

局所天気予報への挑戦

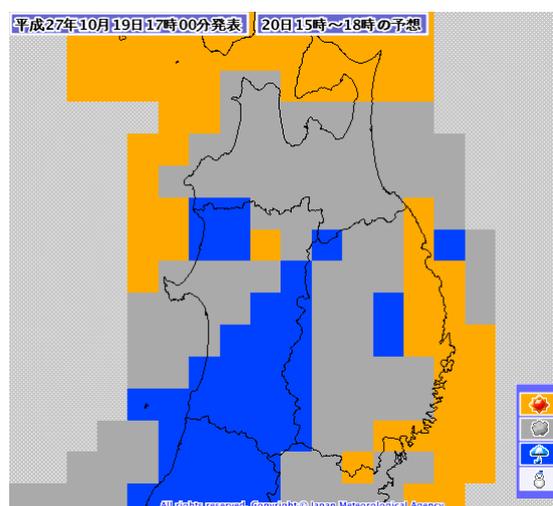
由利高校 佐藤大地
小原豪太
佐藤 墨
須田 海

要約

気象庁による天気予報は、最も詳細な局地モデルでも 2 km 間隔・1 時間毎であり、ゲリラ豪雨をもたらす積乱雲の詳細や竜巻等の予想まではできていない。本研究では、自作の気象観測器で計測した気圧・風向・風速等のデータを無線でリアルタイム集計し、多項式補間と数値計算によるシミュレーションで、水平方向数十m～1 km の範囲における 1 m 間隔・1 秒毎の気象予報を目指す。現在は機器類の基本動作確認まで完了している。

1. 研究の動機と目的

局所天気予報に挑戦した理由は、テレビの天気予報が外れることに疑問を持ったからである。テレビの予報では晴れだと予報されていたのに雨が降ったり、逆に雨だと予報されていたのに晴れたことがある。普段私たちがテレビやインターネットで見ている天気予報は、市役所などに不規則な間隔で配置された観測地点のデータを集めて予報されたものだ。さらに数 km おきに網目のようにおかれた格子点の天気しか予報されていない。したがって、雷や竜巻のような 10～100 m のスケールの気象現象は予測するのが難しいのが現状だ。そこで我々は、「30 秒後に雨が降り出す」や、「1 分後に竜巻が発生し東西方向に横切る」といったことまで予測できることを目指すことにした。



2. 研究の仮説・検証・調査・結果

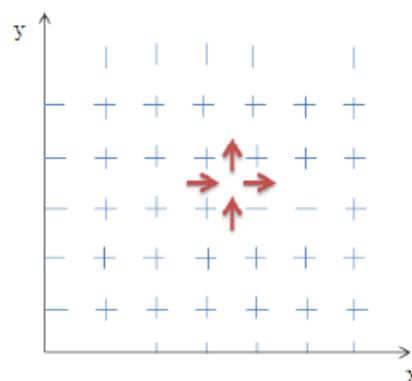
仮説

気象庁よりも狭い学校の中庭程度の空間の中で、局所的にデータを観測し、計算することでより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) 16カ所分の気温、気圧、湿度、風速、風向等の気象要素を計測する装置を製作

気温、気圧、湿度の計測は、この3要素を測れるボッシュ社のBME280センサーモジュールを使って計測する。たとえば気圧について多項式補間で3次元の気圧分布を推定する。空気の移動量は気圧差に比例するので隣り合う領域同士の間空気の出入りを計算するとt秒後の気圧分布と風の流れが予測できるだろうと考えた。ところで、台風の半径を



約 500km とし、その間の気圧差は約 50 hPa であるから、1 km あたりの、気圧に換算すると 0.1 hPa 即ち 10 Pa となる。よって 1 m あたり 0.01 Pa である。今回用いた気圧センサーの分解能は 0.18 Pa なので、台風の時でも 10 m でも 0.1 Pa の気圧差しかないため 20 m 離れていないと差を検出できない。鉛直方向に関して、富士山を例に挙げ、標高を 4000 m、頂上の気圧を地上の気圧の 6 割とすると、1 m あたりの気圧はおよそ 10 Pa となる。よって、20 cm 程度の高低差まで測定可能であることがわかった。そこで、水平方向は有意な気圧差は測れないかもしれない、風が吹きつけるなどで水平方向でも気圧差があるかもしれない、むしろ風としての空気の流入・流出の影響が大きいと考え、気圧のほかに風向、風速の測定もすることにした。

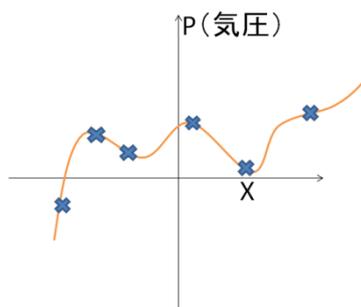
風向、風速をほかの気象要素を観測する装置と同様にセンサーモジュールを使って観測しようとしたが、風車式のような可動する部分のあるものでは壊れやすかったり、持ち運びが不便になるため不採用とした。次にヒーター式のような電熱線が風で冷えるのを測る方法を考えたが、消費電力が大きいことやそもそも風向を調べられないため、これも不採用となった。そこで、超音波を使って見かけ上の音速を見て観測しようと考えた。超音波を発生させることができる装置を製作して、送信機と受信機の 2 つを 1 組とする。その 2 つを向かい合うようにして 16 カ所、他の観測装置とともに設置する。

(2) 多項式近似と、データの補完について

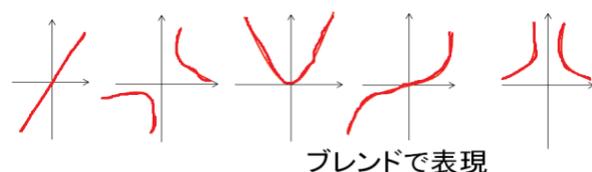
例えば気圧の場合、観測装置の数は限られているので、スライドのように何カ所かの気圧しか知ることができないが、気圧の分布を表す式を求めてしまえば、観測地点以外のデータも、座標を代入するだけで推定することができることになる。

例えば、簡単のために X 方向だけを考えると、一見複雑な形だが、1 次関数、2 次関数、3 次関数などをブレンドすることで近づけることができると考えた。この研究では、3 次、2 次、1 次、X 分の 1、X² 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。

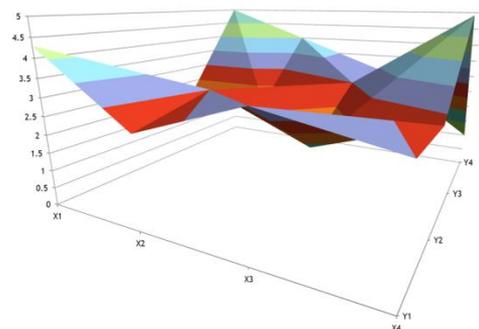
多項式近似



多項式近似

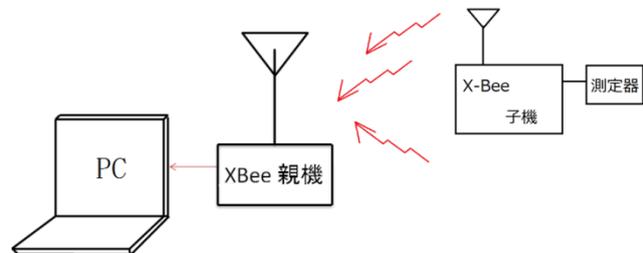


今回の観測対象である学校の中庭は X・Y・Z の 3 方向あり、各方向ごとに 3 次、2 次、1 次、X 分の 1、X² 乗分の 1 の項、そして定数項の合計 16 項からなる近似式になるので、各項の係数の係数を定めるためには式が 16 本必要である。したがって、本研究では測定装置を 16 カ所に設置することにした。



各地点で観測されたデータは、「XBee」という無線ユニットを利用してコンピュータに集約する。下の写真が実際に使用した「XBee」の写真である。記載されている「コーディネーター」

とは、観測器から送られてくるデータをパソコン側で受信するための親機のことであり、親機の下に観測装置 16 台の子機がつながるスター型の無線ネットワークを構成する。



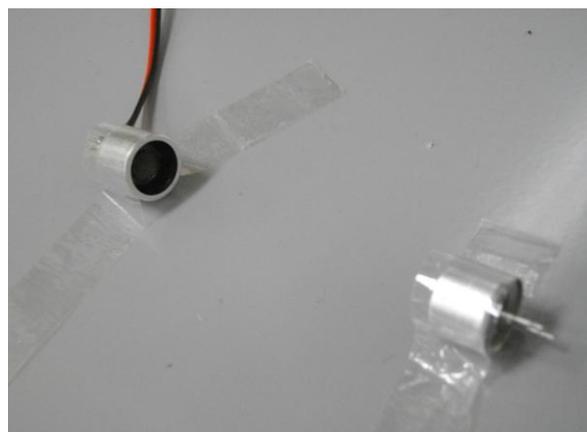
(3) 観測方法

気温、気圧、湿度の測定には、BOSCH 社の BME280 センサーモジュールを使用した。センサーで測定された値は、Arduino と呼ばれるマイクロコンピュータで読み出し・校正され、1 秒毎に無線でパソコンに送られる。

風向、風速の観測は、超音波スピーカーから送出した超音波を超音波マイクが受け取るまでにかかった時間の長さを Arduino で計測し、風速を計算する。また、 x 、 y 、 z の各方向の風速を調べることで、風向も知ることができる。

このようにして風速、風向を測定し、さらにこのデータを元に多項式近似を行って、観測範囲全域の風の様子を求める。

右は超音波スピーカーと超音波マイクの写真である。



(4) 各観測器の動作確認

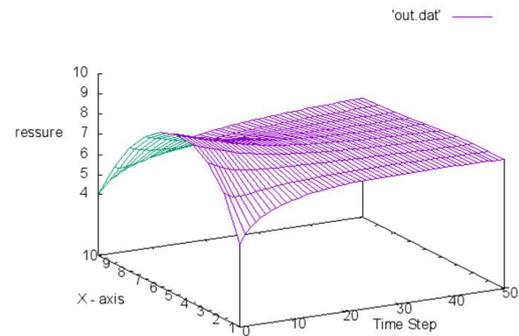
① 気温、気圧、湿度の観測装置について

観測装置に息を吹きかけるなどして、観測される気温や湿度の上昇を確認できた。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た。

時間とともに拡散していく様子

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る。そうした場合の関数のグラフを出す。この関数さえ求めれば、任意の座標における値を知ることができる。



②風向、風速の観測装置について

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 μs で毎秒表示させる。ばらつきが多いので、30ms 間隔で計測したデータ10回分の平均を取っている。エラーは何らかの原因で測れなかった回数で、平均を取る際に除外している。つまり、エラーの数が少ないほど正確な数値である。ノーデータは、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。

下の写真は実際に観測したときの送られてきたデータの様子で、パソコン側には1秒毎に観測結果が送られてくる。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。

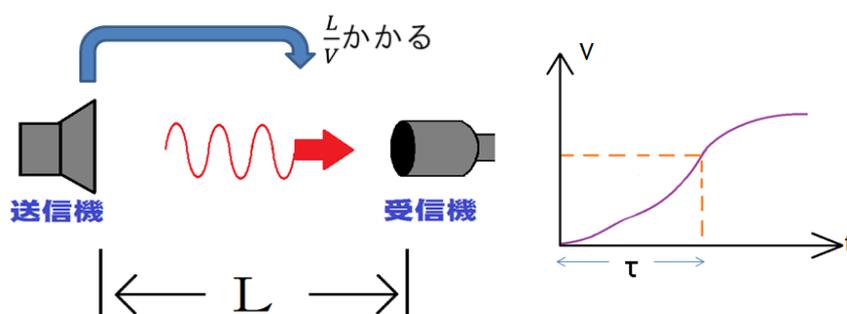


(5) 風速の計算方法について

V =音速、 v =風速、 L =送信機と受信機間の距離とする。

また、検出器の中での処理時間を τ とする。

送信機から出た超音波が受信機に届くまでの時間は $\frac{L}{v}$ である。



無風状態で実測したところ、送信機からの超音波を受信機が検出するまでの時間は $1620 \mu s$ であった。音速を $V = 340 \text{ m/s}$ とすると、 0.50 m あたり $1470 \mu s$ しかかからないはずであるから、差をとることで、受信機内部での処理時間 τ を

$$\tau = 1620 - 1470 = 150 \mu s$$

と推定した。

試しに扇風機を使って追い風状態を作り計測してみると $1610 \mu s$ だったが、この場合、実際には

$1610 - 150 = 1460 \mu s$ かかったことになるので、見かけの音速 V' は

$$V' = \frac{0.50}{1460} = 342.46 \dots [\text{m/s}]$$

したがって風速 v は

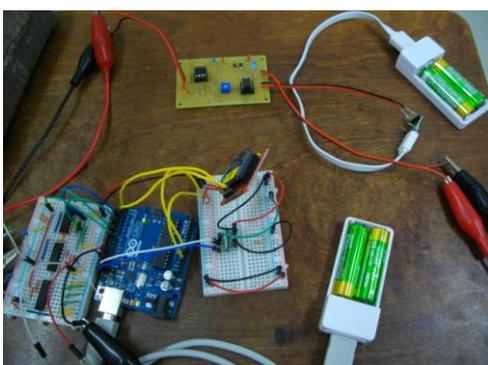
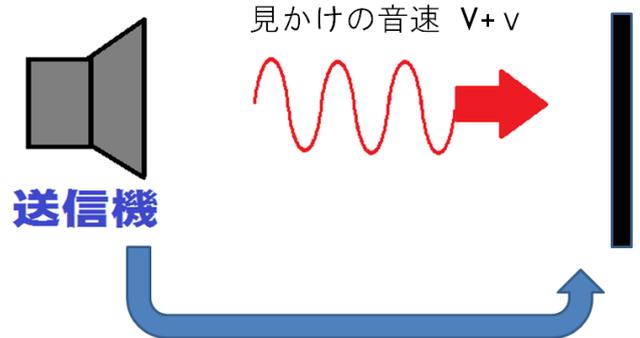
$$v = 342.46 - 340 = 2.46 [\text{m/s}]$$

という値が得られることになる。

右の写真は X,Y,Z の三方向の風速を測る装置である。
(動作確認のための試作品)

三方向についた送受信機で各方向についての風速を計測することができる。また、三方向の風速の値の違いを見ることによって、風向も求めることができる。

この装置はパネルフレーム用補強材三本をスタンドに固定して製作した。



左の写真は風速を測る装置の回路である。

青い基板が Arduino と呼ばれるマイクロコンピュータ、黄色の基板は超音波検出用の回路である。この試作機では、超音波信号の送出方向(X,Y,Z)の切り替え回路およびセンサー部をブレッドボード上に構成してある。

超音波を受信すると検出回路基板上の LED を点滅させることで、超音波センサーの設置や感度調整が容易になるように工夫した。(本研究では送受信機間の距離を 0.5 m とした。)

(6) 数値計算による時間変化の計算

得られた観測データをもとに、多項式近似によって測定地点以外の場所における値も予測し、さらにそれらの値が時間とともにどう変化するかをコンピューターでシミュレーションする。シミュレーションの分解能は、空間については水平方向に 1 m 間隔、時間については 1 秒ごとの変化を計算することで、気象庁の予報とは比較にならないほど精密に天気を予想する。

3. 今後の活動

- ・各装置の基本動作の確認が取れたので、16 台の観測装置を製作する。
- ・装置の数がそろったら、中庭に設置し、正確に風速・気圧等が測定できるかを確認する。
- ・測定器からのデータを使い、データの補間および時間変化を計算できるか検証する。
- ・中庭での観測がうまくいけば、観測の範囲を校地内などに広げていく。

4. 参考文献・謝辞

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

ボッシュ社

https://www.bosch-sensortec.com/de/homepage/products_3/environmental_sensors_1/bme280/bme280_1

由利高校教諭 高橋清先生