

学校体育館の温熱環境に関する研究

— 日本大学生産工学部津田沼キャンパス体育館の冬期調査 —

日大生産工(院) ○堀川 哲汰

日大生産工 塩川 博義

国リハ障害工学研究部 三上 功生

1. はじめに

災害大国である日本では、これまで、東北地方太平洋沖地震など大きな災害に度々見舞われてきた。また、近年は、災害の増加、災害の規模の拡大により、多くの物的被害、人的被害を受けてきた。その為、建築分野では建物の安全性や避難計画についてこれまで以上に関心が高まってきており、対策も進んできている。その中で、避難所に目を向けてみると、全国にある指定避難所の数は約7.5万施設(平成31年10月時点)であり、そのうちの約4割にあたる約3万施設は公立学校が占めている。その学校施設では、近年の気温上昇に伴い、空調設備(冷暖房設備)の設置が急速に進められており、全国の公立学校の普通教室の設置率は95.7%(令和4年9月時点)となっている。その一方で、学校体育館の空調設備設置率は15.4%と極めて低い水準に留まっていることが現状である。¹⁾避難所は、災害発生後、一定期間居住スペースとしての機能が必要となる。その為、適切な温熱環境でない場合、夏期は熱中症、冬期はヒートショックなどによって体調の悪化や命を落とすことにつながる可能性がある。その為、災害への対策は構造や計画の分野だけでなく、設備環境の分野においても必要である。

そこで、本研究では、学校体育館の温熱環境の実態調査を行い、現状の把握や問題点の抽出を行い、学校体育館の温熱環境の在り方を考究する。本報告では、日本大学生産工学部津田沼キャンパス25号館体育館の冬期温度測定結果について報告する。

2. 調査対象施設と測定の概要

本研究での温熱環境の実態調査は、日本大学生産工学部津田沼キャンパス25号館体育館について行った。本建物は地下に温水プール、1階部分にロビー、2階部分に体育館がある。体育館内部の運動スペースは面積1,014m²(縦39m×横26m)で、水平型エアハンドリングユニット(冷房能力 238,800kcal/h)が設置されており、天井からノズルで空調空気を吹き出している。

体育館内部の測定は、2023年1月7, 8, 9, 10, 11日の5日間行った(表1)。体育館内部の温度測定にはグラフテック(株)製のmidi LOGGER GLT400を使用し、外気の温度測定にはmidi LOGGER GL10-THを使用した。測定間隔は、体育館内部を30分、外気の温度を1時間とした。

図1に体育館内部の測定位置を示す。①～⑮に環境測定ポールを設置した。各ポールには、床上20cm(臥位時

頭の高さ)、60cm(椅座時腹部の高さ)、110cm(椅座時頭の高さ)、170cm(立位時頭の高さ)に熱電対(0.65mm 銅コンスタンタン)を設置した。外気温度の測定機器は日射の当たらない場所(FL+110cm)に設置した。

表1 測定条件

測定日	暖房の使用	窓・出入口の開閉	カーテンの開閉	天気
1月7日(土)	無	開(9:00~18:00)	開	晴れ
1月8日(日)	無	閉	開	晴れ
1月9日(月)	無	閉	閉	晴れ
1月10日(火)	有(9:00~18:00)	開(9:00~18:00)	開	晴れ
1月11日(水)	有(9:00~18:00)	閉	開	晴れ

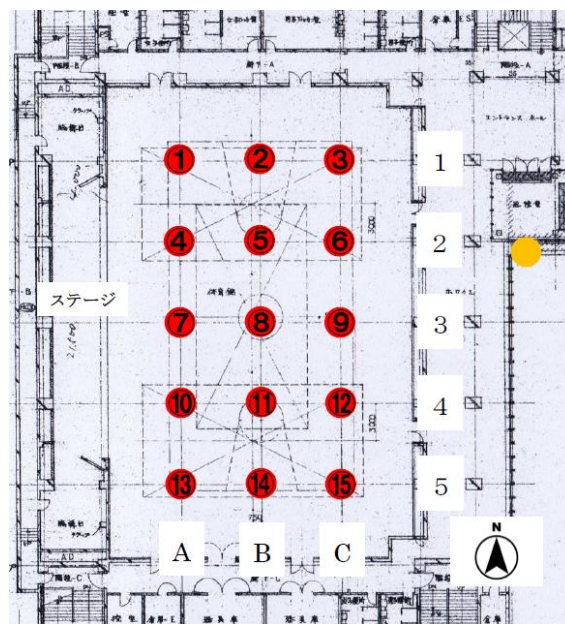
※1月7, 8, 9, 10, 11日の全日において、人の出入りを考慮して、北側1箇所、南側1箇所の出入口を常時開放した。

※1月7日と10日は、出入口は北側2箇所、東側2箇所、南3箇所を開放した。また窓は北側3箇所、南2側箇所を開放した。

※暖房の設定温度は、1月10日と11日共に21℃とした。

表1に上記備考(※)を加えて測定条件を下記のように整理する。

- 条件1: 暖房使用無、窓・出入口開、カーテン開(1月7日)
- 条件2: 暖房使用無、窓・出入口閉、カーテン開(1月8日)
- 条件3: 暖房使用有、窓・出入口開、カーテン開(1月10日)
- 条件4: 暖房使用有、窓・出入口閉、カーテン開(1月11日)
- 条件5: 暖房使用無、窓・出入口閉、カーテン閉(1月9日)



- : 室内温度測定箇所(高さ: 20cm, 60cm, 110cm, 170cm)
- : 外気温度測定箇所(高さ: 110cm)

図1 体育館の平面図及び温度測定位置²⁾

3. 評価方法

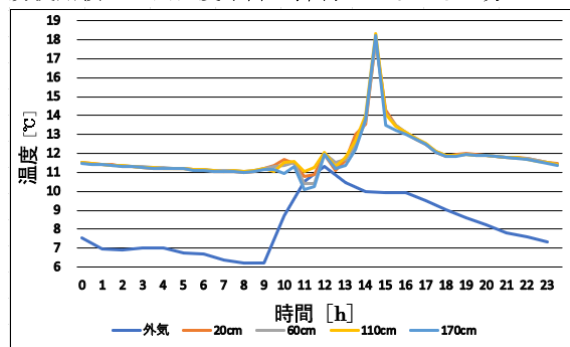
学校体育館を運動施設として利用する際の温熱環境評価には、「体育館施設の設計条件温度³⁾」に記載されている運動空間の冬期温度「13~18℃」(湿度:50%、気流:1m/s以下、換気量:4~6回/h(換気のみの場合))を利用した。なお、運動施設をして利用する時間は、暖房の使用時間を考慮し、9:00~18:00とした。また、災害発生時に体育館を避難所として使用することを想定し、1991年に日本建築学会が策定した「高齢者・身障者に配慮した住宅温熱環境評価基準値(一般・老人)⁴⁾」に記載されている冬季温度「居間・食堂:21~24℃、寝室:18~21℃」(湿度:30~50%、着衣量:1.4~0.7clo)を基に温度の評価を行った。

4. 実験結果及び考察

4-1. 高さごとの温度傾向

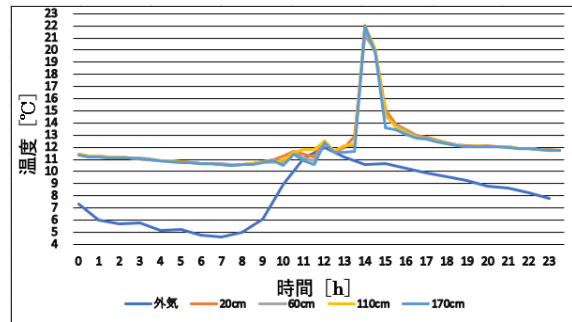
測定日それぞれの高さごとの日内温度傾向を、最大値、平均値、最小値の値と共に図2~5に示す。高さごとの温度傾向として、条件1, 2, 3は平均値の温度差が1℃未満とほとんど無かった。条件4は平均値の温度差が1.38℃と小さいが、温度の高い順に20cm地点、60cm地点、110cm地点、170cm地点となった。このような温度変化が生じた要因としては、日射によって熱せられた床面に天井より吹き降ろされた暖房による空気が到達することで、床面付近の保温機能が増大したと考えられる(図6)。

また、条件1, 2, 3, 4で12:00に最高外気温度を記録したが、室内最高温度は、条件1が14:30、条件2, 3, 4が14:00と、外気温度が最高値になる時間より、室内温度が最高値になるまでの時間が2~2.5時間遅かった。このことから、冬期は外気温度の影響が室内に及ぶまでには時間を要すると分かった。加えて、暖房使用日は暖房非使用日と比較すると、日射による室内温度上昇がピークを越えた15:00~18:00、暖房の使用を終えた18:00以降の温度下降が緩やかになっている。この結果より、暖房の使用は、暖房使用時の室内温度上昇、暖房使用後の室内温度下降の抑制につながると分かった。



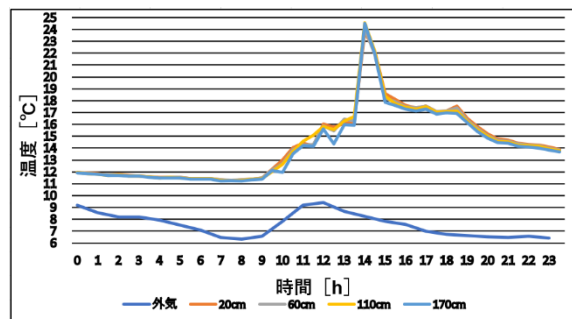
	外気(110cm)	20cm	60cm	110cm	170cm
最高値 [°C]	11.31	17.96	17.96	18.33	18.23
平均値 [°C]	8.19	11.84	11.82	11.87	11.74
最低値 [°C]	6.23	10.78	10.39	11.04	10.07

図2 条件1(暖房使用無、窓・出入口開、カーテン開)の高さごとの温度傾向



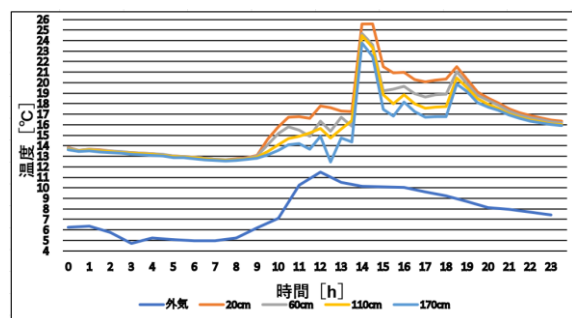
	外気(110cm)	20cm	60cm	110cm	170cm
最大値 [°C]	11.99	21.22	21.43	22.06	21.96
平均値 [°C]	8.01	12.06	12.01	12.05	11.90
最小値 [°C]	4.61	10.53	10.57	10.56	10.50

図3 条件2(暖房使用無、窓・出入口閉、カーテン開)の高さごとの温度傾向



	外気(110cm)	20cm	60cm	110cm	170cm
最大値 [°C]	9.43	23.76	24.05	24.58	24.50
平均値 [°C]	7.54	14.31	14.26	14.26	14.09
最小値 [°C]	6.35	11.26	11.28	11.26	11.21

図4 条件3(暖房使用有、窓・出入口開、カーテン開)の高さごとの温度傾向



	外気(110cm)	20cm	60cm	110cm	170cm
最高値 [°C]	11.47	25.60	24.67	24.48	23.75
平均値 [°C]	7.63	16.56	15.99	15.64	15.18
最低値 [°C]	4.71	12.68	12.67	12.61	12.43

図5 条件4(暖房使用有、窓・出入口閉、カーテン開)の高さごとの温度傾向

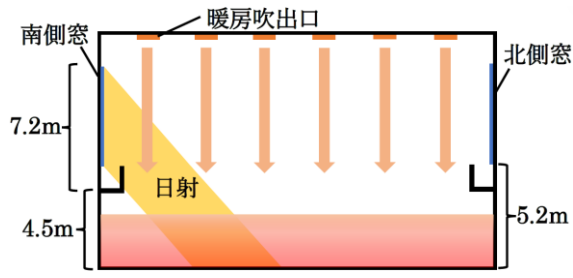


図6 暖房使用時の高さによる温度差発生要因

4-2. 方角ごとの温度傾向

各条件の最高外気温度(学校体育館を運動施設として使う際の代表例)、最低外気温度(学校体育館を避難所として使用する際の代表例)を記録した時間の高さ110cmの温度傾向を示す(図7~14)。

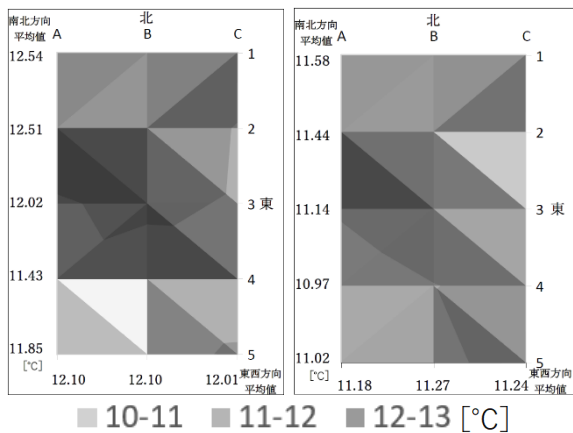


図7 条件1の最高外気温度を記録した時間(12:00)の110cmの温度分布

図8 条件1の最低外気温度を記録した時間(9:00)の110cmの温度分布

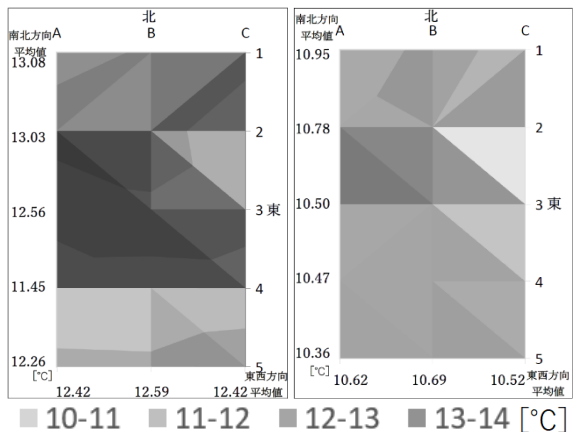


図9 条件2の最高外気温度を記録した時間(12:00)の110cmの温度分布

図10 条件2の最低外気温度を記録した時間(7:00)の110cmの温度分布

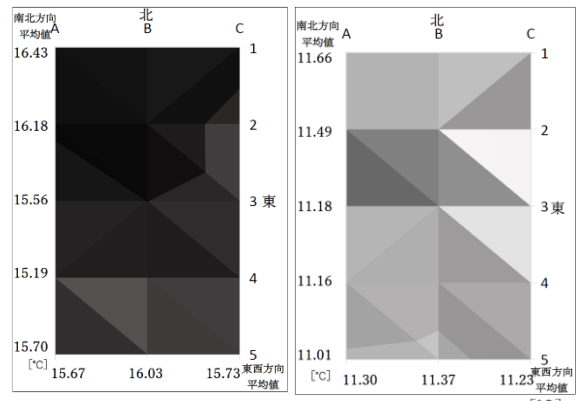


図11 条件3の最高外気温度を記録した時間(12:00)の110cmの温度分布

図12 条件3の最低外気温度を記録した時間(8:00)の110cmの温度分布

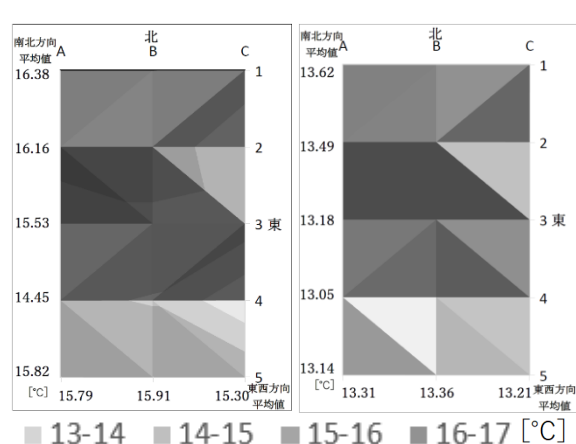


図13 条件4の最高外気温度を記録した時間(12:00)の110cmの温度分布

図14 条件4の最低外気温度を記録した時間(3:00)の110cmの温度分布

4-2-1. 南北方向の温度傾向

条件1,2,3,4の全条件において、0:00~9:00と16:00~24:00は温度差がほとんど無かったが、9:00~16:00については、規則性のない温度のばらつきが見られた。

4-2-2. 東西方向の温度傾向

条件1,2,3,4の全条件において最高外気温度を記録した時間の平均温度、最低外気温度を記録した時間の平均温度ともに差が1℃未満とほとんどなかった。これらの結果より、暖房使用の有無や窓・出入口の開閉による東西方向の温度差はほとんど無いことが分かった。

4-3. 基準値を用いた温度評価

条件ごとに「高齢者・身障者に配慮した住宅温熱環境評価基準値(一般・老人)」と「体育館施設の設計条件温度」それぞれと比較し、その基準値から外れた割合を表8に示す。居間・食堂の基準温度を用いて評価を行った場合、すべての条件において基準値から外れた割合が96%を超えた。また、寝室の基準値を用いて評価を行った場合でも、すべての条件において基準値から外れた割合が81%を超えた。この結果から、暖房使用

の有無や窓・出入口の開閉に限らず、体育館を避難所として利用するにあたっては、現状として適切な温熱環境ではなく、改善が必要であることが分かった。

「体育館施設の設計条件温度」を用いて評価を行った場合、暖房を使用していない条件1,2については、基準値から外れた割合がそれぞれ73.95%、72.37%となった。一方で、暖房を使用した条件3,4については、基準から外れた割合がそれぞれ34.91%、49.30%となり、暖房を使用していない場合と比較して割合が大きく減少していた。このことから、冬季において、体育館を使用して運動を行う場合、暖房を使用することが有用であると確認することができた。

表8 基準値を用いた温度評価

	一般者・高齢者に配慮した住宅温熱環境評価基準値		体育館施設の設計条件温度
	居間・食堂(21~24℃)	寝室(18~21℃)	運動空間(13~18℃)
条件1 (暖房使用無、窓・出入口開)	99.72%	99.20%	73.95%
条件2 (暖房使用無、窓・出入口閉)	98.68%	98.40%	72.37%
条件3 (暖房使用有、窓・出入口開)	98.19%	95.63%	34.91%
条件4 (暖房使用有、窓・出入口閉)	96.42%	81.91%	49.30%

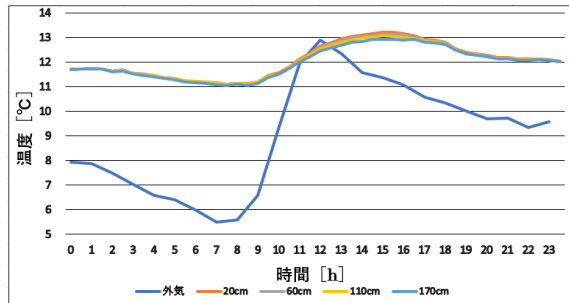
※「高齢者・身障者に配慮した住宅温熱環境評価基準値(一般・老人)」を用いた評価は、終日を対象として行った。

※「体育館施設の設計条件温度」を用いた評価は、暖房使用時間である9:00~18:00を運動の用途で使用する時間と仮定し、その時間を対象として行った。

4-4. 遮光カーテンの利用

条件5の日内温度傾向を、最大値、平均値、最小値の値と共に図15に示す。9:00~18:00に遮光カーテンを閉めて測定を行った結果、高さ方向、南北方向、東西方向ともに温度変化は1℃未満とほとんどなかった。

また、室内最低温度と室内最高温度の差は約2℃となり、日射による温度上昇はほとんどなく、1日を通して温度が安定していた。(図16,17)このことから、遮光カーテンが日射による温度上昇の抑制に効果的であり、室内温度の安定化、夏期の室内温度上昇抑制にも繋げられる可能性があると考えられる。



	外気(110cm)	20cm	60cm	110cm	170cm
最高値 [℃]	12.89	13.21	13.14	13.06	12.93
平均値 [℃]	9.03	12.07	12.04	12.02	11.97
最低値 [℃]	5.48	11.06	11.10	11.10	11.04

図15 条件5(暖房使用無、窓・出入口閉、カーテン閉)の高さごとの温度傾向

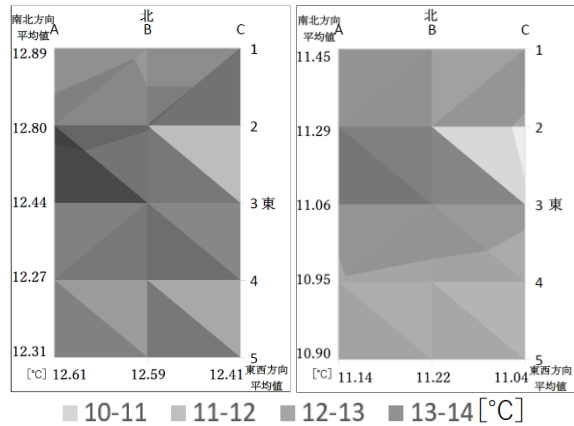


図16 条件4の最高外気温度を記録した時間(12:00)の110cmの温度分布
図17 条件4の最低外気温度を記録した時間(7:00)の110cmの温度分布

5. まとめ

体育館の温熱環境改善に向けて、本調査より得られた知見を以下に示す。

- ・暖房使用の有無や窓・出入口の開閉が高さ方向の温度変化に及ぼす影響はほとんど無い。
- ・朝、夜については、暖房使用の有無や窓・出入口の開閉が南北方向の温度変化に及ぼす影響はほとんど無い。
- ・暖房使用の有無や窓・出入口の開閉が東西方向の温度変化に及ぼす影響はほとんど無い。
- ・外気温度の影響が室内に及ぶまでには時間を要する。
- ・暖房を使用は、使用後の室内温度の下降の緩和にも有用である。
- ・暖房使用の有無や窓・出入口の開閉に限らず、体育館を避難所として利用するにあたっては、現状として適切な温熱環境ではなく、改善が必要である。
- ・体育館を使用して運動を行う場合、暖房を使用することの有用性が確認できた。
- ・遮光カーテンの利用は、日射による室内温度上昇の抑制に効果的であり、これは、夏期にも応用が可能であると考えられる。

今後も学校体育館の温熱環境調査を継続して行っていく予定である。

【謝辞】

本研究にご協力頂きました本学管財課の方々には、深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 文部科学省、公立学校施設の空調(冷房)設備設置状況について、(2022)、<https://www.mext.go.jp/content/20220928>
- 2) 日本大学生産工学部体育館新築工事 2階平面図、日本大学生産工学部管財課
- 3) 建築思潮研究所: 建築設計資料 41体育館・武道館・屋内プール、建築資料研究社, p28
- 4) 川島美勝編著: 高齢者の住宅熱環境、理工学社, p.229, 1994