

冷房時における小学校教室の温熱環境と温冷感評価

延原 理恵¹⁾・角谷 環²⁾

Thermal Environment and Evaluation of Thermal Sensations in an Elementary School Classroom when Air-conditioned

Rie NOBUHARA and Tamaki TSUNOYA

抄 録：教室は児童が一日のうち多くの時間を過ごす場所であり，良質な環境を保持することは健康面や学習面で重要である。夏季においては，冷房導入によって教室の快適性は向上したが，一方で冷房病やエネルギー消費量の増大のように健康上や環境上の問題点も指摘されている。そこで，冷房使用時の問題を把握し，その改善を提案することを目的として，9月初旬の冷房使用時の小学校教室の温熱環境を温湿度ロガーにより計測するとともに，児童の温冷感に関するアンケート調査を行った。同じ教室内でも場所によって温熱環境や温冷感には差異があり，エアコン吹出口との位置関係や窓側か廊下側か等の環境条件によって異なっていた。

キーワード：小学校，冷房，温熱環境，温冷感

I. はじめに

都市部の気温は，地球温暖化に加えヒートアイランド現象によって上昇を続けている。また，小学校において2学期制が導入されるようになると，夏休みが以前より早く終わり夏季の授業日数が増加している。また，京都府の一般家庭へのルームエアコン普及率は統計局の平成21年全国消費実態調査によると90.7%であり，一世帯当たり2.5台所有している。このような状況の中，全国的にも教室に冷房を導入する学校が増えており，今後もさらに増加すると予想される。

小学校教室は児童が生活時間の多くを過ごす場所であり，健康で快適な生活が送れるよう教室内の環境には十分に配慮する必要がある。とくに，教室内の温熱環境は学習意欲に大きな影響を与える¹⁾。冷房の導入によって教室の快適性が向上した一方で，冷房によって身体が冷えて体調を崩すという子どもがいたり，エネルギー使用量が増加したりと健康上や環境上の新たな問題が生じている。

そこで，学校教室におけるより賢い冷房の利用方法を考えることを目的として，冷房使用期間の教室の温熱環境を実測するとともに，その教室を利用している児童を対象に温冷感に関するアンケート調査を実施した。これにより，教室内の温熱環境の実態と温冷感との関係を見出

1) 京都教育大学 2) 農事組合法人伊賀の里モクモク手づくりファーム

し、冷房使用時の教室内の問題点をあげ、改善案について検討してみたい。

Ⅱ. 調査方法

京都教育大学附属桃山小学校の普通教室のうち、とくに夏季の温熱環境が厳しいとされていた最上階の教室を調査対象とした。調査は、冷房使用期間中の 2008 年 9 月 2 日～9 月 16 日までの約 2 週間に実施した。温湿度は教室内の 7 箇所にて小型温湿度ロガー（HIOKI3641）を設置して、5 分間隔で測定した。測定高さは日本建築学会による室内温熱環境測定基準²⁾にしたがって、床上 10 cm および 110 cm とした。教室内の座席やエアコン配置、測定機器の設置位置を図 1 に示す。また、実測調査と並行して、2008 年 9 月 4 日、5 日、9 日、16 日の授業終了時に、児童（6 年生 40 名）に対して温冷感や手足の感じ方などについてのアンケート調査を行った。

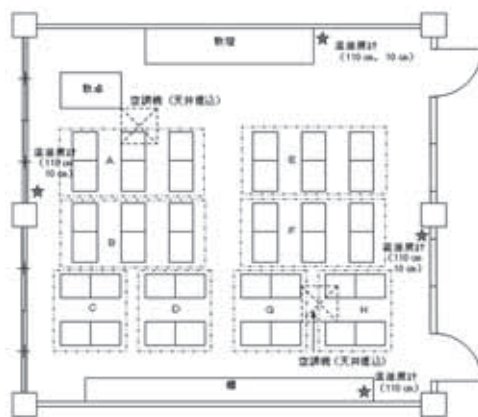


図 1 教室内の座席グループと測定機器の位置

Ⅲ. 結果と考察

3.1 温熱環境の実態

実測期間における教室と京都地方気象台の日平均気温、日最低気温、日最高気温を表 1～3 に示す。ただし、最終日（16 日）は 24 時間分のデータが収集できていないため除いている。図 2 は、前方 110 cm の室内気温と京都地方気象台による京都の外気温を比較したものである。前方 110 cm は教室内で比較的高い気温を示している地点である。文部科学省の定める学校環境衛生基準³⁾によると、夏期の教室の温度は 30℃ 以下が望ましく、最も学習に望ましい条件は 25～28℃ となっている。土日祝日で冷房を使用していなかった日の教室内の気温は高く、この条件を超えている。休日であるため窓が閉められていて通風がないことを考慮しても、冷房なしでは授業を行うには暑く、学習に望ましい環境条件をつくるのが難しいと推察できる。

表 1～3 から教室中でも場所によって気温が異なっていて、窓側では上下の気温差が大きくなっていることがわかる。冷房使用日の最低気温は前方 110 cm、前方 10 cm、窓側 110 cm、廊下側 10 cm、廊下側 110 cm、後方 110 cm、窓側 10 cm の順に気温が高くなっていった。場所による気温の差は、冷房を使用していない土日祝日は太陽からの日射の影響を受けて大きくなることを予想したが、冷房を使用した平日でも場所による気温の差が大きくなっていった。

ここで、9 月 1 日 12 時 30 分～9 月 16 日 17 時 30 分までの教室内の各場所の気温変化（図 3）

表 1 日平均気温

	前方 110cm	前方 10cm	窓側 110cm	窓側 10cm	廊下 110cm	廊下 10cm	後方 110cm	京都地方 気象台
2 日(火)	28.1	27.8	27.8	26.5	27.3	27.2	27.1	27.7
3 日(水)	28.0	27.7	27.6	26.3	27.1	27.1	26.8	26.6
4 日(木)	27.4	27.0	27.0	25.6	26.7	26.7	26.2	25.9
5 日(金)	27.3	26.7	26.8	25.5	26.4	26.6	26.1	26.6
6 日(土)	29.4	28.7	29.8	29.0	29.7	29.0	30.5	27.7
7 日(日)	31.3	30.2	31.7	30.8	31.5	30.6	32.3	26.7
8 日(月)	28.8	27.8	28.1	26.6	27.0	27.3	26.1	25.6
9 日(火)	27.7	27.4	27.3	25.8	26.6	26.9	26.0	24.6
10 日(水)	27.5	28.1	27.5	26.4	26.8	27.0	26.7	25.7
11 日(木)	28.0	28.4	27.7	26.5	27.0	27.0	26.7	26.0
12 日(金)	27.9	28.6	27.6	26.4	26.9	26.9	26.5	26.3
13 日(土)	29.9	29.3	30.1	29.4	30.0	29.3	30.6	25.9
14 日(日)	31.0	30.0	31.3	30.5	31.3	30.4	31.8	26.4
15 日(祝)	30.4	30.2	30.1	29.7	30.6	30.3	30.3	23.0

表 2 日最低气温

	前方 110cm	前方 10cm	窓側 110cm	窓側 10cm	廊下 110cm	廊下 10cm	後方 110cm	京都地方 気象台
2 日(火)	27.6	27.2	26.9	24.9	25.9	26.1	26.0	25.4
3 日(水)	27.5	26.7	26.6	24.7	25.7	25.9	25.4	24.5
4 日(木)	26.7	26.0	26.0	24.4	25.5	25.6	25.1	22.5
5 日(金)	26.7	25.9	25.9	24.5	25.2	25.5	25.2	23.6
6 日(土)	28.5	28.4	28.6	28.2	28.6	28.3	28.8	23.5
7 日(日)	30.5	29.9	30.6	30.0	30.5	29.9	30.7	23.4
8 日(月)	27.6	26.7	26.9	25.0	25.4	25.8	24.6	21.7
9 日(火)	27.3	26.5	26.5	24.9	25.5	25.8	24.8	18.9
10 日(水)	26.9	27.5	26.8	25.0	25.9	26.0	25.9	19.6
11 日(木)	27.6	27.7	26.8	25.5	26.0	26.1	25.7	21.3
12 日(金)	27.4	28.4	27.0	25.3	26.2	26.1	25.6	19.8
13 日(土)	29.4	29.2	29.2	28.8	29.2	28.8	29.3	22.0
14 日(日)	30.2	29.9	30.3	29.7	30.2	29.8	30.2	21.8
15 日(祝)	30.1	30.0	29.7	29.3	30.3	30.1	30.0	20.6

表 3 日最高気温

	前方 110cm	前方 10cm	窓側 110cm	窓側 10cm	廊下 110cm	廊下 10cm	後方 110cm	京都地方 気象台
2 日(火)	29.4	29.2	29.5	28.9	29.2	29.0	29.4	33.7
3 日(水)	28.6	28.4	28.3	27.7	28.3	28.2	27.8	30.6
4 日(木)	28.8	28.8	28.6	28.2	28.8	28.6	28.9	31.3
5 日(金)	28.6	28.4	28.2	27.0	27.9	27.9	28.0	30.8
6 日(土)	30.5	29.3	31.2	29.9	30.6	29.7	31.8	32.4
7 日(日)	32.0	30.7	32.6	31.6	32.2	31.2	33.1	32.5
8 日(月)	31.4	30.9	31.3	30.8	31.5	31.0	31.4	30.7
9 日(火)	29.1	29.1	28.8	28.3	29.0	28.9	28.9	31.1
10 日(水)	28.5	28.5	28.4	28.0	28.4	28.2	28.5	31.3
11 日(木)	29.1	28.9	28.9	28.2	28.7	28.5	28.9	32.4
12 日(金)	28.4	28.9	28.5	27.5	27.9	27.7	27.6	33.5
13 日(土)	30.6	29.6	31.3	30.0	30.8	29.8	31.7	31.1
14 日(日)	31.7	30.4	32.4	31.3	32.0	30.9	32.8	32.0
15 日(祝)	30.6	30.3	30.5	30.0	30.8	30.4	30.5	25.7

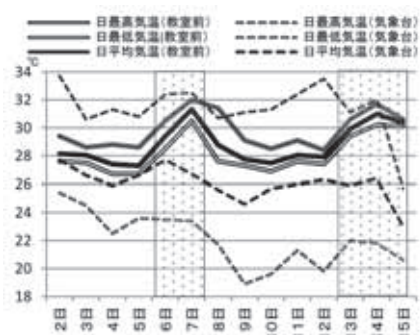


図 2 日平均気温・日最低气温・日最高気温

を見てみると、冷房を使用した日と使用しない日との温度変化の違いが顕著である。冷房を使用した日は冷房によって教室が冷やされて日中の室温は低く、夕方に冷房を停止してから上昇をはじめている。それに対し、冷房を使用していない日の、室温は日中に上昇し夜間に下降するという波形を描くが、建物の蓄熱によって冷房を使用しない2日目はその波形がさらに高くなる様子がわかる。9月15日(祝)も冷房を使用していないので、波形が高くなってもよいように思われるかもしれないが、この日の天気は雨で外気温が低かったため、日中の室温は上昇しなかったようである。

つぎに、教室内の場所による温度差(表5)について見てみたい。冷房を使用しなかった日の日中温度は、後方110cm、窓側110cm、廊下側110cm、前方110cm、廊下側10cm、窓側10cm、前方10cmの順に高くなっていった。冷房不使用日は、空気温度差による重力関係によって10cmよりも110cmの気温が高く、その差は室温が上昇し、すなわち空気が温められるにしたがって広がる傾向にある。また、日射熱の影響を受けやすい場所ほど温度が高くなったと考えられる。一方、冷房を使用した日の日中温度は、前方110cm、窓側110cm、前方10cm、廊下側10cm、廊下側110cm、後方110cm、窓側10cmの順に高く、冷房不使用日とは順位が全く異なっている。同じ地点でも、高さによる温度差が廊下側ではほとんど見られないのに対し、窓側ではやや大きくなっている。冷房使用日の9月4日(木)と5日(金)、冷房不使用日の6日(土)の9時から16時までの各地点の110cmと10cmの温度差($t_{110}-t_{10}$)を30分毎に表

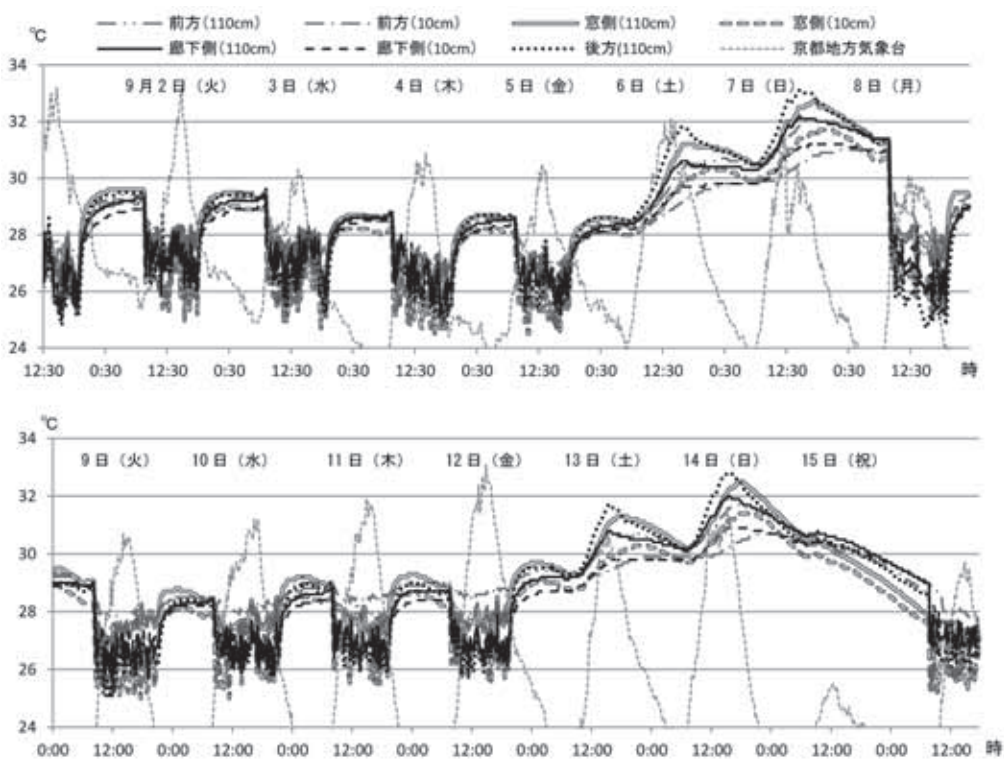


図 3 教室内各地点の気温変化

表 4 各地点の位置高さ（110cm と 10cm）による温度差（℃）

時刻	9 月 4 日（木）			9 月 5 日（金）			9 月 6 日（土）		
	前方	窓側	廊下側	前方	窓側	廊下側	前方	窓側	廊下側
9：00	0.1	0.9	0.2	0.5	1.4	-0.2	0.2	0.5	0.3
9：30	0.4	1.7	0.0	0.5	1.5	0.1	0.3	0.4	0.3
10：00	0.3	0.9	0.1	0.4	1.0	0.0	0.3	0.5	0.3
10：30	0.5	1.2	0.1	0.9	1.8	-0.2	0.4	0.5	0.4
11：00	0.7	1.7	0.1	0.5	1.5	0.1	0.5	0.5	0.5
11：30	0.7	1.6	0.0	0.4	1.3	0.1	0.4	0.6	0.6
12：00	0.5	1.4	-0.2	0.5	1.2	0.0	0.6	0.6	0.6
12：30	0.3	1.2	0.1	0.6	1.1	0.0	0.7	0.8	0.6
13：00	0.2	1.1	0.1	0.5	0.9	0.1	0.8	0.8	0.7
13：30	0.5	1.8	0.1	0.8	0.7	0.1	0.8	0.9	0.7
14：00	0.4	1.5	-0.2	0.8	1.1	-0.2	0.9	1.1	0.8
14：30	0.5	1.5	-0.2	0.7	1.5	-0.2	1.0	1.1	0.8
15：00	0.4	1.0	0.0	0.6	1.2	-0.3	1.1	1.2	0.9
15：30	0.4	1.9	-0.2	0.5	0.9	-0.3	1.0	1.2	0.9
16：00	0.4	1.2	-0.1	0.6	1.5	-0.3	1.1	1.3	1.0

表 5 教室内の気温

日	時刻	前方 110cm	前方 10cm	窓側 110cm	窓側 10cm	廊下 110cm	廊下 10cm	後方 110cm	最大 温度差
4 日 (木)	9 : 00	27.9	27.8	27.7	26.8	27.7	27.5	26.9	1.1
	9 : 30	27.5	27.1	27.2	25.5	27.6	27.6	26.8	2.1
	10 : 00	27.5	27.2	27.2	26.3	27.3	27.2	26.6	1.2
	10 : 30	27.5	27.0	27.2	26.0	27.7	27.6	27.0	1.7
	11 : 00	27.5	26.8	26.6	24.9	26.2	26.1	26.2	2.6
	11 : 30	27.2	26.5	26.4	24.8	25.9	25.9	25.8	2.4
	12 : 00	27.2	26.7	27.0	25.6	27.0	27.2	26.2	1.6
	12 : 30	27.4	27.1	27.2	26.0	27.3	27.2	26.4	1.4
	13 : 00	27.5	27.3	27.4	26.3	26.7	26.6	26.3	1.2
	13 : 30	27.2	26.7	26.6	24.8	25.9	25.8	25.8	2.4
	14 : 00	27.3	26.9	27.1	25.6	26.0	26.2	25.5	1.8
	14 : 30	27.1	26.6	26.7	25.2	26.8	27.0	26.2	1.9
	15 : 00	26.9	26.5	26.8	25.8	27.0	27.0	26.9	1.2
	15 : 30	27.2	26.8	26.6	24.7	25.7	25.9	25.4	2.5
	16 : 00	26.7	26.3	26.3	25.1	25.6	25.7	25.3	1.6
5 日 (金)	9 : 00	27.7	27.2	27.2	25.8	26.4	26.6	25.9	1.9
	9 : 30	27.5	27.0	27.2	25.7	27.1	27.0	26.4	1.8
	10 : 00	27.4	27.0	26.9	25.9	26.4	26.4	26.0	1.5
	10 : 30	27.2	26.3	26.3	24.5	26.6	26.8	25.7	2.7
	11 : 00	27.2	26.7	26.9	25.4	27.0	26.9	26.1	1.8
	11 : 30	27.3	26.9	27.1	25.8	27.2	27.1	26.4	1.5
	12 : 00	27.2	26.7	26.7	25.5	26.3	26.3	25.7	1.7
	12 : 30	27.2	26.6	26.4	25.3	26.1	26.1	25.4	1.9
	13 : 00	27.6	27.1	27.3	26.4	26.5	26.4	25.9	1.7
	13 : 30	27.0	26.2	26.3	25.6	26.6	26.5	27.5	1.9
	14 : 00	27.1	26.3	26.5	25.4	26.5	26.7	26.8	1.7
	14 : 30	27.1	26.4	26.6	25.1	26.1	26.3	26.2	2.0
	15 : 00	27.0	26.4	26.5	25.3	26.4	26.7	26.2	1.7
	15 : 30	26.9	26.4	26.2	25.3	25.6	25.9	25.5	1.6
	16 : 00	27.0	26.4	26.4	24.9	26.1	26.4	25.9	2.1
6 日 (土)	9 : 00	28.6	28.4	28.8	28.3	28.8	28.5	29.1	0.8
	9 : 30	28.7	28.4	28.8	28.4	28.9	28.6	29.3	1.9
	10 : 00	28.8	28.5	28.9	28.4	28.9	28.6	29.4	1.0
	10 : 30	28.9	28.5	29.0	28.5	29.1	28.7	29.6	1.1
	11 : 00	29.0	28.5	29.1	28.6	29.2	28.7	29.8	1.3
	11 : 30	29.0	28.6	29.3	28.7	29.4	28.8	30.0	1.4
	12 : 00	29.2	28.6	29.5	28.9	29.5	28.9	30.3	1.7
	12 : 30	29.4	28.7	29.8	29.0	29.7	29.1	30.6	1.9
	13 : 00	29.5	28.7	29.9	29.1	29.8	29.1	30.8	2.1
	13 : 30	29.6	28.8	30.2	29.3	30.0	29.3	31.0	2.2
	14 : 00	29.8	28.9	30.5	29.4	30.2	29.4	31.3	2.4
	14 : 30	29.9	28.9	30.6	29.5	30.3	29.5	31.5	2.6
	15 : 00	30.1	29.0	30.8	29.6	30.4	29.5	31.6	2.6
	15 : 30	30.1	29.1	30.9	29.7	30.5	29.6	31.6	2.5
	16 : 00	30.2	29.1	31.1	29.8	30.6	29.6	31.8	2.7

4 に示す。これから位置高さによる温度差が大きくなる時間帯も冷房の使用・不使用日で異なることがわかる。

9 月 1 日 12 時 30 分～9 月 16 日 17 時 30 分までの教室内の湿度変化を図 4 に示す。冷房中は温度と同様に小刻みに上下しているが、京都地方気象台発表の京都の湿度に対応した変化も見られる。学校環境衛生の基準の相対湿度 30%～80% の範囲にある。しかし、人間が快適であると感じる湿度は 40%～60%⁴⁾とされており、この範囲をやや超える日もあった。

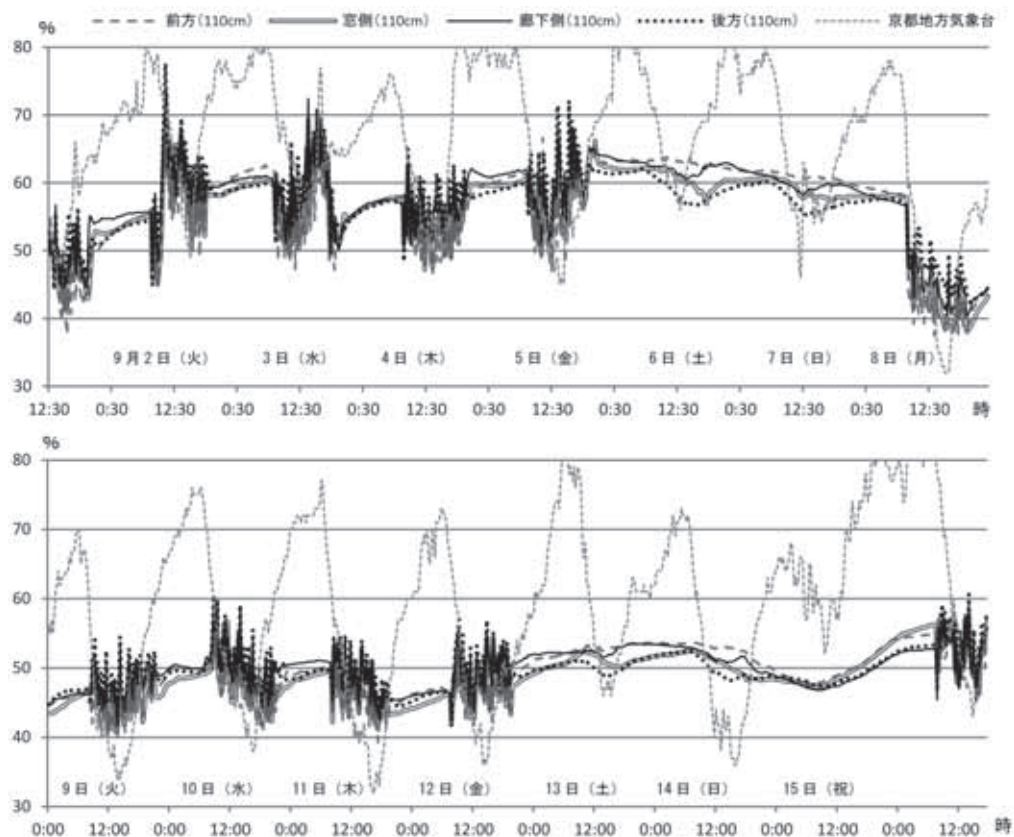


図 4 教室内の湿度変化

3.2 温冷感評価

授業終了時のアンケートでは、全身温冷感を ASHRAE の 7 段階スケール「寒い・涼しい・やや涼しい・どちらともいえない・やや暖かい・暖かい・暑い」で評価してもらった。

図 5 は日毎の温冷感評価の割合を示している。5 日の評価は、他の日と比較して寒い側の評価が多くなっていた。しかし、温冷感評価を行っている時の室温（表 6）の日による差はほとんどなかった。

室温がほぼ同じであるにもかかわらず、5 日の温冷感評価が低くなっているのはなぜだろう

か。温冷感は、気温、湿度、気流、放射、着衣量、作業量によって異なってくる。湿度、気流、放射については他の日と異なるようなことはなかった。そこで、その日の活動に特別なことがなかったか尋ねたが、とくに思い当たることはないとのことであった。着衣については、温冷感とあわせてアンケート実施時の服装を質問した。その結果を

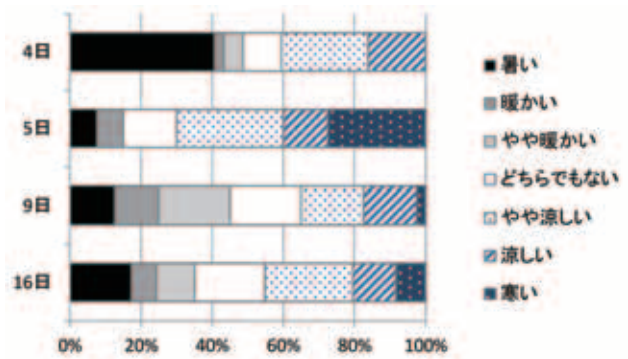


図5 温冷感評価

表6 温冷感評価時の室温(℃)

	前方 110cm	前方 10cm	窓側 110cm	窓側 10cm	廊下 110cm	廊下 10cm	後方 110cm
9月4日(木)	27.3	26.9	27.1	25.6	26.0	26.2	25.5
9月5日(金)	27.2	26.5	26.7	25.6	26.7	26.9	26.5
9月9日(火)	27.6	27.6	27.5	26.0	26.2	26.5	25.9
9月16日(火)	27.0	27.8	26.4	25.6	27.1	27.6	26.5

図6に示すと、温冷感評価の低かった5日は「半ズボン半そで」の服装が多く、他の日に比べて軽装の児童が多かったことがわかった。

京都地方気象台発表によるその日の京都の気温と湿度から不快指数を求めると、表7のように5日は、不快指数75を超えている。不快指数が75を超えると一部の人が暑さに不快を感じるといわれている。このことから、5日はその日の気象状況に合わせて軽装であったことが推測でき、結果として温冷感評価が他の日よりも低くなったと考えられる。

表7 不快指数

	平均気温 (℃)	平均湿度 (%)	不快指数
4日	25.9	68	75
5日	26.6	72	77
9日	24.6	53	72
16日	24.2	67	72

つぎに、教室の座席位置と温冷感評価の関係を図7に示す。座席グループの位置は図1に示した。AとHの温冷感評価は寒い側が多くなっていた。表5のように冷房中の教室は地点によって温度差が生じていたことから座席位置による温冷感に差が生じることが予想できるが、特にこの2つのグループは天井埋込み型エアコンの直下に位置しており、エアコンからの気流の影響が考えられる。

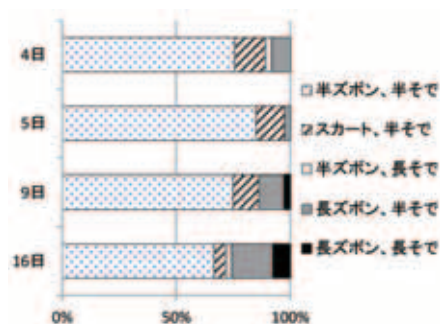


図 6 温冷感評価時の服装

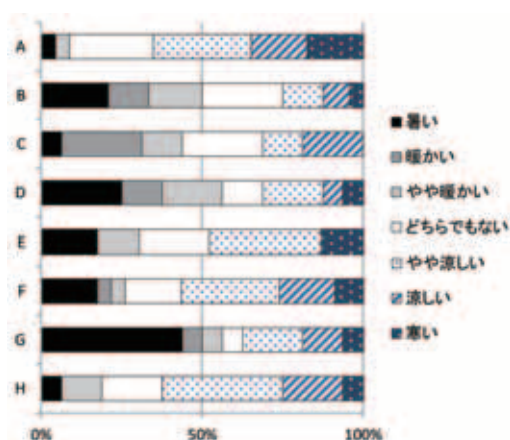


図 7 温冷感評価と座席位置

IV. おわりに

冷房設定温度は 28℃ が推奨されているが、調査対象の教室は最上階にあり、屋上（天井）からの放射熱の影響で 28℃ 設定では涼しくならないということであった。また、健康上の理由から高温多湿な環境を苦手とする児童もいると考えられたことから、調査中の冷房設定温度は 28℃ にこだわらず、快適と感じる温度に設定してもらった。その結果、設定温度はほぼ 25℃ であったという。飯野ら⁵⁾の研究によると、教師の好みや体質により冷房使用状況が異なり、児童の温冷感に沿っていないことが示唆されている。児童と教師の着衣量および代謝量は異なっている。調査期間中の児童の服装はパンツ、半袖、半ズボン、靴下が多く、教師のほうはパンツ、半袖、長ズボン（薄地）、靴下であった。また、代謝量も立位の教師と椅座の児童では異なる。したがって、教師の快適作業温度は児童よりも 3～4℃ 低くなる。さらに、今回の調査では教室前方の教師のいる場所の気温が高くなっていた。これらから、教師の体感温度で冷房設定を行うと児童の温冷感に沿うものになりにくいといえる。

教室を使用していない土曜と日曜の室温変化から、夜間換気を導入して外気温が低下する夜間に自然通風によって、室内蓄熱体の温度を下げることであれば、室温上昇がある程度防げられると思われる。また、屋上（天井）からの放射によって体感温度が高くなっていることが考えられる。これについては、陸屋根の上に勾配屋根をかける置き屋根や屋上緑化などの対策がある。また、最近オフィスビルで導入されはじめた天井輻射式空調であると、送風式の空調よりも気流感が少なく快適であり、熱搬送動力が少なく消費電力も削減できるという。

冷房設定では、外気温との差も重要である。宿谷ら⁶⁾の研究によると、内外温度差の大きい空間の往来は人体の生理機能に影響を与え、疲労感をもたらすことが示唆されている。今回の調査では不快指数の高い日は軽装であることが多かった。このような状況も考慮して室温設定を調節するとよい。以上のように、冷房による環境調節には、健康面や環境面から考えるべき課題がまだ多く残されている。

本研究では、京都教育大学附属桃山小学校にアンケートおよび測定調査にご協力いただいた。ご協力下さった先生方、児童の皆さまに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 村上周三, 伊藤一秀, ポール・ワルゴツキ, 2007, 教室の環境と学習効率, 建築資料研究社
- 2) 日本建築学会, 2008, 日本建築学会環境基準 AIJES-H002-2008 室内温熱環境測定基準・同解説, 日本建築学会
- 3) 文部科学省, 2010, [改訂版] 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, (財)日本学校保健会出版部
- 4) 日本建築学会, 2007, 建築設計資料集成 [環境], p.72, 丸善
- 5) 飯野由香利, 倉渕隆, 鶴田久美子, 野田圭弘, 2010, 冷房設備と扇風機が設置された小学校教室における室内環境と環境調節行為および温冷感に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.735-738
- 6) 江頭寛基, 佐山竜一, 斉藤雅也, 宿谷昌則, 2001, 冷房空間と屋外の往来に伴う疲労感に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.441-446