

# 風速によってセンシング頻度を変化させる 大気汚染の監視の省電力化

河竹 純一<sup>1</sup> 高木 優希<sup>2</sup> 串田 高幸<sup>1</sup>

**概要:** AQI の監視においてセンシング頻度が一定であるとき、AQI の変化量が相対的に小さい場合、AQI の変化量に対する消費電力が増加する。また、AQI の変化量が相対的に大きい場合、AQI のデータが上がり始めてから下がるまでの区間のデータが正確にとれない可能性が高まる。そこで風速と AQI の相関関係を利用し、AQI の変化量が大きいときにセンシング頻度を高くし、AQI の変化量が小さいときにセンシング頻度を低くする手法を提案する。これによってセンシング頻度は風速に伴って変化し、変化量が少ないときに電力が削減される。評価として、1 分間に 1 回のセンシング頻度のデータを正しい値としたときの相対誤差を算出した。定期的かつ同等の消費電力量となるセンシング頻度によって得られる AQI のデータと提案手法によって得られる AQI のデータを比較した。その結果、相対誤差は提案手法が定期的な手法より 2.6% 増加したが、消費電力を削減したことによって大気汚染の監視の省電力手法に貢献している。

## 1. はじめに

### 背景

各国の環境を担当する行政機関は大気汚染状況を常に監視しており、大気質の指標として AQI (Air Quality Index) がある [1]。AQI は、汚染物質が人間の健康に与える被害の度合いを表す指標であり、この値が大きいほど影響が大きくなる。環境省によると、人間の健康に影響する緊急事態に対して速やかに対策を講じるためや、インターネットを通じて汚染状況を地域住民に周知するため、常に監視を行う必要があると述べられている [2]。

AQI を監視するための装置（以下監視デバイス）は各国によって異なっているが、電力は電力会社が提供する商用電源から供給されている。商用電源から電力を供給すると、際限なく電力が得られるためシステムの持続性は担保されるが、設置可能な場所が限られる。例えば、インドでは大都市圏での AQI の監視は行っているが、郊外においては行われていない [3]。その理由は、インドの電力網の整備不足であることが考えられている。CNN<sup>\*1</sup>によると、2017 年時点で電力網とつながっていないインド国民は約 2 億 4000 万人であり、安定した電力供給がされていない地

域を含めるとこれより更に拡大する [4]。したがって、監視対象とする範囲を拡大するためには電力を自給する監視手法が必要である。

電力を自給する方法として、太陽光パネルから発電を行う太陽光発電がある [5]。太陽光発電によって電力を供給するとき、発電量は日照量に依存する [6]。したがって、天候の悪化によって日照量が減少すると発電量が日照量に伴って低下するため、太陽光発電による発電量は安定していない。太陽光発電によって大気汚染の監視を行うとき、監視デバイスとして、太陽光パネル、電力を蓄積するバッテリー、大気成分を測定するセンサ、制御用のマイクロコントローラを必要とする。このとき、太陽光パネルがバッテリーに対して電力の供給を行い、バッテリーがマイクロコントローラに対して電力を供給する。そしてマイクロコントローラが動作することによってソフトウェアの命令コードが実行され、センサによって大気成分データが取得される。マイクロコントローラが動作することによってバッテリーの電力は消費される。したがって、監視デバイスが電力的に安定して AQI を監視し続けるためには、必要な消費電力をソフトウェアによって抑える必要がある。

AQI の監視において、センサによって大気成分データを取得する頻度（以下センシング頻度）は常に一定である。例えば、日本で実際に使用されている測定機の一つに、大気用 TEOM ディコトマスモニター 1405DF がある [7]。1405DF においては、平均値を計測するために 6 分ごとに測定し、1 時間あたりの平均濃度を算出している。また、セン

<sup>1</sup> 東京工科大学コンピュータサイエンス学部  
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

<sup>2</sup> 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻  
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

<sup>\*1</sup> ワーナー・メディア・ニュース・スポーツが所有するアメリカ合衆国向けのニュースチャンネル

シング頻度はハードウェアに依存するだけでなく、環境大気自動測定機の共通仕様としても定められている。この仕様では、数秒ごとに取得する瞬時値と1時間あたりの平均値（1時間値）を測定することが記されている。

## 課題

AQIの監視において、センシング頻度が一定であるとき、以下の2つの課題が生じる。

- AQIの変化量が相対的に小さいとき、AQIの変化量に対する消費電力が増加する。
- AQIの変化量が相対的に大きいとき、「データの山」が正確にとれない可能性が高まる。

AQIの変化量に対する消費電力は、AQIが1変化したときの消費電力のことである。あるAQIの変化量が変化量全体の平均値に対して小さいとき、そのAQIの変化量に対する消費電力は平均消費電力より大きくなる。また、データの山とは、AQIのデータが上がり始めてから下がるまでの区間のデータのことを指す。データの山が正確にとれないと、AQIのデータの特徴が不明瞭になる。例えば、周期性や自己相関を分析する際にその精度が低下する。センシングしていない期間のデータを完全に復元することは不可能であるため、データの山を正確にとるためにはセンシング頻度を高める必要がある。しかし、センシング頻度を高くすると消費電力量が増加する。

## 各章の概要

第2章 関連研究では、上述した課題に関連する研究とその比較をする。第3章 提案では、課題を解決するための提案方法とその方式について詳しく述べる。第4章 実装と実験環境では、提案内容の実験についてハードウェアとソフトウェアの構成や実験環境について述べる。第5章 評価と分析では、実験の結果を分析して提案内容の評価及び検証をする。第6章 議論では、本研究の提案、実験、評価について議論すべき内容について述べる。最後に、第7章 おわりにで本稿のまとめと貢献した内容、今後の展望について述べる。

## 2. 関連研究

Chatterjeaらは、無線センサーネットワークにおけるノードの自律的なセンシング頻度制御スキームを提案した[8]。この研究では、アプリケーションが非常に高いエネルギー消費量を持つ特殊なセンサを対象としている。ここでは例として海洋環境を監視するための水質センサをあげている。このような特殊なセンサから生データを収集すると、過度のエネルギー消費につながることを指摘している。そこで著者は、測定されたパラメータの変動性に基づいてノードが自律的にセンシング頻度を変更するスキームを提案した。この研究では、測定するセンサのパラメータ

の変動性からセンシング頻度を変更しているが、そのパラメータの因果関係にあるデータを使用することに関しては言及されていない。

Reillyらは、大気汚染監視システムを構築するうえで、省電力手法として太陽光発電を使用することを提案した[9]。この研究では、粒子状物質、オゾン、一酸化炭素をそれぞれ1分に1回取得しつつ、必要な電力は太陽光発電のみで補うオフグリッドを実現している。ただし、発電量と消費電力量の具体的な計算はされておらず、消費電力を削減できていない。

Zhangらは、NB-IoT、LoRaを使用した低電力の広域ネットワーク情報監視アプローチを行った[10]。この研究では、太陽光発電による電力供給が行われており、消費電力量が少ない通信方式と、測定をしないときにIoTデバイスの電源を切ることによって消費電力の削減を行っている。また、Foleaらは、室内の二酸化炭素レベル、温度、相対湿度、絶対圧力、光の強さを監視し、IEEEに基づく既存の無線インフラストラクチャを使用して測定データを送信するシステムを提案した[11]。この研究では、低消費電力のセンサや通信方式を組み合わせることによって、小型バッテリーで3年間動作し続けると結論付けている。これらの研究は、省電力手法として環境発電を行うことや通信方式を変えることが提案されているが、センシング頻度を変更することは考慮されていない。

## 3. 提案方式

大気の汚染状況は、自然的状況と地理的状況の2つの要因によって変化する[12]。Larissiらの研究によると、自然的状況の中でも風がAQIに与える影響は、気温、湿度、日射量、日照時間に比べて大きいと結論付けられている[13]。したがって本提案では、風速とAQIの変化量の関係に基づき、風速によってセンシング頻度を変化させることでAQIの変化量が小さいときの消費電力量を削減する。そこで、風速とAQIの変化量に関係があることを調べるために基礎実験を行った。

### 基礎実験

提案手法を確立するため、風速とAQIを測定する基礎実験を行った。実験は東京工科大学八王子キャンパスのFOODS FUU前広場にて、2021年11月1日、2021年11月4日、2021年11月10日、11月12日、11月17日の9:00から17:00に行った。風速は風速計で10秒ごとに測定し、60秒ごとに平均することで1分間隔の時系列データとした。AQIは、1分毎にPMS5003から取得したPM2.5の個数濃度(個/0.1L)から算出した。その際、個数濃度は粒子の密度を $1g/cm^3$ として1立方メートルあたりの質量に変換している[14]。ある汚染物質 $p$ の測定濃度 $C_p$ に対するAQIの値 $I_p$ はアメリカ合衆国の環境省が定めた濃度

区間と指数区間を用いて式 (1) によって算出される [1]. ただし,  $C_p$  は PMS5003 によって測定した PM2.5 の個数濃度から算出した濃度であり,  $C_p$  の値があてはまる濃度区間の下限値を  $BP_{Lo}$ , 上限値を  $BP_{Hi}$ ,  $C_p$  の値があてはまる指数区間の下限値を  $I_{Lo}$ , 上限値を  $I_{Hi}$  とする. なお,  $BP_{Lo}$ ,  $BP_{Hi}$ ,  $I_{Lo}$ ,  $I_{Hi}$  は, アメリカの環境省が持つ濃度区間と指数区間の対応表の値を参照している [1].

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (1)$$

次に, 風速と AQI の相関関係を調べるため, 測定した風速と AQI のデータから相関係数を算出した. なお, ある時刻に吹いた風がそれ以降の AQI の値の変化に与える影響を調べるために, 風が吹いてからの経過時間 (N 分) ごとに相関係数を算出した. このときの相関を**タイムラグ相関**とする. また, 風速は時間あたりの変化が激しいため, 時系列データの各風速からそれぞれの 10 分間の移動平均を算出して平滑化した. なお, 時刻 t における n 分間の移動平均とは, ある時系列データに対して時刻 t-n におけるデータから時刻 t におけるデータの総和の平均値のことである. この手法は日本の環境省における風速の測定方法にも用いられている [2]. 図 1 に風速とその風が吹いてから N 分後の AQI の相関係数を示す. 各実験日で最も相関が強かったのは, 11 月 1 日で N=20 のとき相関係数が-0.30, 11 月 4 日で N=46 のとき相関係数が-0.53, 11 月 10 日で N=101 のとき相関係数が-0.42, 11 月 12 日で N=6 のとき相関係数-0.34, 11 月 17 日で N=53 のとき相関係数-0.62 となった.

以上の結果から, 風速と AQI の間には弱い負の相関関係があることがわかった. このことから, 風速が強まるほど AQI の値が減少し, 風速が弱まるほど AQI の値が増加する傾向にあることが読み取れる.

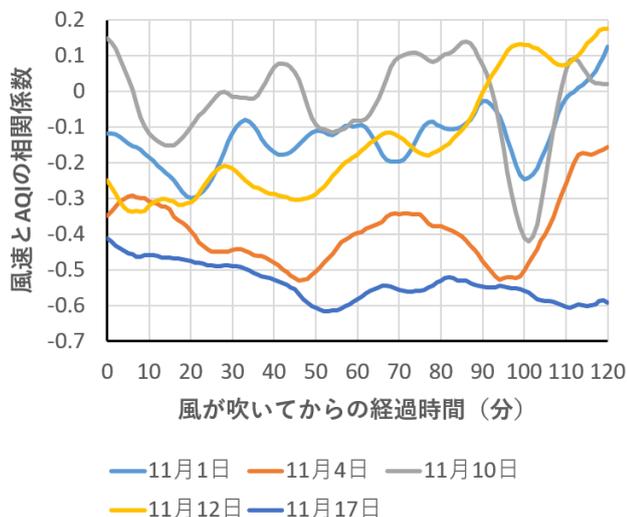


図 1 風速と AQI のタイムラグ相関係数

## 提案方式

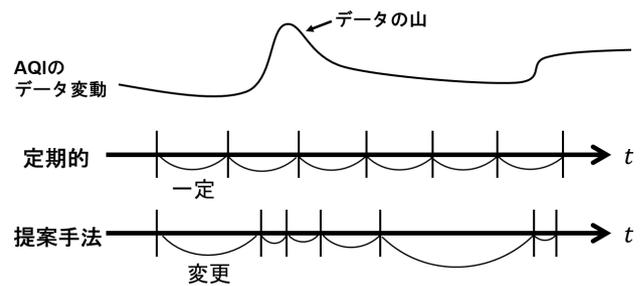


図 2 提案のコンセプト図

センシング頻度の変更方法は, AQI の変化量が大きいほどセンシング頻度を高くし, AQI の変化量が小さいほどセンシング頻度を低くすることとする. 図 2 に提案のコンセプト図を示す. 図 2 では, 定期的にセンシングする手法と比較して, 提案手法では AQI のデータ変動に伴ってセンシング頻度を変化させていることを表している. センシング頻度を変化させることによって, AQI の変化量が小さいときには消費電力が削減できる. また, AQI の変化量が大きいときにはデータの山が正確にとれる可能性が高まる. 以下でセンシング頻度の変更方法を説明する.

まず, 風速と AQI のタイムラグ相関のうち, 最も強い相関関係を示したときの N (分) を算出する. 次に, 風速と AQI の回帰直線の方程式より, 風速から N 分後の AQI の値を算出する. 回帰直線の方程式は直近 24 時間の風速と AQI のデータから最小二乗法によって算出する. 直近 24 時間とする理由としては, 大気汚染は人間の社会活動によって引き起こされるものであり, 24 時間が人間の社会活動の周期の一つだからである. 次に, センシングしたときの AQI の値と回帰直線の方程式から算出した AQI の差から単位時間あたりの AQI の変化量を算出する. 次に, AQI の変化量の最大値を  $\Delta A_{MAX}$ , 最小値を  $\Delta A_{MIN}$  とし, それぞれ 24 時間以内の過去のデータのうちの最大値と最小値とする. また, センシング頻度の最大値を  $F_{MAX}$ , 最小値を  $F_{MIN}$  とし, 最大値はセンサの最大応答時間に 1 回, 最小値は N 分に 1 回の頻度とする. 次に,  $\Delta A_{MAX}$  から  $\Delta A_{MIN}$  までの取りうる全ての AQI の変化量に対して  $F_{MAX}$  から  $F_{MIN}$  までのセンシング頻度を均等に対応させ, 相関係数の絶対値倍にスケールする. このときのセンシング頻度を「使用するセンシング頻度」とする. 相関係数の絶対値倍にスケールする理由としては, 相関係数の絶対値が 1 に近いほど使用するセンシング頻度の幅を大きくし, 相関係数が 0 に近いほど使用するセンシング頻度の幅を小さくするためである. これは, 相関係数の値によって回帰直線によって得られる AQI の値の信頼性が異なるためである.

次に, センシング頻度の算出方法について説明する. ま

ず、時刻  $t$  における風速を  $W_t$ , AQI を  $A_t$  とする。このとき、直近の 24 時間の風速と AQI のタイムラグ相関における回帰直線の方程式を  $y = ax + b$  とおくと、 $A_{t+N}$  は  $aW_t + b$  によって求められる。したがって、AQI の 1 分あたりの変化量  $\Delta A$  は式 (2) によって求められる。

$$\Delta A = \left| \frac{A_{t+N} - A_t}{N} \right| = \left| \frac{aW_t + b - A_t}{N} \right| \quad (2)$$

次に、AQI の変化量からセンシング頻度  $F$  を求める。そこで、センシング頻度  $F$  (回/秒) のときの「ある時刻でセンシングしてから次にセンシングするまでの時間 (秒)」を  $T$  とし、 $T$  の逆数を求めることによってセンシング頻度を算出する。なお、次にセンシングするまでの時間  $T$  はマイクロコントローラをスリープさせる時間に等しくなる。 $T$  はセンシング頻度の逆数となるため、式 (3) で表される。また、 $T$  の最大値、最小値を  $T_{MAX}$ ,  $T_{MIN}$ , 相関係数の絶対値倍にスケールしたときの  $T$  の最大値、最小値を  $T_{Hi}$ ,  $T_{Lo}$  とする。

$$T = \frac{1}{F} \quad (3)$$

その次に、 $\Delta A$  と次にセンシングするまでの時間  $T$  についての方程式を算出するため、 $\Delta A$  と  $T$  をそれぞれ横軸と縦軸として座標平面上に表す。相関係数が 1 のときの  $T$  についての関数を  $f_1(\Delta A)$ , 相関係数が  $r$  ( $-1 \leq r \leq 1$ ) のときの  $T$  についての関数を  $f_2(\Delta A)$  とする。このとき、定数  $T_{MIN}$ ,  $T_{MAX}$ ,  $T_{Lo}$ ,  $T_{Hi}$  の大小関係は、 $T_{MIN} < T_{Lo} < T_{Hi} < T_{MAX}$  となる。したがって、 $\Delta A$  と  $T$  についての関係は図 3 で表される。

まず、図 3 から  $f_1(\Delta A)$  を求める。 $\Delta A_{MIN}$  から  $\Delta A_{MAX}$  に対して  $T_{MAX}$  から  $T_{MIN}$  を対応させることが

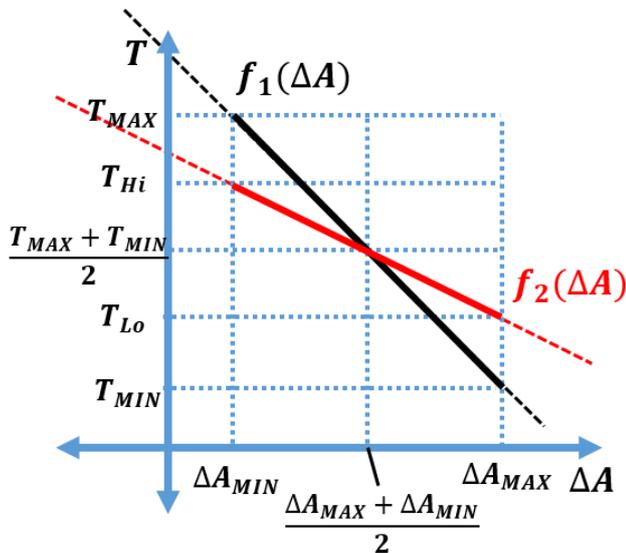


図 3 AQI の変化量  $\Delta A$  と次にセンシングするまでの時間  $T$  についての関係

ら、直線  $T = f_1(\Delta A)$  は座標平面状の  $(\Delta A_{MIN}, T_{MAX})$ ,  $(\Delta A_{MAX}, T_{MIN})$  を通る。したがって、 $T = f_1(\Delta A)$  は式 (4) によって算出される。

$$f_1(\Delta A) = \frac{T_{MIN} - T_{MAX}}{\Delta A_{MAX} - \Delta A_{MIN}}(\Delta A - \Delta A_{MIN}) + T_{MAX} \quad (4)$$

同様に、 $T = f_2(\Delta A)$  は  $(\Delta A_{MIN}, T_{Hi})$ ,  $(\Delta A_{MAX}, T_{Lo})$  を通ることから、 $f_2(0)$  は式 (5) によって算出される。

$$f_2(\Delta A) = \frac{T_{Lo} - T_{Hi}}{\Delta A_{MAX} - \Delta A_{MIN}}(\Delta A - \Delta A_{MIN}) + T_{Hi} \quad (5)$$

$T_{Lo}$ ,  $T_{Hi}$  を、それぞれ  $r$ ,  $T_{MIN}$ ,  $T_{MAX}$  を使って表すと、式 (6), 式 (7) となる。したがって、 $f_2(\Delta A)$  は式 (8) によって表される。

$$T_{Hi} = \frac{(1 + |r|)T_{MAX} + (1 - |r|)T_{MIN}}{2} \quad (6)$$

$$T_{Lo} = \frac{(1 - |r|)T_{MAX} + (1 + |r|)T_{MIN}}{2} \quad (7)$$

$$f_2(\Delta A) = -\frac{|r|(T_{MAX} - T_{MIN})}{\Delta A_{MAX} - \Delta A_{MIN}}(\Delta A - \Delta A_{MIN}) + \frac{(1 + |r|)T_{MAX} + (1 - |r|)T_{MIN}}{2} \quad (8)$$

式 (3) で示した通り、次にセンシングするまでの時間  $T$  の逆数がセンシング頻度となることから、センシング頻度  $F$  は  $\frac{1}{f_2(\Delta A)}$  となる。したがって、センシング頻度  $F$  が変数  $\Delta A$  の関数となることから、センシング頻度 (回/秒) 及び次にセンシングするまでの時間 (秒) は AQI の変化量によって表すことが出来る。また、AQI の変化量は、回帰直線の方程式の係数と時刻  $t$  における風速と AQI を用いて式 (2) によって表される。以上のことから、センシング頻度 (回/秒) 及び次にセンシングするまでの時間 (秒) は、直近 24 時間分の風速と AQI のデータから算出することができる。センシング頻度が風速と AQI のデータから算出されることによってセンシング頻度を変化させることができるため、AQI の変化量が小さいときには消費電力量が削減され、AQI の変化量が大きいときにはデータの山が正確にとれる可能性が高まる。

### ユースケース・シナリオ

本提案が適用可能なユースケースシナリオとして、Village Green Project における運用が挙げられる。図 4 にユースケースシナリオにおける監視方法の図を示す。Village Green Project では監視デバイスが公園のベンチに設置されており、備え付けのバッテリーに太陽光発電と風力発電によって電力が供給されている。このとき、風力発電機の羽の回転数から風速を算出することが可能であることから、本稿の提案手法のアルゴリズムが適用できる。提案手法によって消費電力を削減することによって電力の自給自足が

可能となり、Village Green Project の要件を満たすことが可能になる。したがって、それぞれの監視デバイスは商用電力による電力の供給が不必要になるため場所の制限がなくなり、環境発電による持続的な監視が可能になる。

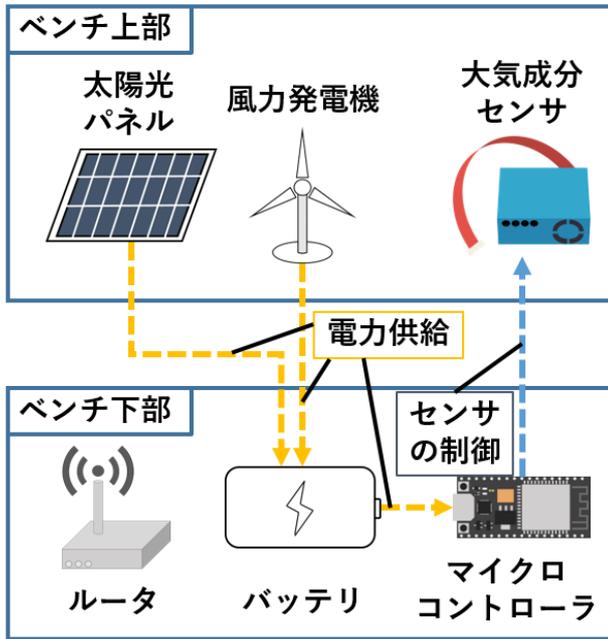


図 4 ユースケース図

#### 4. 実装と実験方法

##### 実装

ソフトウェアは、大気成分センサと風速計から大気成分データと風速データを取得する機能 (①データ取得機能)、大気成分データと風速データのタイムラグ相関係数を算出する機能 (②相関係数計算機能)、大気成分データ、風速データ、相関係数からセンシング頻度を算出する機能 (③センシング頻度算出頻度) に分けられる。図 5 にソフトウェアの実装図を示す。図 5 は、大気成分センサの PMS5003 と風速計の BT-100 からデータを取得したあとの上記の 3 つの機能の動作の流れと出力を示している。

まず、①データ取得機能について説明する。ここでは、③センシング頻度算出頻度から出力されるセンシング頻度をもとに、大気成分センサの PMS5003 と風速計の BT-100 から大気成分データと風速データを取得している。それぞれのデータは csv 形式のデータファイルとして出力している。

次に、②相関係数計算機能の説明をする。ここでの相関係数は、大気成分データと風速データから算出するタイムラグ相関係数のことである。算出するときのデータの範囲としては直近 24 時間とする。また、タイムラグ相関係数におけるタイムラグは 0 分 ~ 120 分までとする。

最後に③センシング頻度算出頻度について説明する。こ

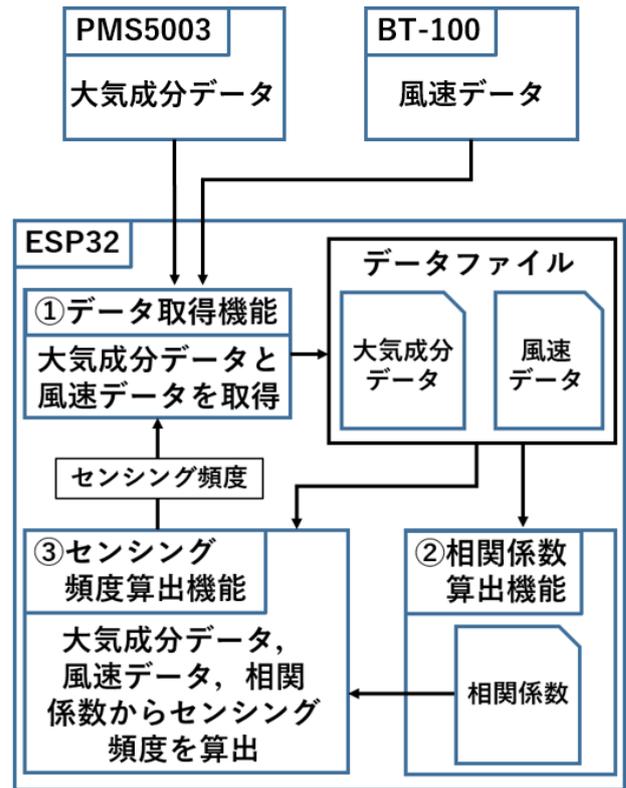


図 5 ソフトウェアの実装図

こでは、大気成分データ、風速データ、相関係数からセンシング頻度を算出している。

##### 実験環境

実験環境は、基礎実験と同様の環境を予定している。実験する場所を図 6 に示す。図 6 は、東京工科大学八王子キャンパス構内の FOODS FUU 前広場の航空写真であり、円形の広場の中央に実験器具を置いて風速と AQI の測定を行う。理由としては、周りに高い建物が少なく、ビル風による影響を受けにくいためである。実験器具は、風速計として BT-100、マイクロコントローラとして ESP32、大



図 6 実験環境の図

気成分センサとして PMS5003, バッテリとして 5000mAh のリチウムイオン電池を使用する。BT100 は, 風速 (m/s) を出力する測定機であり, 精度は  $\pm 5\%$  である。PMS5003 は, 粒子状物質の個数濃度 (個/0.1L) を粒子の直径ごとに出力するセンサデバイスであり, 精度は  $100\sim 500\mu\text{g}/\text{m}^3$  において  $\pm 10\%$ ,  $0\sim 100\mu\text{g}/\text{m}^3$  において  $\pm 10\mu\text{g}$  である。

## 5. 評価手法と分析手法

センシング頻度を定期的にする手法と, センシング頻度を変化させる本稿の手法の比較を行うために, それぞれの手法の AQI の監視状況におけるセンシング回数によって評価を行う。なお, 比較対象とするセンシング頻度は, 提案手法によって得られたセンシング頻度の平均値とする。この比較をする目的は, 同じ消費電力量での精度を評価するためである。また, それぞれの手法によって取得されたデータが, 正しいデータに対してどれだけ近いかを示す相対誤差についても評価を行う。ここでは, 1分ごとにセンシングしたときに得られるデータを正しいデータとする。評価項目を以下に示す。

- (1) センシング回数 (回)
- (2) 取得したデータの相対誤差 (%)

実験は 11 月 17 日の 9:00 から 16:37 までの 457 分間で行った。図 7 に 11 月 17 日の実験開始からの経過時間と AQI の時間変化のグラフを示す。このときの提案手法のセンシング回数は, 14 回であった。これは,  $\frac{14}{457} \approx 0.031$  の計算より, 1 分毎に取得するときの 3.1% のセンシング回数である。また,  $\frac{457}{14} \approx 32.642$  であることから, 比較対象の「センシング頻度を定期的にする手法」として 32 分に 1 回の頻度のデータを用意した。このときのセンシング回数は 15 回である。

次に, 図 8 に 1 分間に 1 回の頻度でセンシングしたデータに対する相対誤差のグラフを示す。結果として, 32 分に 1 回の頻度のデータの相対誤差の平均が 25.1% だったのに対して, 提案手法では 27.7% の相対誤差があった。これ

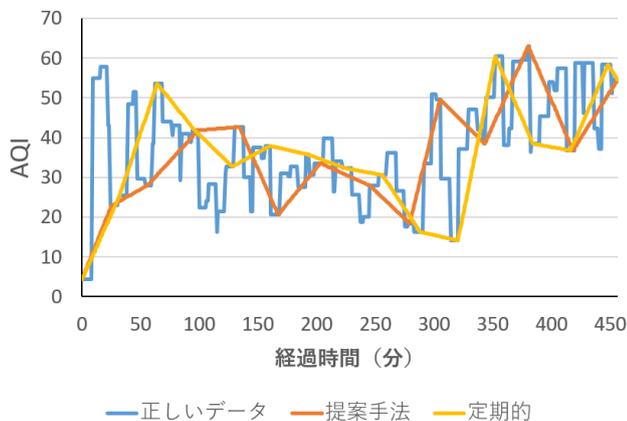


図 7 11 月 17 日の実験開始からの経過時間と AQI の時間変化のグラフ

は, AQI の予測を正確に行えなかったときの外れ値が大きく影響していることが要因となっている。例えば, 図 8 の 315 分から 321 分において, 提案手法の相対誤差は 200% 以上となっている。一方で, 32 分に 1 回の頻度のときでは同時刻において相対誤差は 3% 以下となっている。11 月 17 日において, 相対誤差が 200% のとき AQI は 20~30 の誤差に相当する。AQI は 50 区切りの指標になっているため, 外れ値として 200% の誤差が生じた場合, 指標としての意味をなさない程度の誤差が発生し得ることがわかる。

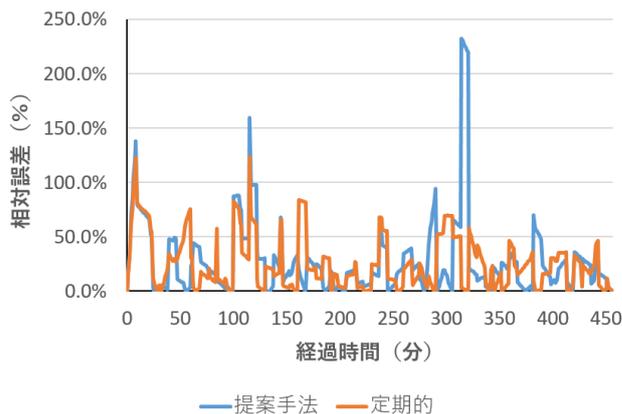


図 8 1 分間に 1 回の頻度でセンシングしたデータに対する相対誤差のグラフ

## 6. 議論

本稿の提案及び評価結果における課題と解決するための提案手法について以下に示す。

まず, 提案手法のもとになる基礎実験において, 風速と AQI の相関係数が日にちによってばらつきがある。これは, 大気成分が変化する要因が風速のみではなく, 天候, 風向き, 地形, 近隣の工場の稼働状況, 交通状況にもあるからである [12]。したがって, 「どの期間」の「どの相関係数」を適用するかを決定する必要がある。これを解決する手法として, 相関係数の時系列データをもとに重回帰分析することによって適用する相関係数を決定する。具体的には, ある時刻  $t$  の相関係数を目的変数, 過去の相関係数の時系列データを説明変数として, どの時刻の相関係数が時刻  $t$  の相関係数に対してどれほど影響しているかを重回帰分析する。ただし, この手法を適用するためには大気汚染における流体の物理学的な裏付けによる検証が必要になる。分析対象とするデータは, 季節による影響を考慮して, 1 年の期間で 1 分毎に風速と AQI を測定したときの時系列データとする。

また, 風速と AQI の相関係数が日にちによってばらつきがあることから, 相関係数の絶対値が相対的に低い日が存在する。本提案では風速と AQI の相関係数が 0 に近いほどセンシング頻度が一定になるため, 風速と AQI に相関関

係が認められない場合には従来のセンシング頻度を一定にする手法との差別化が図れない。したがって、風速と AQI の相関関係がない場合には、Chatterjea らが提案している測定したパラメータの変動性に基づくセンシング頻度の変更が必要になる [8]。相関係数によってセンシング頻度の算出方法を変えることによってセンシング頻度の変更が常時可能になる。例えば、相関係数が 0.2 以上のときに本提案を使用し、相関係数が 0.2 未満のときに AQI の値の変動性に基づいてセンシング頻度を変更することによって、相関関係がない場合においても省電力化が実現できる。

次に、評価結果において、提案手法の相対誤差が定期的な手法の相対誤差よりも増加する結果となった。これを解決するために、許容できる相対誤差を設定し、基準となるセンシング頻度を決定する。許容できる相対誤差は、監視デバイスを必要としている企業、団体と金銭契約を結ぶときに、SLA (Service Level Agreement) を定めて合意をとることで算出できる。

## 7. おわりに

本稿では課題として、AQI の変化量が相対的に小さいときに AQI の変化量に対する消費電力が増加し、AQI の変化量が相対的に大きいときにデータの山が正確にとれない可能性が高まることをあげた。そこで風速と AQI の関係から、風速によってセンシング頻度を変化させることによる省電力な監視を提案した。評価として、1 分間に 1 回のセンシング頻度のデータを正しい値としたときの相対誤差 (%) を算出した。定期的かつ同等の消費電力量となるセンシング頻度によって得られる AQI のデータと提案手法によって得られる AQI のデータを比較した。その結果、相対誤差は提案手法が定期的な手法より 2.6% 増加したが、消費電力を削減したことによって大気汚染の監視の省電力手法に貢献している。

## 参考文献

- [1] United States Environmental Protection Agency(EPA): Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI), <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf> (Retrieved 07/19/2021).
- [2] Ministry of the Environment Government of Japan: 環境大気常時監視マニュアル, [https://www.env.go.jp/air/osen/manual\\_5th/chpt1.pdf](https://www.env.go.jp/air/osen/manual_5th/chpt1.pdf) (Retrieved 07/03/2021).
- [3] The World Air Quality Project: World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index, <https://waqi.info/> (Retrieved 07/03/2021).
- [4] CNN: インド、60 万全村落への電力供給を達成 政府が宣言, <https://www.cnn.co.jp/business/35118694.html> (Retrieved 07/03/2021).
- [5] Vullers, R., van Schaijk, R., Doms, I., Van Hoof, C. and Mertens, R.: Micropower energy harvesting, *Solid-State Electronics*, Vol. 53, No. 7, pp. 684–693 (2009).
- [6] 杉本一彦, 串田高幸: 太陽光発電を用いた IoT デバイスの動的な省電力手法, CDSL-TR-041, 東京工科大学 コンピュータサイエンス学部 クラウド・分散システム研究室 (2021.Feb.1).
- [7] Tokyo Dylec CORP.: 大気用 TEOM ディコトマス モニター 1405DF, [https://www.t-dylec.net/wp-content/uploads/2020/07/thermo\\_1405df.pdf](https://www.t-dylec.net/wp-content/uploads/2020/07/thermo_1405df.pdf) (Retrieved 07/18/2021).
- [8] Chatterjea, S. and Havinga, P.: An adaptive and autonomous sensor sampling frequency control scheme for energy-efficient data acquisition in wireless sensor networks, *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, Springer, pp. 60–78 (2008).
- [9] Reilly, K. M., Birner, M. T. and Johnson, N. G.: Measuring air quality using wireless self-powered devices, *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 267–272 (online), DOI: 10.1109/GHTC.2015.7343983 (2015).
- [10] Zhang, X., Zhang, M., Meng, F., Qiao, Y., Xu, S. and Hour, S.: A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 1, pp. 590–598 (online), DOI: 10.1109/JIOT.2018.2847702 (2019).
- [11] Folea, S. C. and Mois, G.: A Low-Power Wireless Sensor for Online Ambient Monitoring, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 15, No. 2, pp. 742–749 (online), DOI: 10.1109/JSEN.2014.2351420 (2015).
- [12] 小川智弘, 瀧本真理, 並河良治, 大西博文, 山田俊哉, 江橋英治, 小根山裕之, 大城 温, 大野順通: 道路環境影響評価の技術手法, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0383pdf/ks0383.pdf> (Retrieved 07/03/2021) (2007.6).
- [13] Larissi, I. K., Antoniou, A., Nastos, P. T. and Paliatsos, A. G.: The role of wind in the configuration of the ambient air quality in Athens, Greece, *Fresen Environ Bull*, Vol. 19, No. 9, pp. 1989–1996 (2010).
- [14] 高橋幹二: エアロゾル学の基礎, 森北出版 (2003.7).