

MEMS 気圧センサーを用いた 気圧微変動計測システムの構築

斎木 健太*, 田中 健路*

*広島工業大学環境学部地球環境学科

1. はじめに

0.1hPa 未満の振幅の現象を測定可能な高精度の気圧計によって、様々な災害監視への応用に向けた研究が進められてきている^{1,2)}。たとえば、2011年3月11日の東日本大震災発生時において、国立天文台に設置された精密気圧計において、地震波による振動と津波によって海上の空気が押し上げられて発生した音波が、全振幅 0.5~0.6hPa の微変動が観測されたことが報告されている³⁾。従来の精密気圧計だけでなく、スマートフォンに搭載されているようなマイクロメートル単位の微小な機械部品やセンサー、電子回路などを組み合わせたシステム MEMS(Micro Electro Mechanical System)でも精密気圧計に準じる程度の微細な気圧変動を測定することが可能であり、その応用に向けた研究も進められてきている⁴⁾。本研究では、複数の気圧センサーにより比較観測しながら、積乱雲や大気重力波などの災害に関与する現象について、気圧微変動をシグナルとして捉えることを目的として、観測システムを構築し、比較観測による検討を行った。

2. 研究方法

2.1. システムの構成

本研究では、BOSCH 社製 BME280 をセンサーとして用いた。このセンサーは、気圧・気温・相対湿度を同時測定可能な製品で、気圧サンプリングデータの分解能は 0.0018 hPa、絶対精度 $\pm 1.0\text{hPa}$ 、相対精度 $\pm 0.012\text{hPa}$ である。BME280 は、I2C、SPI の 2 種類の通信が利用可能である⁵⁾。本研究では、I²C 経由で、Raspberry Pi 3 や Raspberry Pi Zero W の GPIO ピンに接続し、データを蓄積するシステムを構築した。センサーを用いたサンプリングおよびデータ蓄積に関する作業は、Python を用いてプログラムを組んで実行できるようにした。気圧データのサンプリング間隔は 1 秒とし、1 日 1 ファイルに自動的に分別して保存するようにした。また、GPS モジュール (GUFSDMAXB, 太陽誘電製) を Raspberry

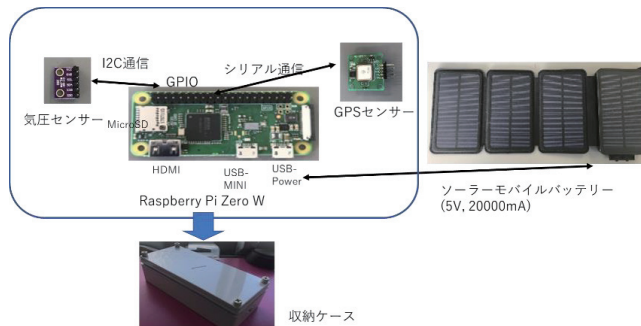


図-1 気圧微変動観測システム(1 セット)の構成

Pi にシリアル接続し、時刻情報を取得できるようにした。時刻調整は Raspberry Pi のシステム(再)起動時、および1日1回で自動的に行えるように、`crontab` にジョブを登録した。システムの電源は、モバイルソーラーバッテリーを使って太陽光エネルギーを蓄電してシステムを連続運転できるようにした。図-1 にシステム一式の収納状況を示す。

2.2. 気圧データの解析

本研究で取得を目指す気圧微変動は、周期数分～3 時間程度の帯域の変動成分である、この帯域には、積雲や積乱雲に伴う対流活動、上空 3～7km 付近の対流圏中層を伝播する内部重力波があてはまる。内部重力波に伴う地上および海面気圧のゆらぎは、数 100km の長距離を海洋波と共鳴しながら伝播することで、気象津波の発達に重要な役割を持つ。

観測で得られた生の気圧時系列データの中には、センサー本体を搭載している基盤上での電氣的なノイズによって生じる一定量の器差や、パケットの中の気圧データの出力値にビットエラーが含まれて瞬間的な異常値が含まれることがある。そこで、時系列データを高速フーリエ変換した上で、2 分～180 分の周期帯成分のみを抽出するバンドパスフィルターを適用して、気圧微変動の抽出を試みた。バンドパスフィルターを適用した後に、ゼロアップクロス法を用いて、気圧波の個々の全振幅と周期を抽出し、複数のセンサー間の気圧微変動の比較を行った。

2.3. 動作テスト

まず、Raspberry Pi と気圧センサーを接続したシステムを 5 セット用意し、2019 年 7 月～10 月にかけて、広島工業大学 21 号館の 2F の実験室で比較測定を行った。屋内でのテスト観測例を図-2 に示す。前半 12 時間程度の間は、2 つのセンサーで得られた気圧微変動は非常によく類似してしているように見えるが、16 時過ぎごろから両者に 0.05hPa 以上の測定値の差が見られるようになり、センサー5 がセンサー4 と比べて早く気圧変動を捉える傾向にあった。

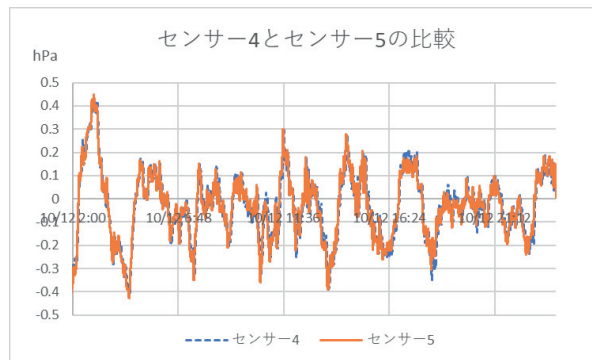


図-2 室内測定で抽出した気圧微変動成分の例(2019/10/12 測定)

2.4. 野外観測

前節で述べた問題点を緩和するために、時刻調整システムの組み入れを行い、2019 年 1 月より 2 月末まで屋外での比較観測を実施した。廿日市市厳島東部の包ヶ浦海岸と広島市安芸区矢野の 2 ヶ所に、それぞれシステムを 2 台ずつ設置して、無人観測を行った(図-3)。矢野と包ヶ浦との水平距離は約 18.5km である。



図-3 野外比較観測の位置(右)と設置状況(宮島包ヶ浦(中央)と矢野(右))

3. 野外観測で捉えた気圧微変動の挙動

2020年1月23日未明の降水システムの通過に伴い検出された気圧微変動の時系列の例を図-4に示す。宮島では全振幅 0.2~0.4hPa、周期 20 分前後の気圧微変動が観測されているのとともに、3:06 分頃に正偏差のピーク値 0.58hPa を記録した。一方、広島市安芸区矢野では、約 11 分遅れの 3:17 頃に気圧偏差のピークに達した。2 点間の波形から得られる気圧波の時間差は約 700 秒(10 分 40 秒)であった。また、同一地点に 2 セットずつ配置したが、同一セット間の気圧微変動の振幅の測定誤差は 0.028hPa であった。周期 10 分前後~20 分前後の成分では宮島包ヶ浦の方が矢野の観測結果よりも大きい傾向にあるが、矢野で測定したセンサーの方が午前 2 時から 4 時までの長周期成分の変化が大きい。

これについて、東京大学 DIAS サーバーに登録されている国土交通省 X-BAND、C-BAND レーダー合成雨量データ(毎分観測値)より、広島湾内での降雨強度分布を解析した結果を図-5に示す。宮島包ヶ浦では午前 3 時 6 分に降雨強度 20mm/時程度の降水系が上空を通過し、その 11 分後の 3 時 17 分には屋の上空を通過していった。この降水系は、進行方向に緩やかに凸に広がるように発達しながら東北東に進んでおり、降水系の移動方向下流側の矢野の方が雲からの下降気流や降水系背後の上昇流が強まっている様子が捉えられている。



図-4 宮島包ヶ浦と広島市安芸区矢野で観測された気圧微変動の時系列

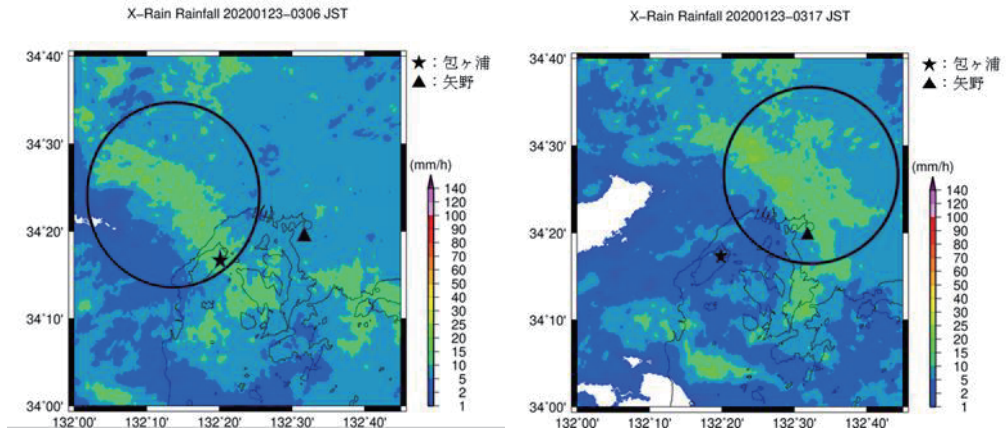


図-5 X-BAND、C-BAND 合成雨量観測データによる、広島湾周辺での降雨強度分布。

左側：2020/1/23 3:06（日本時間） 右側：2020/1/23 3:17（日本時間）

4. おわりに

降水システムの通過などによる気圧微変動を捉えるためのシステムについて、GPSによる自動時刻修正機能および、バンドパスフィルターによる周波数帯域の抽出により、全振幅 0.2hPa 程度の気圧微変動を捉えられるようになった。

今後、梅雨期における線状降水帯発達時の気圧微変動や九州沿岸を中心に観測されている潮位副振動の大気側のシグナルとなる気圧微変動の観測へと展開を図っていきたい。

参考文献

- 1) 村山貴彦, 今西祐一, 綿田辰吾, 大井拓磨, 新井伸夫, 岩國真紀子, 野上麻美：ナノ分解能気圧センサーを用いた可搬型インフラサウンド観測システムの開発, 東京大学地震研究所技術研究報告, No. 17, 63-76 (2011)
- 2) 新井伸夫, 今井俊昭, 大槻政哉, 齋藤佳彦, 村山貴彦, 岩國真紀子：インフラサウンド・アレイ観測による雪崩発生箇所推定の試み, 日本気象協会 4pp (2019)
- 3) 村山貴彦, 新井伸夫, 岩國真紀子, 野上麻美, 今西裕一, 綿田辰吾, 大井拓磨：津波が励起するインフラサウンド～東北地方太平洋沖地震で得られた知見～, 月刊地球, Vol. 37, 309-312 (2015)
- 4) 齋藤雄二, 西村竜一, 坂本修一, 鈴木陽一：MEMS 気圧センサーを用いたインフラサウンド收音用マイクロフォンの試作, 東北大学電気通信研究所, 大学院情報科学研究科, 情報通信研究機構, 1pp (2017)
- 5) BOSCH Sensortec.: BME-280 Data Sheet, 55p. (2018)