

## LPWA を利用した学内暑熱環境観測システムの検討 A Study of a Heat Environment Observation System in Campus Using LPWA

吉田 将司<sup>†</sup> 廣瀬 匠海<sup>†</sup> 柴田 健吾<sup>†</sup>  
Masashi Yoshida Takumi Hirose Kengo Shibata

### 1. はじめに

近年、平均気温の上昇などの影響で学校等において熱中症にかかる危険性が高まっている。教育機関での熱中症を原因とする救急搬送人員数は、昨年に比べ 1.88 倍増加している[1]。生徒の意識向上及び監督者の注意喚起により、屋外における症例報告は年々減少傾向にあるため、屋内における症例が全体の 30% 近くを占めている。これまで公立小中学校における空調一斉導入の効果など、教室内の暑熱環境が調査されてきた[2]。その結果、空調の効果は認められたが、設定温度や空調管理に用いる指標については、今後も検討の余地があるとされている。また教育現場における熱中症対策は、生徒及び教員の主観的判断が主になっている。そこで学内、特に屋内における熱中症の対策として、簡易な装置で児童・生徒がいる教室などの学習環境をモニタリングすることが有効であると考えられる。

本研究では、児童・生徒の体調変化に影響を及ぼす要因として校内の暑熱環境の変化に着目した。学内にセンサネットワークを構築し、温度・湿度を収集した。次に得られた値から不快指数を算出し、文部科学省の学校環境衛生基準[3]と比較して学内環境下における暑熱環境を評価した。

### 2. 観測対象と観測システムの構成

#### 2.1 熱中症とは

熱中症は気温の高い環境などで体温を調節する機能が狂い、体内の水分や塩分のバランスが崩れる等の要因でめまいや頭痛、痙攣、意識障害などの症状が起きることである。熱中症を引き起こす要因には環境・からだ・行動によるものがある。本研究の目的は校内暑熱環境の観測である。暑熱環境が悪化すると、屋内でも熱中症の危険性がある。そこでシステムの観測対象には熱中症暑さ指数及び不快指数を選択した。

#### 2.2 熱中症暑さ指数 (WBGT) と不快指数 (DI)

WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) 値とは、熱中症暑さ指数と呼ばれる指標である。WBGT 値を求める際は専用の機器を用いる必要があるが、大まかな値であれば乾球温度 (気温) と相対湿度から表で求めることもできる[4]。

本研究では観測値の基準として熱中症暑さ指数計を用いた。この測定器は温度・黒球温度・WBGT 値・湿度を測定することが出来る。指数計が使用している WBGT 値を求める近似式を(1)に示す。

$$\text{WBGT 値} = \text{黒球温度} \times 0.7 + \text{湿球温度} \times 0.3 \quad (1)$$

なお式中の黒球温度は、屋内等の静穏環境であれば乾球温度で近似可能である。しかし、湿球温度の観測が簡易化できない。そこで、本研究では観測した気温と相対湿度から不快指数を算出した。不快指数 (DI) とは、人間が生活

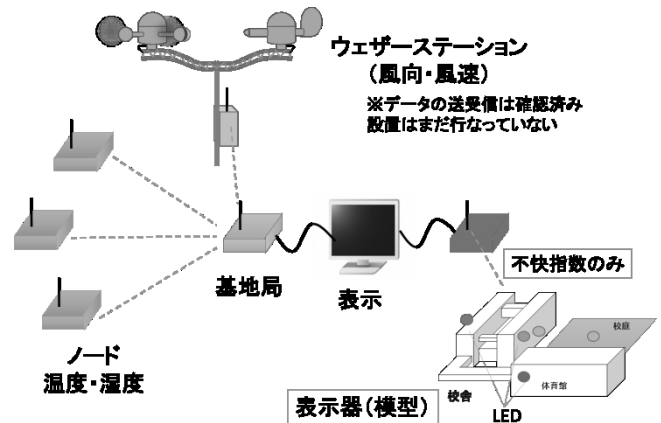


図 1 観測システムのイメージ

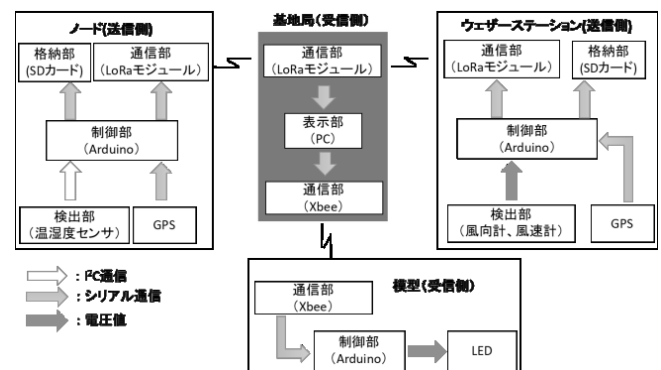


図 2 観測システムのブロック図

するうえで不快を感じる体感を気温 (T) と湿度 (H) で表した指数のことである[5]。不快指数は以下の式(2)で求められる。

$$\text{DI} = 0.81T + 0.01H \times (0.99T - 14.3) + 46.3 \quad (2)$$

ただし H は相対湿度 [%], T は気温 [°C] である。

#### 2.3 観測システムの構成

図 1 は観測システムのイメージを示す。教室や体育館などの校内に設置した観測ノードから、気温及び相対湿度を基地局へ送信する。基地局は収集したデータを表示するだけでなく、計算した各ノードの不快指数を学内模型で製作された表示器に送信する。表示器は観測場所の不快指数を LED の色で表す。図 2 は観測システムのブロック図を示す。本研究ではノード-基地局間通信に 920 [MHz] 帯の LPWA 規格の一つである、LoRa でスター型ネットワークを構成した。また基地局-表示装置間は IEEE802.15.4 規格の XBee-PRO を採用した。基地局は各ノードに搭載した GPS 受信機から位置情報と時刻情報を取得しており、観測データを含めて XML 形式に変換し、電子地図上に表示する。

## 2.4 観測ノードの構成

図 3 は観測ノードの構成と外観を示す。温湿度センサには BME280 を用いた。センサで取得した気温と相対湿度、GPS で取得した位置情報と時刻情報を LoRa モジュールで基地局に送信する。送信間隔は時刻情報を基準として任意に設定できる。今回は通信状態を確認しやすくするため 5 分間隔とし、各ノードには 20 秒の送信時刻差を持たせた。

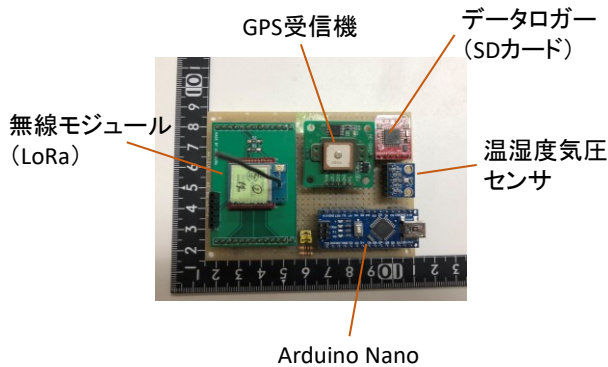


図 3 試作センサノードの構成と外観

## 3. 学内暑熱環境の観測実験と評価

### 3.1 熱中症暑さ指数計との比較結果

試作した観測システムの有効性を評価するために、観測値を市販の熱中症暑さ指数計（以後、熱中症計）と比較した。比較対象の熱中症計は佐藤計量器製 SK-150GT を使用した。比較実験は、静穏な屋内で 24 時間、試作ノードと熱中症計を設置して気温と相対湿度を観測した。気温、湿度ともに同じ傾向を示したが、それぞれ  $0.5[^\circ\text{C}]$ 、 $5[\%]$  の偏差が生じた。熱中症計に対するノードの測定誤差の標準偏差は、気温は約  $0.089[^\circ\text{C}]$ 、湿度は  $0.2000[\%]$  であり、BME280 の測定精度 ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、 $\pm 3\%$ ) と比較すれば、ノードの観測値の精度が充分であるといえる。

### 3.2 学内各所の不快指数観測結果

次に、試作した観測システムを用いて 7 月下旬の授業日における学内各所の不快指数を観測した。図 5 はある晴天時の授業日における、不快指数の 24 時間変動を示す。ここで 303、401 は北東に面する研究室、321 は南西に面した教室である。校庭は北東側、体育館は東側、図書館は南西側にそれぞれノードを設置した。体育館を除く屋内では授

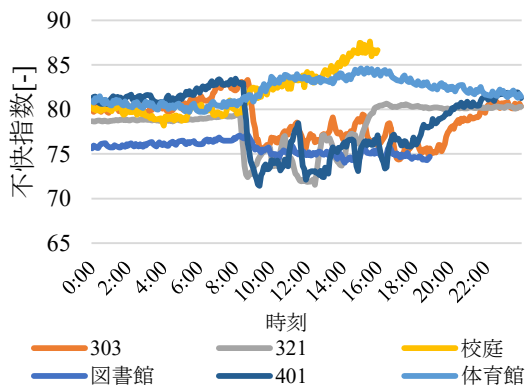


図 5 学内各所の不快指数の変動

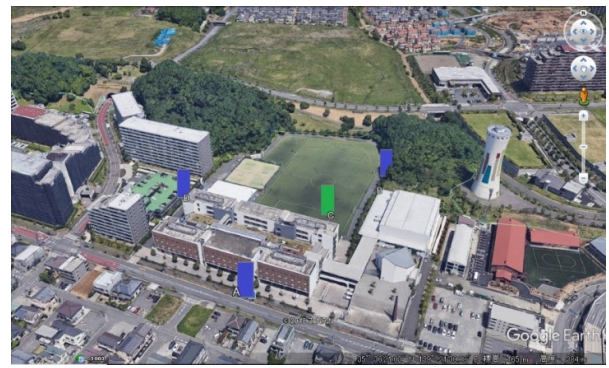


図 6 電子地図上への表示例

業時間帯を中心に空調設備が使用されるため、日中の不快指数が低下していた。図書館は 1 日を通じてほぼ一定であった。校庭は 9:00 頃から不快指数が上昇し、授業終了時刻の 16:00 頃にピークを迎えている。この結果から、学内各所で暑熱環境の傾向が大きく異なることが明らかになった。

学校環境衛生基準の気温と相対湿度を不快指数に換算すると、屋内は 60~80 の範囲である必要がある。体育館は日中を通じて基準値を超えており、対策が必要であることがわかる。北東の部屋は午前中に基準値を超えるが、適切な空調設備の使用により防止することが可能であることがわかった。

### 3.3 電子地図への表示

最後に観測データを電子地図上への表示を試みた。図 7 は Google Earth への表示結果を示す。図中の棒グラフがノードの場所と不快指数を示しており、これが 5 分毎に更新されることを確認した。しかし屋内ノードの GPS アンテナは窓際に設置しているため、場所を示す精度としては未だ不十分であることが分かった。

## 4. まとめ

本研究では、学内の暑熱環境を観測するためのセンサネットワークを構築した。その結果、夏季における学内各所の不快指数の変化傾向が確認できた。また学校環境衛生基準と比較した結果、日中の空調設備の活用が重要であることがわかった。電子地図上への表示は可能だが、位置精度に課題があった。今後は屋現地屋外の風向・風速・雨量を観測することにより、屋外も含めた学内観測システムを構築する予定である。

### 参考文献

- [1] 総務省消防庁, “平成 30 年 7 月の熱中症による救急搬送状況”, 2018, (参照 2018-10-05).
- [2] 伊坂善明, 飛田国人, 松原斎樹, “公立小中学校への空調一斉導入の効果に関する研究”, 日本建築学会誌 Vol.75, No.668, pp887, 2011.
- [3] 文部科学省, “学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準」の理論と実践”, 平成 30 年度改訂版, pp21, 2018.
- [4] 環境省, 熱中症予防情報サイト, 暑さ指数 (WBGT) とは? URL : <http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>
- [5] E.C. Thom. The Discomfort, 1959.

† サレジオ工業高等専門学校 Salesian Polytechnic