

教室の有効な冷房と換気

榛原郡川根本町立本川根中学校
2年 山内 美琴

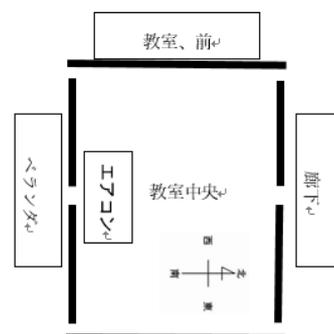
1 研究の目的

川根本町ではこの夏、全国 3 位の猛暑を記録した。夏は教室の冷房が必要だ。また、今年は新型コロナウイルスの感染予防のため、換気も行わなければならない。エアコンの使い方と換気をどうすればいいか調べてほしいと 6 月の初めに校長先生に依頼された。私は 1 年生の時から「川霧の発生条件」をテーマに、気象観測を行ってきた。その経験を生かし、2 週間の調査を行い、報告をした。しかし、6 月はまだ冷房の不要な時期であり、もっと暑くなり冷房が必要となる夏に、冷房と換気の適切な条件はどうなるかを詳しく調べてみる必要がある。6 月の調査では、本校で決めた基準（4 隅を 10 cm 上下に開く）を中心に測定した。この調査から次のような「問い」をもった。本校の基準は適切か。もっと他の条件で測定したらどうなるか。また、「窓を開ける方向は 2 隅の対角線で」とよく耳にするし、インターネットにも出ている。それは本当か。4 隅を開ければ 2 隅の時よりも窓の開いた部分の面積は 2 倍になる。飛沫の排出は窓の開口面積で決まるのではないか。以上の理由から、冷房と換気という 2 つの条件を満たすにはどうしたらよいかを調べることを目的に本研究を行った。

2 研究の方法

(1) 教室の窓の開け方を次①～④のようにして、エアコンによる冷房の効果を調べる。窓を開ける幅は、10 cm、20 cm、20 cm と変えていく。今回のエアコンの設定温度は 26℃ にする。

- ① 4 隅の窓を開ける。(両側クロス窓)
 - A 上下の窓を開ける。 B 上のみ開ける。(4 隅の欄間)
 - C 下のみ開ける。(4 隅の出入口)
- ② 2 隅の窓を開ける。(片側クロス窓)
 - A 上下の窓を開ける。(2 隅の欄間と出入口)
 - B 上のみ開ける。(2 隅の欄間) C 下のみ開ける。(4 隅の出入口)
- ③ 対角線ではない 2 カ所の窓を開ける。
 - A 中央両側上下の窓 B 教室前の横両側上下の窓
 - C 教室前と後ろ同じ側 縦方向上下に開ける。
- ④ 1 隅の窓を上下に開ける。



また、本校では授業中、冷房を始めて、25 分たったら、窓を全開にし、5 分間の換気をする。その影響についても調べる。測定では、気温と湿度を授業と同じ 50 分間測定する。25 分たったら、5 分間窓を全開にする。この間エアコンのスイッチは切らない。風の強さは常に強風（吹き出し口で 1.3～1.4m/秒 測定結果から）にし、風向は天井と平行にする。測定器具は、右写真「Data logger with LCD display」を使う。この器具は気温と湿度を同時に測ることができる。また、1 分ごとの測定と記録ができ、結果をエクセルの表に写すことがで



教室とベランダの気温と湿度を測る。同じものを 3 台使用。
・気圧や露点も測定できる。(川霧の観測で使用)
・ただし、たまに長時間フリーズすることがあるのでその時のデータは外す。

また、1 分ごとの測定と記録ができ、結果をエクセルの表に写すことがで

きる。蒸し暑さは気温と湿度の両方に関係する。そこで測定した気温と湿度から、「暑さ指数」を求め、蒸し暑さの度合いを比べることにした。求め方は小野雅司さんたちの次の計算式（通常観測気象要素を用いた WBGT の推定 日生気誌, 50 (4) , 147-157 2014) を使うことにした。

$$\text{暑さ指数} = 0.735 \times Ta + 0.0374 \times RH + 0.00292 \times Ta \times RH + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064$$

(Ta : 気温、RH : 相対湿度、SR : 日射の強さ、WS : 風速)

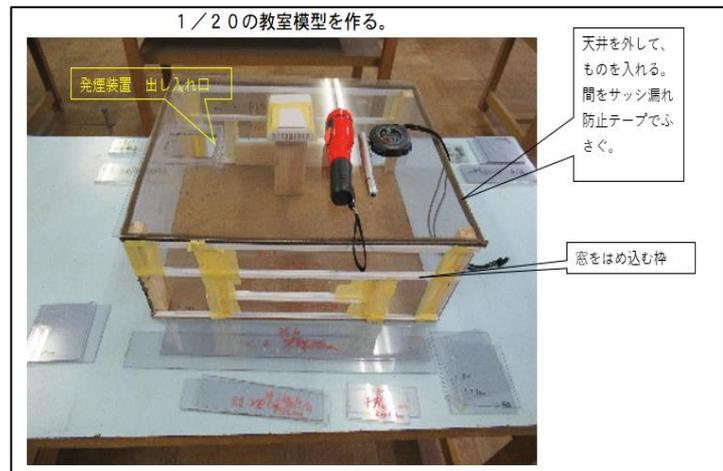
ただし、室内であるため、日射は0とみなして値を求めた。風速は1.4m/秒とした。

教室での測定は条件を一定にすることができないので、できるだけ数多く行う。外気温や測定前の冷房状態などの条件が違えば測定結果は大きく左右される。そのため、多くの測定が必要だ。多くの測定を行えば条件の近いものも出てくるだろう。

(2) 窓の開け方による飛沫の排出

教室の20分の1の模型を使って、煙の排出時間を調べる。窓の開け方は(1)と同じようにする。模型の窓の幅を0.5cm開けば実際の教室では10cm、1.0cm開けば20cm開けたことになる。

模型は透明な硬質塩ビ板を使って作り、中が見えるようにした。また、開く幅を調節できるようにした。飛沫ができるだけ隙間から逃げないように隙間は養生テープでふさいだ。



飛沫の排出は次の①から③の手順で行った。

- ① 内部に携帯ファンを置く。携帯ファンの風速は測定のために1.3~1.4m/秒になるように、テープで吸入口を調節する。エアコンの吹き出し口の風速と同じにした。
- ② ウイルスを含んだ飛沫のモデルとして、塩化アンモニウムの煙を使う。塩酸35%、アンモニア水28%を0.5mlずつ正確に測って発生させた。5分間煙を模型の中で発生させ、煙の量を一定にした。
- ③ 煙を5分間模型内に充満した後、開窓の条件を変えて飛沫の排出を調べる。

内部の飛沫にレーザー光を当てて、光路の見え方を確認する。ファンで室内の空気を動かし続け、光路が完全に見えなくなるまでの時間を測定した。光路が消失した時に、飛沫は排出されたとみなした。測定はすべて5回ずつ行い、光路の消失時間、つまり飛沫が完全に排出された時間の平均を求める。
(右写真 煙中のレーザー光路)



(3) 教室の1/20模型を使って煙の流れ方を見る。

(2)の測定結果から、飛沫の排出は窓を開ける位置や開け方によって、開口部や教室内部の空気が変わることも原因かもしれないと思った。そこで、模型の内部で煙を発生し続けた時の空気の流れを懐中電灯の光を当てて観察した。強い懐中電灯の光を当てて煙の動きを見る。観察は私が最も気になった4隅(両クロス)0.5cmを上下、上のみ、下のみ開けた場合について行った。



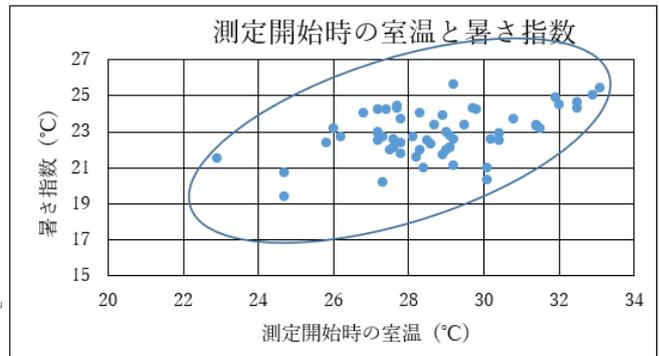
3 研究結果と考察

8月の本川根中の気象データ（校内にある気象庁アメダスのデータ）では、計測を行ったすべての日は暑く晴天であった。また、計測した時間帯の風力段階も高くても2であった。雨による多湿や風による影響は少ないと判断した。

(1) 教室の窓の開け方を変え、エアコンによる冷房の効果を調べる。

①測定開始時の室温と50分間の平均暑さ指数の関係。

右のグラフは、8月のすべての記録をグラフに表している。このグラフの点の分布から50分間の平均暑さ指数は測定開始時の室温が高いほど、平均暑さ指数も高いことが分かる。



②測定開始時の外気温と50分間の平均暑さ指数の関係。

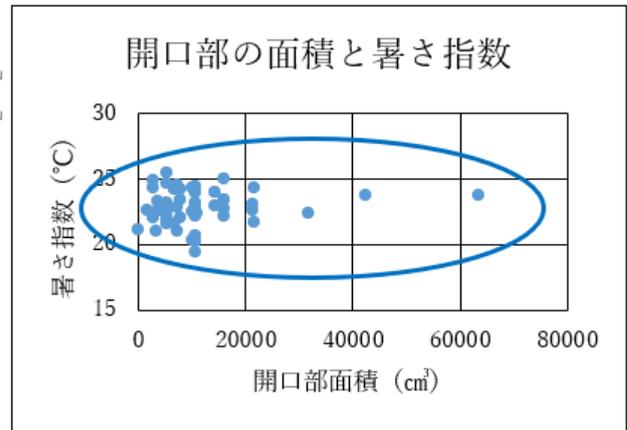
平均暑さ指数は外気温が高いほど、高いことが分かった。

③測定開始時の教室内暑さ指数と50分間の平均暑さ指数の関係。

同じように全部の記録から、測定開始時の暑さ指数と50分間の平均暑さ指数の関係は、測定開始時に暑さ指数が高いほど、平均暑さ指数は高くなることが分かった。

④ 開口部の面積と暑さ指数の変化

同じように全部の記録を表したものが右のグラフである。これを見ると平均暑さ指数は開口部の面積とあまり関係はない。面積が広がっても暑さ指数はあまり変化していない。開ける位置と開け方によって、どう暑さ指数が変わるか、一つ一つの条件について下のグラフにまとめた。



このグラフを見ると、次の1～3のことがわかる。

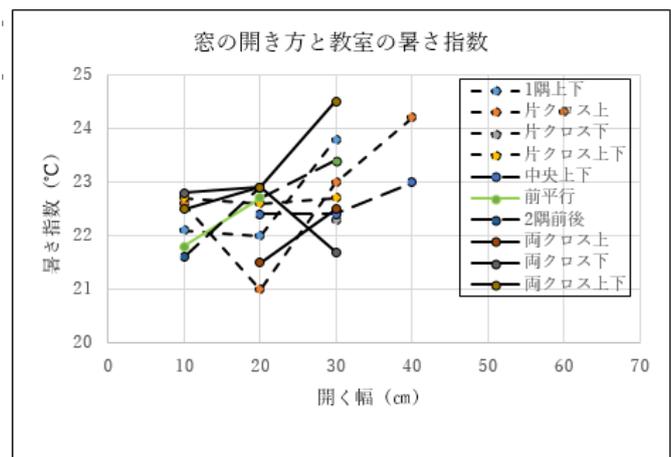
1 全体的にグラフは右上がりである。それぞれの条件（開け方）の中では、開ける面積を広くするほど暑さ指数は上がる傾向がある。

2 どのような開け方をしても、開け幅が10 cm、20 cmまでなら暑さ指数は23°C以下に抑えることが出来る。

このことは10 cm、20 cmの狭い場合、どちらの幅でも暑さ指数はあまり影響しないことも示している。

3 2から、どのような開け方であっても、

開く幅を20 cm以内にすれば、エアコンの冷房の効果を保てるといえる。

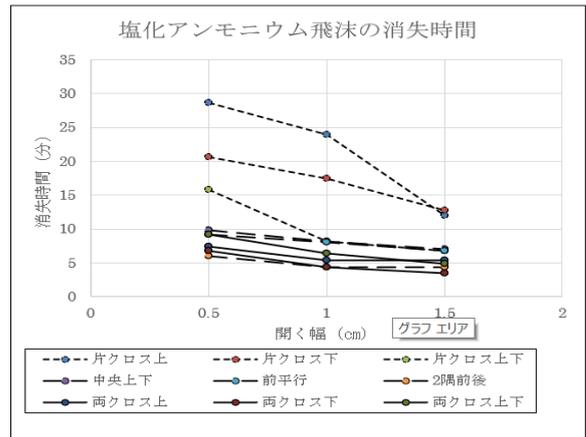


また、測定25分後の全開換気によって、暑さ指数は平均で6月には0.6°C、8月には1.4°Cの上昇がみられた。その変化は4隅の窓を開ける場合に最も小さく、影響が少なかった。

(2) 窓の開け方による飛沫の排出（教室 20 分の 1 開け方の違いごとの飛沫の消失時間を 1 つのグラフにまとめて示す。このグラフを見ると、次のことがいえる。

- 1 飛沫の排出は、両側クロスの窓を開ける方が片側クロスの窓を開けるより速い。片側クロスの窓を対角線に開く方法は中央の窓や隅の 2 カ所を開ける時と比べても時間がかかる。
- 2 両側クロスに窓を開く場合、上下両方を開けるよりも、下のみ、あるいは上のみを開けたほうが排出は速い。

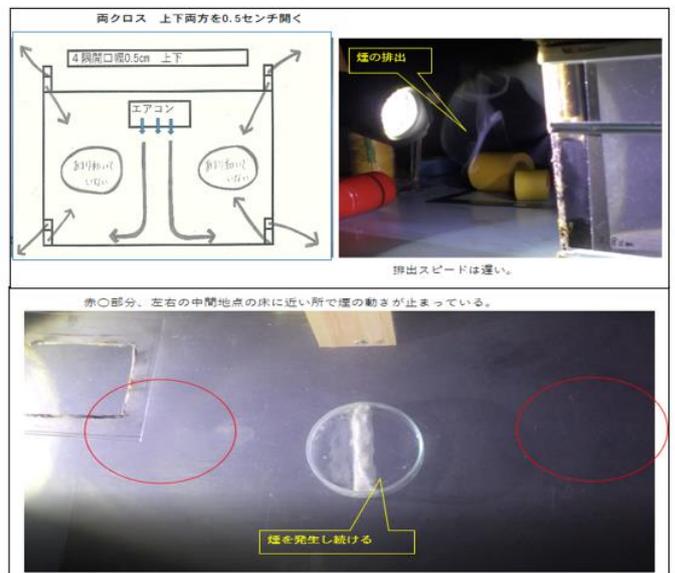
模型での平均消失時間)



(3) 教室 20 分の 1 の模型の中で、煙の動きを観察する。(写真は 4 隅 上下を開けた場合)

実験は、特に私が気になった 4 隅 (両側クロス) の窓を「上下」、「上だけ」、「下だけ」開けた 3 つの場合について行った。その結果、次のような違いが分かった。

- 1 上下両方を開けた場合には、内部の床に近い所に空気の流れのよどみができる。上だけ、下だけを開いた場合には空気はよどむことなく流れる。
- 2 上だけ、下だけ開けた方が窓から出てくる煙の勢いが強い。
- 3 内部をドライアイスで冷やした場合にも、同様の結果が得られた。



6 結論

この研究から「教室の冷房と換気」について、次のことが分かった。

- (1) 窓の開け方、開く幅による教室の暑さ指数。
 - それぞれの条件の中では、開ける幅を広くするほど暑さ指数は上がる傾向がある。
 - どのような開け方をしても、開け幅が 10 cm、20 cm までなら暑さ指数は 23°C 以下に抑えることができる。
- (2) 全開換気による暑さ指数の変化。
 - 暑さ指数の変化が小さい順に並べると、両側クロス、横、片側クロスとなる。だから、一番全開換気の影響が小さく、冷房効果を保っているのは、4 隅を開く場合である。
- (3) 教室 1 / 20 の模型での塩化アンモニウムの飛沫の消失。
 - 同じ開け方をした場合には開口面積を広くするほど消失時間は短くなっている。
 - 飛沫の排出は 4 隅 (両側クロス) の窓を開けたときが一番速い。2 番目は中央や前平行の窓である。片側クロスは最も飛沫の消失に時間がかかる。
- (4) 飛沫の排出と室内の空気の流れ
 - 飛沫の排出時間は窓の開け方によって室内の空気の流れが変化することによっても影響される。以上のことから次のように結論できる。

開ける位置は 4 隅 (両側クロス) の位置にし、開け幅を 20 cm 以内にする。このことによって、冷房効果を保ちながら、室内の飛沫を有効に排出することができる。