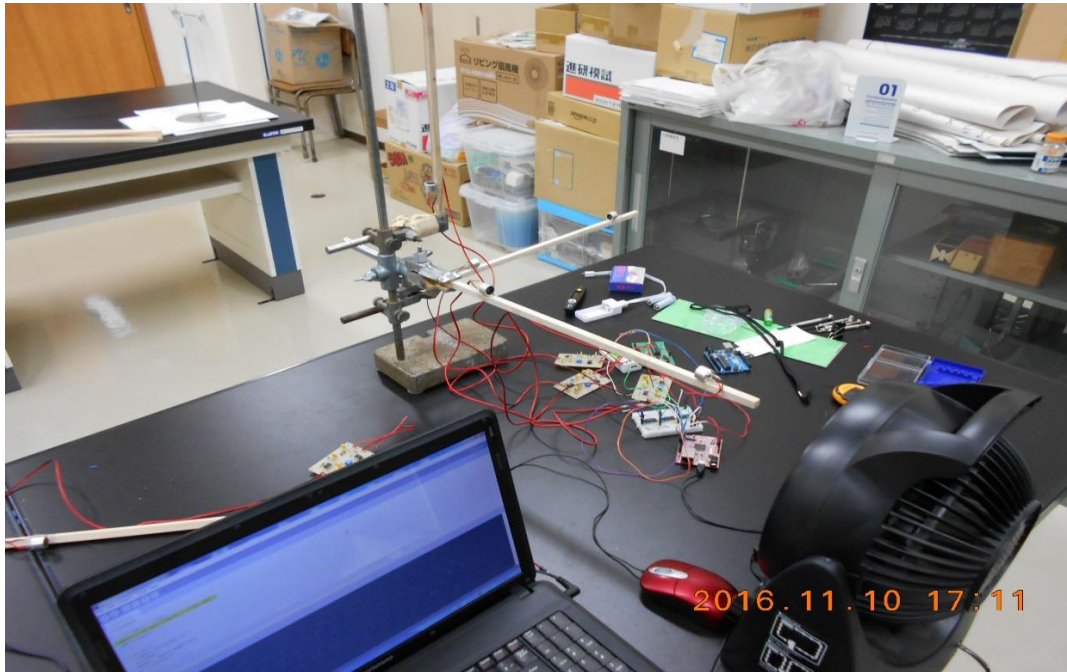
風向・風速の観測装置は超音波スピーカーから送出した超音波を超音波マイク受け取っていれば、LEDが点滅する。受け取っていなければ、LEDは点滅しない。その場合は、配線が間違っているなどの不備があるということになり、その修正を行う。

受信機から出された超音波が送信機に届くまでの時間を $\mu s$ で每秒表示される。

ばらつきが多いので、30cm間隔で計測したデータ10回分の平均を取っている。Errorは何らかの原因で測れなかったもので、平均をとる際に除外している。つまり、Errorの回数が少ないほど正確な数値である。No Dataは、障害物等によって超音波が遮られたなどの原因で1度も計測されなかった場合に表示される。三方向計測する予定なので、気温の下の数値をX, Y, Z方向に分けて表示するようにした。

(5) 1台での動作確認

※この写真はX方向のみの風速を計測している場合のものである



下の表は実際に観測した時の送られてきたデータの様子で、パソコンの画面には1秒毎に観測結果が送られてくる。

## 観測装置の変化量

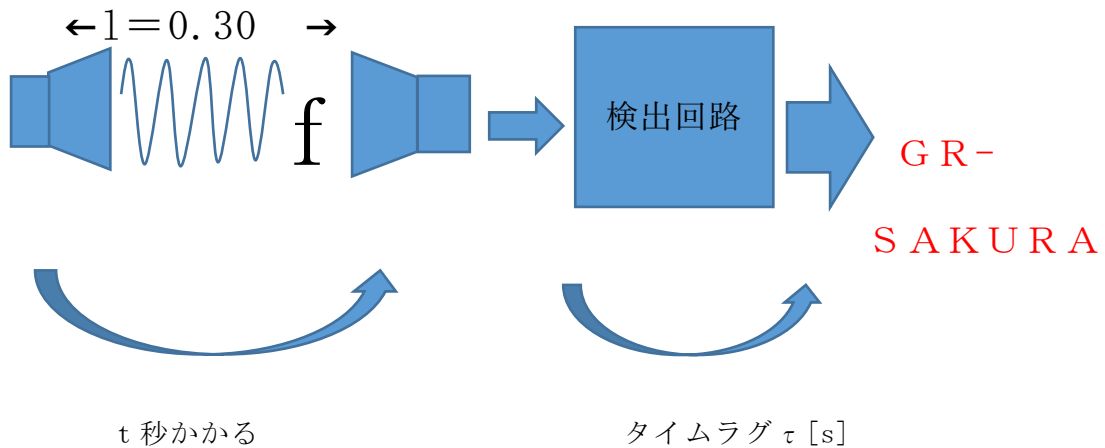
観測装置に風を当てる前			観測装置に風を当てた後		
・Xの値	・Yの値	・Zの値	・Xの値	・Yの値	・Zの値
1 1 3 0	1 1 1 8	1 1 2 6	1 1 2 5	1 0 8 7	1 1 1 7
1 1 2 8	1 1 1 8	1 1 2 6	1 1 2 3	1 0 9 5	1 1 1 7
1 1 2 8	1 1 1 8	1 1 2 6	1 1 1 9	1 0 8 7	1 1 1 7
1 1 3 1	1 1 1 8	1 1 2 6	1 1 1 9	1 0 8 6	1 1 1 8
・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・
・	・	・	・	・	・
<b>1 1 3 1</b>	<b>1 1 1 8</b>	<b>1 1 2 6</b>	<b>1 1 2 1</b>	<b>1 0 9 1</b>	<b>1 1 1 7</b>

\*赤字は平均

(6) 風速の計算方法

V を音速、v を風速、f を超音波の強さ、L を送信機と受信機の距離、t を検出器の中での処理時間、v/L を送信機から出た超音波が受信機に届くまでの時間とする。

f = 40 kHz



音速  $V = 331.5 + 0.6 t$  [m/s]

BME280 センサーモジュールで測定

理論的な時間  $T_0 = \frac{1}{V}$  [s] . . . ①

無風の時の時間  $t_0$  . . . ②

キャリブレーションモードで記録し、 $\tau$  を求める

①, ②より

$t_0 - T_0$  がタイムラグ  $\tau$

つまり  $\tau = t_0 - T_0$

測定した時間を  $t$  とすると  $(t - \tau)$  が実際の伝播時間

※見かけの音速  $v' = \frac{1}{t - \tau}$  [m/s]

(見かけ) (音速)

実際の風速  $v = v' - V$

$$= \frac{1}{t - \tau} - V \text{ [m/s]}$$

## 調査

BME280 センサーモジュールで気温・気圧・湿度を測定しつつ、風向・風速の観測装置の X, Y, Z 方向に順番に、扇風機で風を当てていく。

## 結果

気温・気圧・湿度のデータが毎秒パソコンの画面に送られ、BME280 センサーモジュールは、正常に動いた。

風向・風速の観測装置も、超音波は送信機側から受信機側に届き LED が光って、X, Y, Z 方向の風速がパソコンの画面に送られ、正常に動いた。

※この画像は、Y方向に風を当てた時にパソコンの画面に送られてきた気温・気圧・湿度・風速のデータである

```
T: 22.73 P: 1020.84 hPa H: 43.92 %
1072 1039 1040 1042 1039 1043 1040 1040 1042 1042
1029 1028 1029 1032 1028 1028 1028 1028 1028 1028
1064 1060 1060 1060 1063 1065 1063 1065 1062 1065
10439 10286 10627
1043.90 1028.60 1062.70
Sound velocity V= 345.14 [m/s]
  Vx= -1.24 ErrorX = 0.00
  Vy= 4.21 Error_Y = 0.00
  Vz= -1.04 Error_Z = 0.00
Wind Velocity: 4.51 [m/s]

T: 22.73 P: 1020.89 hPa H: 44.06 %
1038 1037 1041 1042 1041 1042 1040 1042 1041 1042
1026 1030 1033 1033 1028 1028 1028 1028 1029 1032
1064 1060 1060 1061 1065 1060 1061 1065 1059 1060
10406 10295 10615
1040.60 1029.50 1061.50
Sound velocity V= 345.14 [m/s]
  Vx= 0.07 ErrorX = 0.00
  Vy= 3.84 Error_Y = 0.00
  Vz= -0.57 Error_Z = 0.00
Wind Velocity: 3.88 [m/s]

T: 22.72 P: 1020.81 hPa H: 44.44 %
1038 1043 1041 1040 1041 1040 1043 1040 1039 1044
1031 1035 1033 1034 1032 1034 1033 1032 1032 1028
1065 1065 1060 1060 1060 1060 1060 1061 1064 1060
10409 10324 10615
1040.90 1032.40 1061.50
Sound velocity V= 345.13 [m/s]
  Vx= -0.05 ErrorX = 0.00
  Vy= 2.67 Error_Y = 0.00
  Vz= -0.56 Error_Z = 0.00
Wind Velocity: 2.73 [m/s]

T: 22.71 P: 1020.84 hPa H: 44.19 %
```

### 3. 今後の課題

- ・実験装置を16台作成する。
- ・中庭で測定する。
- ・「Processing」で空気の流れを可視化する。

#### 4. 参考文献

気象庁

<http://www.jma.go.jp/jp/mesh20/204/.htm?elementCode=0>

ボッシュ社

[https://www.bosch`sensortec/de/homepage/product.3/environmental\\_sensor\\_1/bme280/bme280\\_1](https://www.bosch`sensortec/de/homepage/product.3/environmental_sensor_1/bme280/bme280_1)

#### 5. 謝辞

今回の研究の担当をしてくださった、由利高校教諭 高橋 清 先生には、ご自身の職務でお忙しいにもかかわらず、研究に必要な材料収集、研究の進め方、適切なお指導・ご助言を賜りました。心より感謝申し上げます。