

第 11 回気象文化大賞 研究成果報告書

学内温熱環境観測用センサネットワークを利用した学習環境の快適度調査

研究代表者： 吉田将司

所属機関： サレジオ工業高等専門学校

1. 研究背景と研究目的

学校は多くの学生や教員が利用する施設であり、温熱環境は文部科学省が定める学校環境基準を満たすことが必要とされている[1]。この基準では気温が 17℃以上 28℃以下、湿度が 30%以上 80%以下であることが望ましいとされている。本校では基準に従い、学内の空調が集中管理されていた。しかし、夏や冬になると学生から教室内の環境についての苦情が多かった。また本校は、北東と南西の位置に建つ 2 棟の建物からなり、常に建物に直射日光が当たる位置にある。風通しのよさや日光の当たる時間が教室ごとに差があるため、全ての教室が快適な学習環境を作るには、教室ごとの温熱環境を把握する必要がある。

また、学習環境の快適性と学習効率についても調査が必要である。先行研究では、温冷感評価のアンケート調査が実施されており、結果として室内温熱環境の改善を図ることで学生の学習効率が上昇することが指摘されている[2]。

本研究室では平成26年より学校内に温熱環境観測用センサネットワークを構築し、学内約10か所の温熱環境（気温、湿度）のデータを取得してきた[3]。1年間を通して学校内の温度・湿度を観測した研究が多く実施されているが、測定データ数が膨大となるため、観測場所や回数などを制限した例が多かった。また教室内の温熱環境と、その環境下にいる学生の温冷感などの主観的評価を同時に且つ継続的に調査した例は少ない。さらに学習効率の調査を付加できれば、学習環境の改善が期待できる。

本研究の最終目的は本校（サレジオ工業高等専門学校）における学生の学習環境を向上させることである。本稿ではまず既に構築した学内の温熱環境を把握するための環境観測用センサネットワークを改善し、取得したデータを方角や用途、階層などのハードウェアの要素から解析した。次に、快適度数計および複数の熱中症暑さ指数計（WBGT計）を用いて教室内の温熱環境を観測、温湿度を比較した。最後に快適度数調査用の学生アンケートを作成した結果を報告する。

2. 研究内容と成果

2.1 観測システムの構築と改善

図 1 は本校内に構築した温熱環境観測システムの概要を示す。ただし図中の風光・風速・雨量の観測ノードは現在欠測中である。図 2 は観測用センサノードの外観を示す。このセンサノードは、GPS、温湿度センサ、マイコンおよび通信用 LoRa モジュールで構成される。現在のシステムは、取得した気温・湿度から計算した不快指数データを基地局 PC で表示・保存するとともに、学内を模したジオラマ（表示器）で LED 表示させている。図 3 は製作当初の表示器の概観、図 4 は基地局用 PC における受信データの表示例を示す。本研究課題である改善項目として、まずノードの設置場所を変更・増加した。図 5 は改善後のジオラマ（表示器）を示す。次に、観測データを基地局からインターネットを介して外部サーバに保存、WEB 上で確認できるシステムを新たに構築した。新たな基地局は小型マイコンである M5StickC と LoRa モジュールで構成した。各ノードから LoRa モジュールで受信したデータを M5StickC から Wi-Fi で Google drive へと転送する。Google drive 内に作成したスプレッドシート上に各ノードからの受信データおよび位置情報を表示する。図 6 は Google drive 上における表示例を示す。この方式の採用により、Google Map 上にノードの位置、一覧表にノード設置場所の室温と湿度が自動的に更新されるようになった。ただし、GPS アンテナが窓際にしか設置でないため、測位精度が低く表示位置は 10～20m の誤差が生じた。

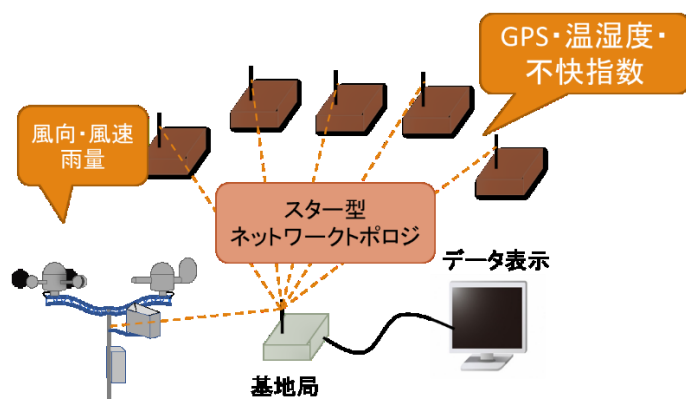


図1 温熱環境観測システムの概要

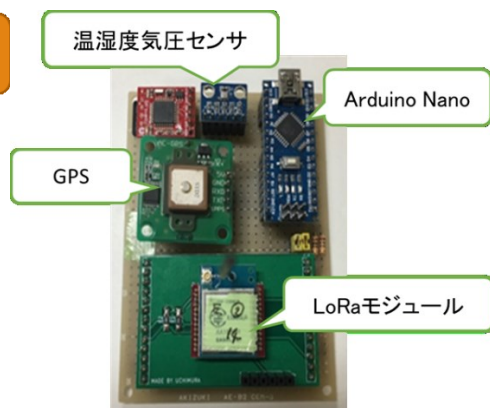


図2 観測ノードの外観



図3 学内ジオラマ（表示器）の概観(2017年)



図4 基地局用PCにおける受信データ表示



図5 改善後のジオラマ（表示器）

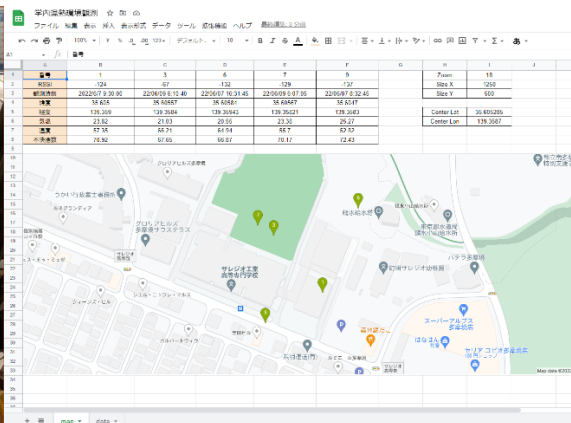


図6 Google drive を利用した表示システム

2.2 取得データの解析

この観測システムは5分毎に9個のノードから位置情報、温湿度データを取得している。取得データの解析方法は、まず各教室のノードにおけるデータを回収する。次にpythonを利用して回収したデータを統合し、データをノードごとに分け、1時間平均を計算するプログラムを作成した。最後に授業時を想定した昼時間帯の教室の温湿度を調査するため、今回はノード2（南西側3階教室）とノード8（北東側3階教室）における13:00のみのデータを抽出し、9月と12月で温度（室温）－湿度の散布図を作成した。

図7、8は9月、12月の散布図を示す。○がノード8で北東側、△がノード2で南西側を示す。9月は両ノードに大きな違いは見られなかった。図7より湿度60%、温度30℃付近と湿度55%以下、温度30℃以下の二

つの塊に分かれている。これは、空調が止まる土曜日、日曜日と平日の違いと考えられる。図 8 にも同様の二つの塊が見られ、ノード 2 の方がノード 8 に比べて室温が高く、湿度の分布が低い傾向にあることから、冬季は教室の方位により温熱環境が変わることがわかった。また、両ノードとも 9 月と比較して温湿度の分布が広く、季節によって温湿度の分布のばらつきにも違いが出ることが分かった[4]。

次に、教室の温熱環境を学校環境衛生基準及び労働安全衛生基準と比較・評価した。両図内の黒枠は学校環境衛生基準、赤枠は労働安全衛生基準を示している。図 7 では一部の日を除いて平日はほぼ基準内に収まっているのに対して、図 8 では特に湿度が基準値から大きく外れており、冬季の温熱環境では湿度の低下が課題であることが示唆された。

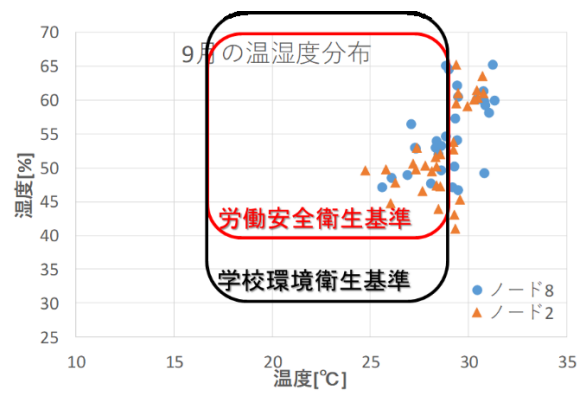


図 7 9 月における教室の温湿度分布

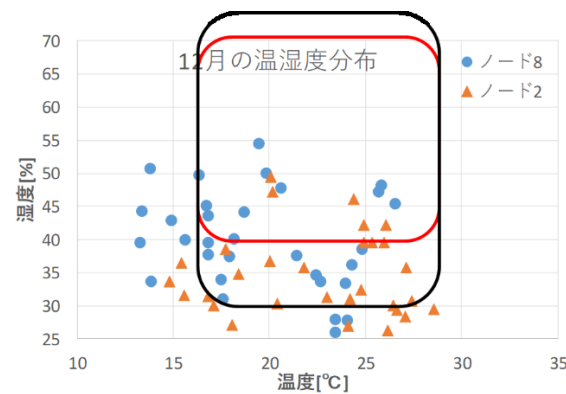


図 8 12 月における教室の温湿度分布

2.3 教室内の温熱環境の観測

申請時に計画していたノード観測データと PMV 計観測データとの年間変動の比較は、夏季及び春季における本校の空調装置入れ替え工事に伴い実施できなかった。そこで 4 月に WBGT 計 3 台と PMV 計 1 台を利用した教室の温熱環境観測試験を実施した。測定条件は空調なし、換気なし、カーテンを開けた状態とした。窓側、中央、廊下側の 3 か所の高さ 1.5m に観測プローブを設置して気温が上昇する日中 1 時間の室温、黒球温度、湿度を測定した。図 9 は観測実験の様子を示す。

図 10、11、12 はそれぞれ 3 か所の室温、湿度、WBGT 値の時刻変化を示す。図 10 から窓側と廊下側では室温の差が約 0.8℃あった。図 11 と比較すると室温の上昇に対して湿度の低下が生じ、その差が広がっていることが示唆される。図 12 より、WBGT 値は窓側と廊下側で 0.5℃～0.8℃の差が生じていた。これらの実験結果は限定した状況での結果であるため不十分である。また、測定値から PMV 値の算出が必要となる。そのため、さらに時間帯や条件を変更して測定する必要があると考えられる。

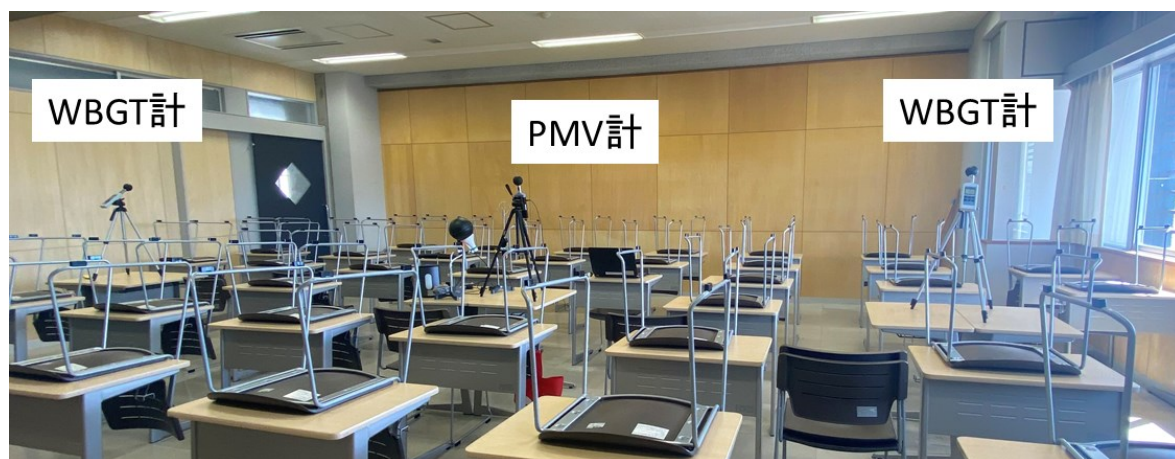


図 9 南西側教室内の温熱環境観測実験の様子

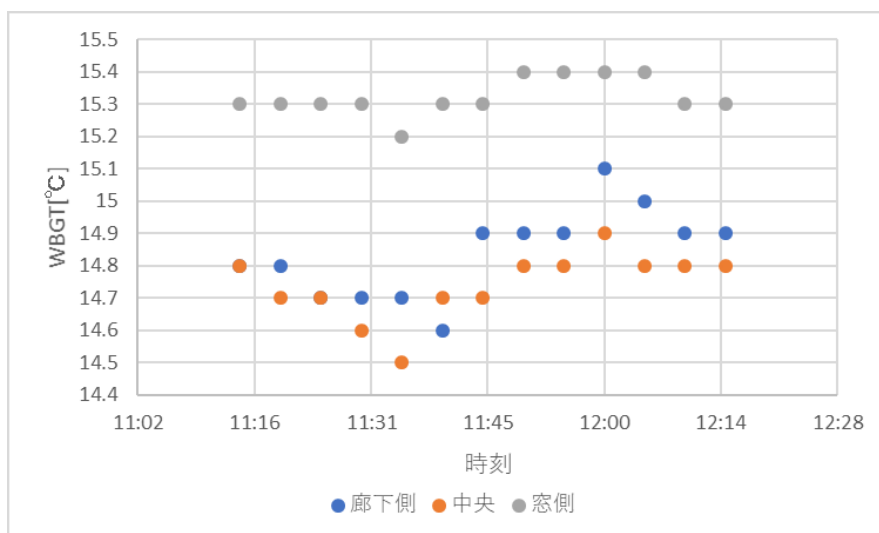
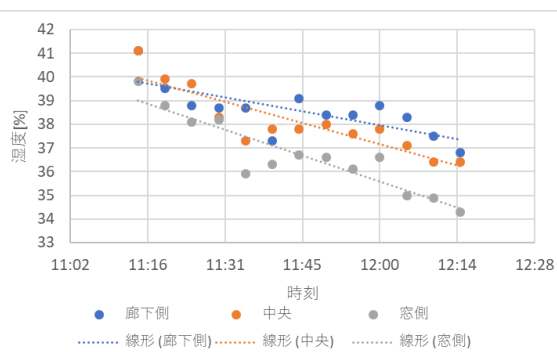
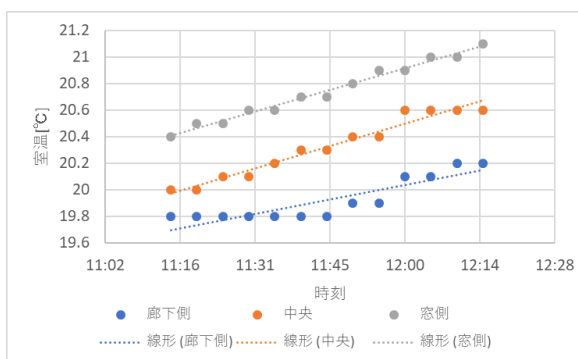


図 1 2 教室内の WBGT 値変化

吉田研究室 学内温熱環境に関するアンケート

※ご回答頂いたデータは本研究でのみ使用し、研究以外で使用することはありません。

____月____日 天気(快晴・晴れ・曇り・雨・雪) ____年____組 (男・女)

① 本日の服装 あてはまるもの全てに✓をつけてください。

Tシャツ ロンT 袖なしインナー シャツ 半袖シャツ ポロシャツ

トレーナー パーカー ベスト セーター カーディガン ジャケット ワンピース

長ズボン 半ズボン ショートパンツ ロングスカート 膝上スカート

ダウン ジャンパー コート 靴下長さ 長さの番号を選択してください。
靴下を履いていない方は⑥タイプ。
着用の方は⑥と書いてください。

裏面もあります。

② 温冷感 体感での温冷感をもとに、当てはまるところに印をつけてください。

かなり寒い 寒い 少し寒い 快適 少し暑い 暑い かなり暑い

かなり寒い 寒い 少し寒い 快適 少し暑い 暑い かなり暑い

③ 教室での位置 教室での自分の座席位置を塗りつぶしてください。

黒板

④ 自由記述欄。

例：窓が近くて暑い等。

ご協力ありがとうございました！

2.4 快適度数に関する調査

学内の学習環境改善には、ハードウェア的な温熱環境観測による快適度数の評価だけでなく、実際に授業を受ける学生の主観評価も重要な指標となる。そこで、主観評価用のアンケートを作成した。申請時に計画していた、教室環境観測と並行した快適度調査アンケート調査は、対面授業の減少に伴い実施できなかった。図 13 は作成したアンケートの内容を示す。質問項目はまず現在の着衣状態、次に現在の快適度を 7 段階で評価、最後に教室の自分の席を大まかにチェックする方式とした。着衣状態から算出した clo 値、教室内の場所や 7 段階の主観評価と、その時刻・場所における温熱環境観測データとを比較することが狙いである。このアンケートは年 2 回（夏季と冬季）実施する予定である。

3. まとめ

本研究課題は学内学習環境の把握と向上を目的として、温湿度観測システムの改善と秋季・冬季の教室における温熱環境の比較、快適度数計を用いた教室内の温熱環境の観測、および主観評価用アンケートを作成した。秋季・冬季において、設置方位の異なる教室では室温・湿度ともに差があり、安全衛生基準から外れる場合があることが示唆された。また同時刻でも窓側と廊下側でも室温・湿度の変化の違いが見られた。しかし、観測場所や期間、条件などを変更して観測を継続する必要がある。また、主観評価アンケートは遠隔授業が続いて実施できなかった。今後は観測の継続実施、観測データから PMV 値の算出、および主観評価における PMV 値との比較を実施する予定である。

謝辞

本研究を実施するにあたり、協力してくれた研究室所属学生に感謝の意を表します。

成果発表実績

[1] 大庭康平, 吉田将司, 2021: 学内温熱環境観測システムを利用した校舎の温熱環境の調査, 第45回人間-生活環境系シンポジウム報告集, c-1.

参考文献

- [1] 文部科学省, 2009: 学校環境衛生基準
- [2] 伊坂善明, 飛田国人, 松原斎樹 2011: 公立小学校への空調一斉導入の効果に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第76巻 第668号 887-895.
- [3] 廣瀬 匠海, 吉田将司, 2019: 学内温熱環境観測システムの開発, 第43回人間-生活環境系シンポジウム報告集 p1.
- [4] 大庭康平, 吉田将司, 2020: 学内温熱環境観測システムを利用した校舎の温熱環境の調査, 第44回人間-生活環境系シンポジウム報告集, a-5.