

市内の小学校体育館における暑熱環境調査

Thermal Environment Survey in Elementary School Gymnasiums in the Kawasaki City

近藤 玲子 KONDO Reiko

田中 貴裕 TANAKA Takahiro

齊藤 武弥 SAITO Takeya

宝田 博一 TAKARADA Hirokazu

要 旨

地球温暖化及びヒートアイランド現象等に起因して市内の気温は上昇傾向であり、近年、市内の熱中症救急搬送者数は増加傾向を示すなど熱中症リスクは増大している。こうした状況を踏まえ、夏季における日射や外気温等が建物室内の暑熱環境に及ぼす影響を把握するために、市内の小学校体育館及び校庭をケーススタディとして体育館の窓・扉等の開放・閉鎖の条件下で暑熱環境調査を実施した。その結果、夏季における体育館（室内）の暑熱環境が厳しくなる要因として、日射の影響により天井及び床面が高温となり、気温を上昇させる熱源となっていることがわかった。また、閉鎖環境においては、この熱が体育館内にこもったことで気温が上昇して暑さ指数（WBGT（湿球黒球温度）：Wet Bulb Globe Temperature）も高くなり、校庭より体育館内の方が厳しい暑熱環境となったが、開放環境（窓・扉等の開放）においては、体育館内の風通しが良くなったことで気温及び WBGT が減少し、体育館内の暑熱環境は校庭より軽減されることがわかった。

キーワード：熱中症、体育館、暑さ指数、日射

Key words: Heatstroke, Gymnasium, Wet Bulb Globe Temperature, Solar radiation

1 はじめに

地球温暖化及びヒートアイランド現象等に起因して市内の気温は上昇傾向であり、近年、市内の熱中症救急搬送者数が増加傾向を示すなど、熱中症リスクの増大が懸念されている。このような状況の中、厳しい暑熱環境下は熱中症を引き起こす可能性が非常に高いため注意が必要である。

本調査は、室内の熱中症予防という観点で、日射や外気温等が建物室内（人が居住又は活動をする空間）の暑熱環境に及ぼす影響について実態把握するために実施した。調査対象施設は、測定機材を一定期間設置して室内空間全体の暑熱環境の実態が把握できる小学校体育館及び校庭をケーススタディとして選定した。

2 調査内容

2.1 調査日

暑熱環境調査は、令和3年8月3日（火）～5日（木）の連続3日間で行った。なお、本調査を補完するために、常設測定による気温解析調査を令和3年6月30日（水）～9月30日（木）の3か月間で行った。

2.2 調査地点

市内の小学校体育館（室内）及び校庭を調査対象とした。なお、校庭を調査地点に加えた理由は、体育館屋内の暑熱環境と比較するためである。体育館（室内）の状況は図1のとおりである。東西に窓・扉等の開口部が多いが、南北には開口部が少ないため、東西方向には風が通るが、南北方向には風が通りにくい構造となっている。



図1 体育館（室内）の状況

2.3 測定項目及び測定機器

測定項目及び測定機器は表1のとおりである。測定機器の設置状況は図2のとおりで、体育館1階及び校庭（日なた）に熱中症指標計（以下「簡易計」という。）を設置（高さ1.5 m）し、常設測定用の簡易計は体育館1階南側の壁面に固定（高さ2.8 m）した。また、体育館1階中央に放射シールド付温湿度センサー及び黒球温度計（以下「精密計」という。）を設置（高さ1.5 m）し、並行調査を実施した。赤外線サーモグラフィカメラを体育館1階と2階にそれぞれ設置し、1階は天井の表面温度、2階は床面の表面温度を測定した。体育館1階の北側及び南側に超音波風速計を設置し、風向・風速も併せて測定した。

表1 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器名称	型番
WBGT / 気温 / 湿度 / 黒球温度	熱中症指標計 (簡易計)	WBGT-213BN、IoT 無線ユニット 京都電子工業(株)
気温 / 湿度	放射シールド付 温湿度センサー (精密計)	TR-3310 (株)T&D
黒球温度	黒球温度計 (精密計)	PGT-02 (株)プリード
表面温度	赤外線サーモグラフィカメラ	G100EX 日本アビオニクス(株)
風向・風速	超音波風速計	PGWS-100-1 (株)プリード

表2 測定条件

日時	条件
8月3日 (火)	9時30分から1日中閉鎖環境
8月4日 (水)	9時40分から17時まで開放環境 それ以外の時間帯は閉鎖環境 14時25分～15時14分の時間帯は冷風機を使用
8月5日 (木)	9時45分から16時まで開放環境 それ以外の時間帯は閉鎖環境

3 調査結果

3.1 WBGT 測定結果

8月3日(火)～5日(木)におけるWBGTの測定結果を図3に示す。夕方及び早朝において、体育館の西側及び東側の窓から差し込む日射の影響により、WBGTが急激に増加することを確認した。なお、簡易計と精密計とのWBGTに差が生じているが、これはWBGTの構成要素(気温、湿度、黒球温度)のうち黒球温度に差が生じており、測定機器の違いによる差が生じていると思われる。

3.2 赤外線サーモグラフィカメラによる測定結果

8月3日(火)～5日(木)における赤外線サーモグラフィカメラによる天井及び床面の表面温度の測定結果を図4に示す。天井の表面温度は最大で54.4℃、床面の表面温度は最大で46.8℃まで上昇しており、これらの表面温度のピークは昼間の時間帯であることから、日射の影響により天井及び床面の表面温度が高温となり、高温となった天井及び床面が体育館室内を熱くする大きな熱源になっていたと考えられる。

3.3 体育館内閉鎖環境における暑熱環境測定結果

8月3日(火)の体育館内閉鎖環境におけるWBGT測定結果を図5に示す。体育館内1階に設置した簡易計5台のWBGT平均と校庭のWBGTを比較すると13時30分～16時30分の時間平均で体育館1階の方が校庭より2.2℃高く、校庭より体育館内の方が厳しい暑熱環境であった。

また、WBGTの構成要素である気温、湿度、黒球温度の同日の測定結果を図6に示す。各要素(気温、湿度、黒球温度)で体育館内1階に設置した簡易計5台平均と校庭の値を比較すると、気温のみ校庭より高い値であり、13時30分～16時30分の時間平均で体育館内1階の方が校庭より5.0℃高かった。このことから、日射により高温となった天井及び床面が熱源となり、閉鎖環境によりこの熱が体育館内にこもったことで体育館内の気温が上昇してWBGTも高くなり、校庭より体育館内の方が厳しい暑熱環境になったものと考えられる。

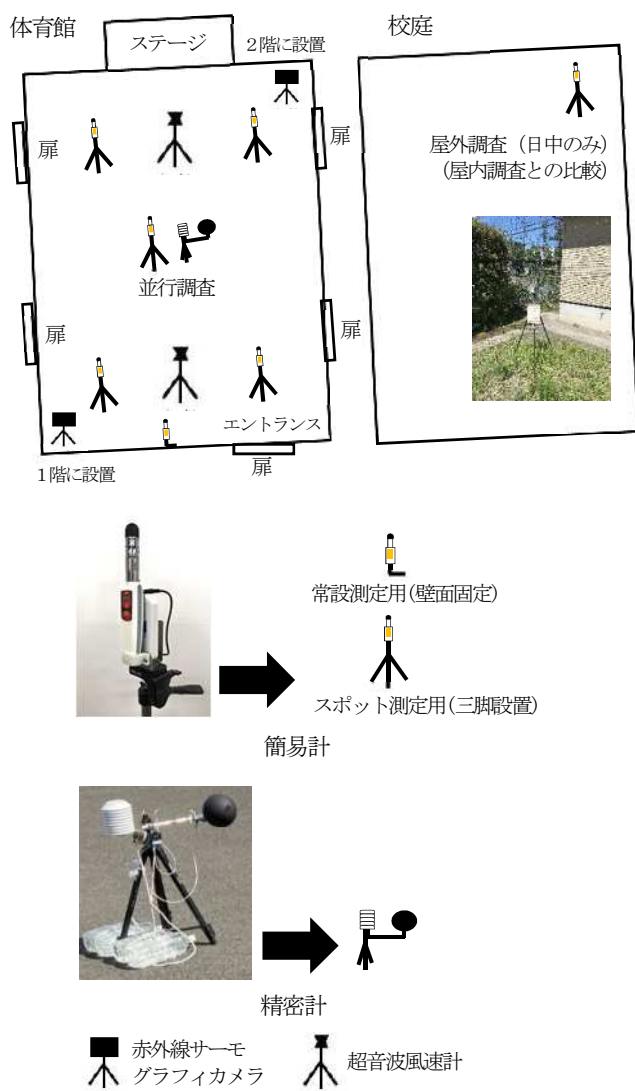


図2 測定機器の設置状況

2.4 測定条件

測定条件は表2のとおりである。

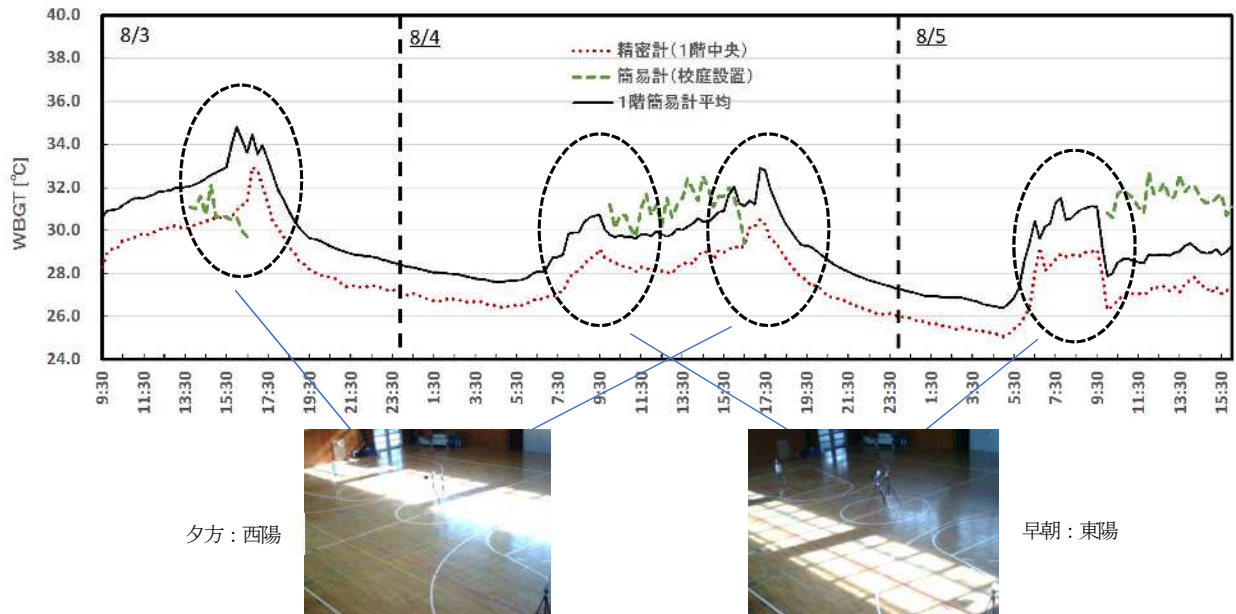


図3 WBGT 測定結果 (8月3日～5日)

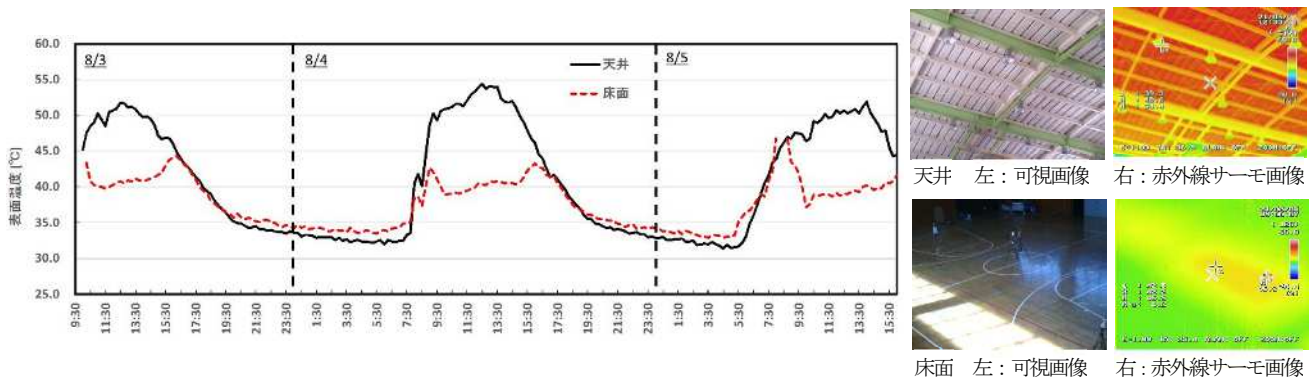


図4 赤外線サーモグラフィカメラによる天井及び床面の表面温度の測定結果 (8月3日～5日)

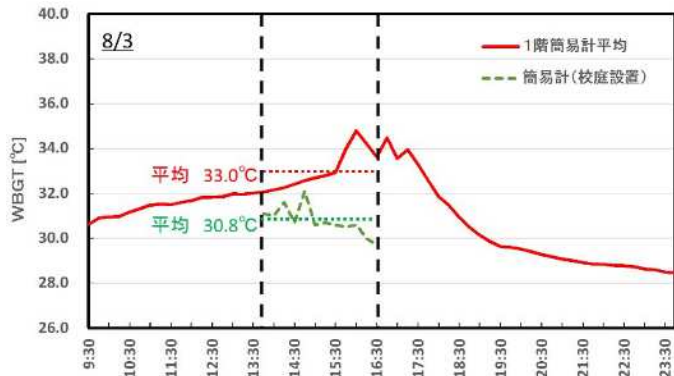


図5 体育館内閉鎖環境における WBGT 測定結果 (8月3日)

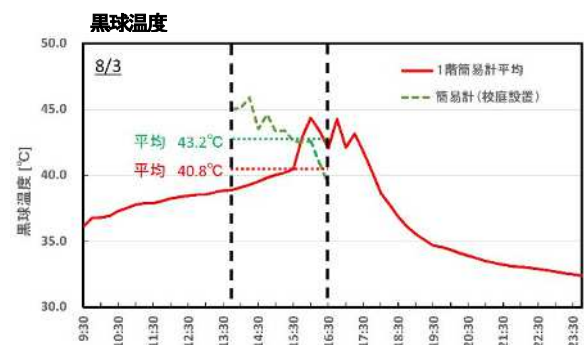
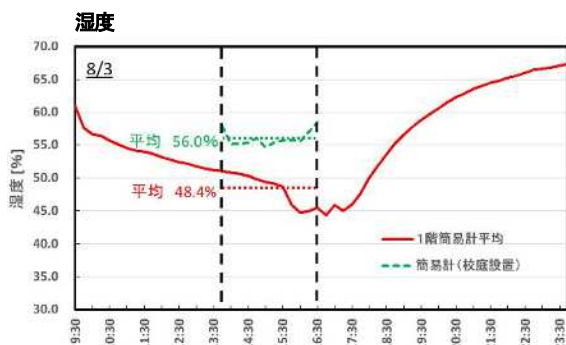
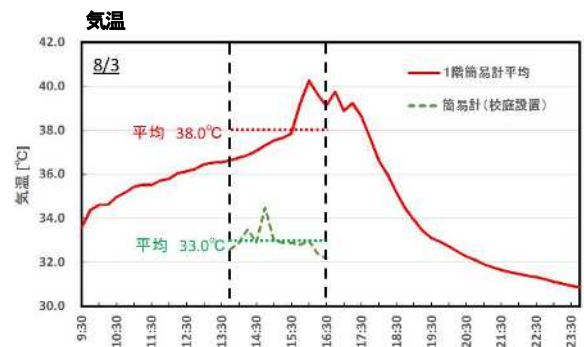


図6 体育館内閉鎖環境における気温、湿度、黒球温度の測定結果 (8月3日)

3.4 体育館内開放環境における暑熱環境測定結果

8月5日(木)の体育館内開放環境(9時45分～16時00分まで)におけるWBGT測定結果を図7に示す。体育館内1階に設置した簡易計5台のWBGT平均と校庭のWBGTを比較すると、10時00分～16時00分の時間平均で体育館内1階の方が校庭より2.8℃低く、体育館内の暑熱環境は校庭よりも軽減されていた。

また、WBGTの構成要素である気温、湿度、黒球温度の同日の測定結果を図8に示す。体育館内1階に設置した簡易計5台における各要素の平均値と校庭の値を比較すると、10時30分～16時00分の時間平均で体育館内1階の気温は校庭より1.8℃低く、黒球温度は校庭より12.2℃低い一方で、湿度は校庭より4.5%高かった。このことから、開放環境における体育館室内のWBGTは、気温と黒球温度と同様の変動を示していることがわかった。

3.5 体育館内の閉鎖環境と開放環境における暑熱の比較

閉鎖環境では校庭よりWBGTが2.2℃高く(図5参照)、開放環境では校庭よりWBGTが2.8℃低い(図7参照)ことから、閉鎖環境と開放環境ではWBGTの差が5.0℃あり、閉鎖環境と開放環境での体育館内の暑熱環境は大きく異なることがわかった。

閉鎖環境から開放環境にする際の窓・扉等の換気による暑熱減少効果を確認するため、換気前後の体育館内1階に設置した簡易計5台のWBGT平均を図9に示す。9時30分の閉鎖環境でのWBGTは31.1℃であるが、10時00分の開放環境でのWBGTは27.9℃であり、換気によりWBGTが3.2℃減少した。このことから、窓・扉等の換気による暑熱減少効果が確認できた。

超音波風速計により測定した8月3日(火)～5日(木)の体育館内の風速結果を図10に示す。閉鎖環境の8月3日(火)よりも開放環境の8月5日(木)の方が風が強い状況にあった。このことから、体育館内において、開放環境では風通しが良くなり熱が外へ逃げていくことにより気温とWBGTが減少し、暑熱環境は校庭よりも軽減されたと考えられる。

3.6 体育館内開放環境における冷風機の効果検証

8月4日(水)の体育館内開放環境(9時40分～17時00分)において、図11のように冷風機を使用し、冷風機によるWBGTの減少効果を確認した。冷風機は14時25分から15時14分までの約50分間稼働を続け、簡易計を使用して冷風機から距離2.0mと4.0mの地点でWBGTを測定した。測定結果は図12のとおりで、冷風機から2.0mの地点においてWBGTの減少が確認された。

3.7 常設測定(夏期3か月間)の気温解析結果

図13のように体育館1階南側の壁面に固定した簡易計による常設測定の気温データを用いて、日射が体育館内の気温上昇に影響しているか調べるために解析を実施し

た。期間は7月1日(木)～9月30日(木)、外気温データは、測定地点と同区内の一般環境大気測定局(川崎市設置)の田島局で測定している気温データを採用し、併せて日射量データも解析に使用した。解析1として期間内の体育館内及び田島局の日平均気温の度数分布、解析2として期間内の日射量の多い日^{*}における体育館内及び田島局の日中(6時～18時)の平均気温の度数分布を示した。

※期間内における田島局の日射量(1日平均値)を高い順に整理し、最も日射量が多かった日から日射量上位25%に相当する日までの範囲にある日を日射量の多い日とした。

図14の解析結果より、解析1、解析2ともに田島局の気温の度数分布より体育館内の気温の度数分布の方が高温側に分布が存在していた。また、日射の多い日を抽出した解析2の体育館内と田島局における気温の分布平均値の差は3.8℃であり、解析1の体育館内と田島局との分布平均値の差2.2℃より1.6℃高い値であった。このことから、日射の影響で体育館内の気温が上昇し、外気温よりも高くなったものと考えられる。

4 考察

真夏の晴天時においては、体育館のみならず戸建住居等の建物においても、太陽の強い日射により屋根が熱せられ、そこが熱源となって室内温度が外気温よりも高くなると考えられる。戸建住居等で生活をしていると、真夏の晴天時の昼間は、1階よりも2階の室内がより暑く感じるの、こうしたことが要因と考えられる。

熱中症予防の観点からは、人が居住又は活動をする室内は空調設備を設けて使用することが望ましいが、諸事情で空調設備が設置・使用できないことがある。このような場合には、窓や扉を締め切って生活したことにより熱中症で救急搬送されるケース⁵⁾があることから、窓や扉を開放して室内にこもった熱を屋外に逃すことが熱中症予防として大切である。なお、無風又はそれに近い風の時は、窓や扉を開放しても室内の熱を屋外に効率よく逃がすことができず、室内温度の上昇を抑えることができない可能性があることに留意する必要がある。

建物の新築等の際には、空調設備の設置に加え、屋根・窓等に断熱性の向上や日射量の低減を図るような施工工事を行うことで室内の暑熱を抑えることができると考えられる。こうした施工工事は、熱中症予防だけでなく、空調設備の電気使用量の抑制、ひいては脱炭素の取組にもつながるものである。

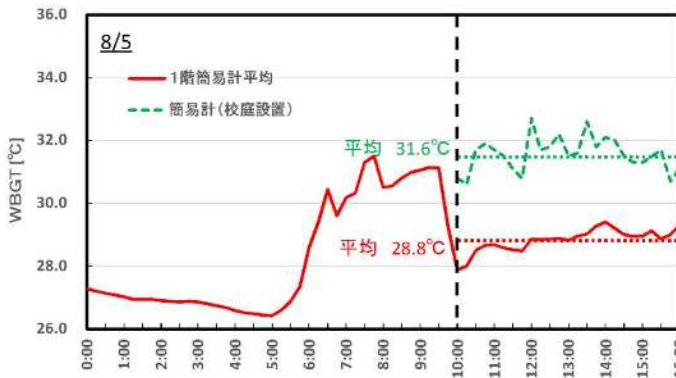


図7 体育館内開放環境における WBGT 測定結果 (8月5日)

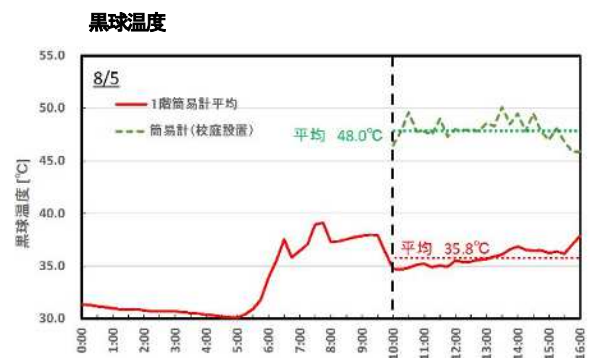
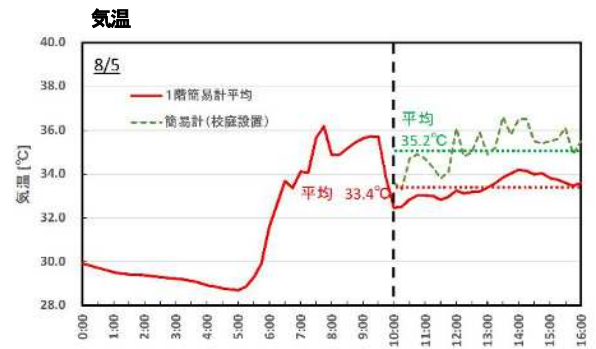


図8 体育館内開放環境における気温、湿度、黒球温度計の測定結果 (8月5日)

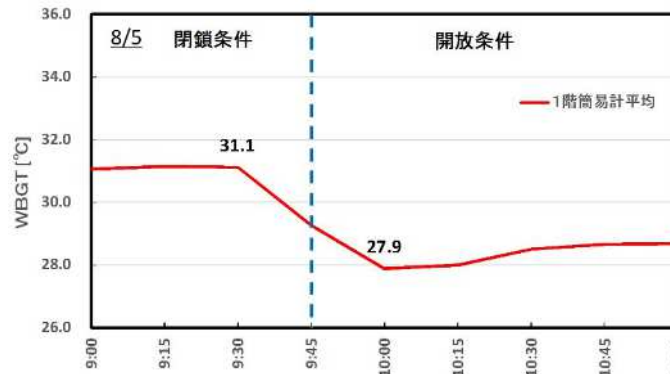


図9 体育館内の換気前後における WBGT 測定結果 (8月5日)

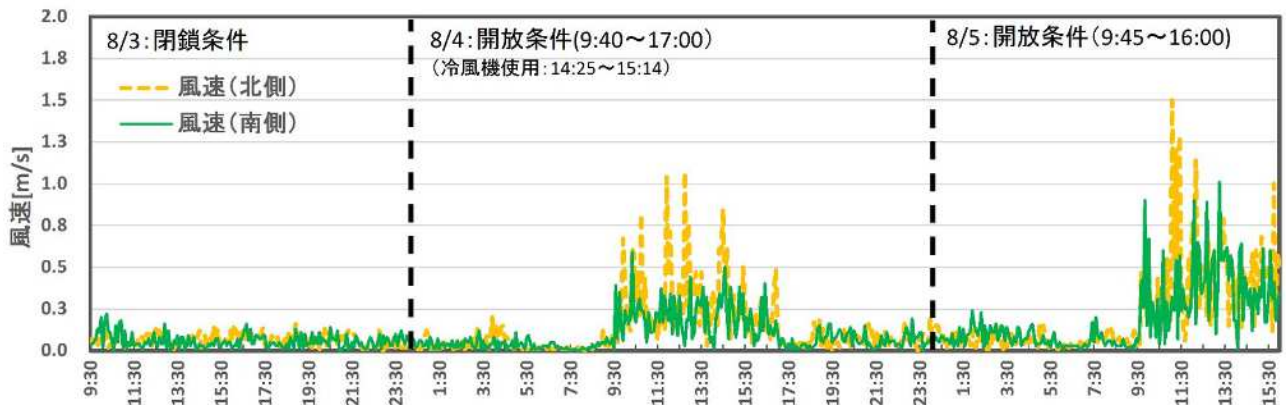


図10 体育館内における超音波風速計の測定結果 (8月5日)



冷風機から 2.0m 地点

図 11 体育館内開放環境における冷風機の効果検証の様子

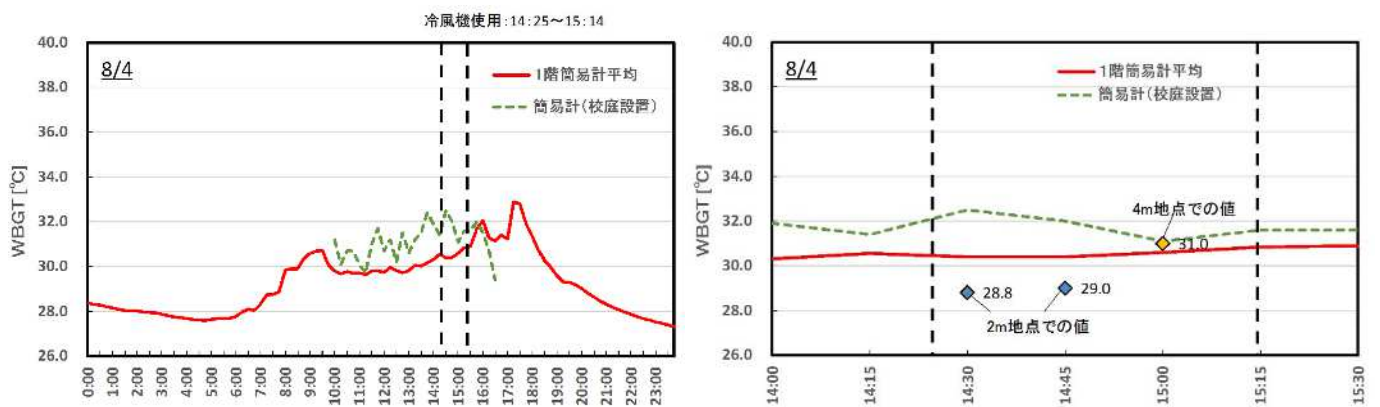
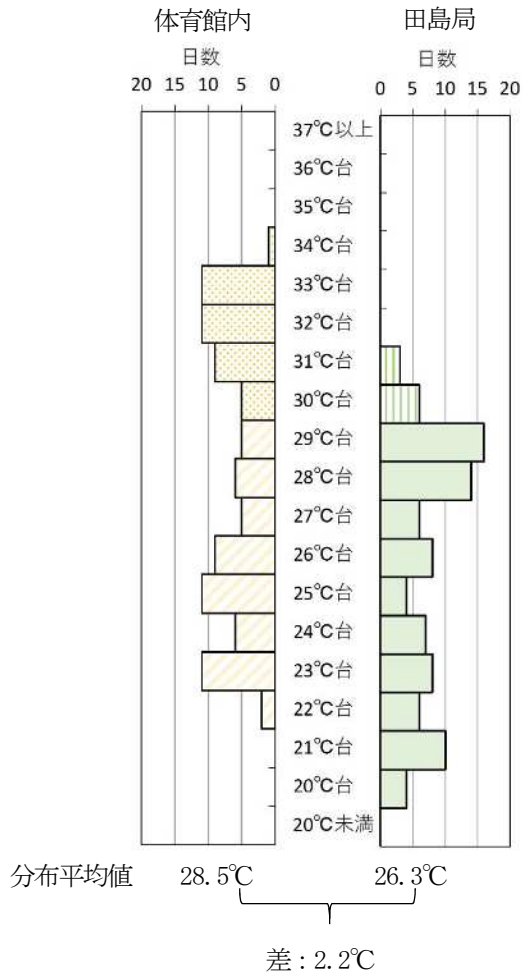


図 12 体育館内開放環境における冷風機使用時の WBGT 測定結果 (8月4日)



図 13 体育館 1 階南側の壁面に固定した熱中症指標計 (簡易計)

解析1 (全期間の日平均気温の度数分布)



解析2 (日射量の多い日中の平均気温の度数分布)

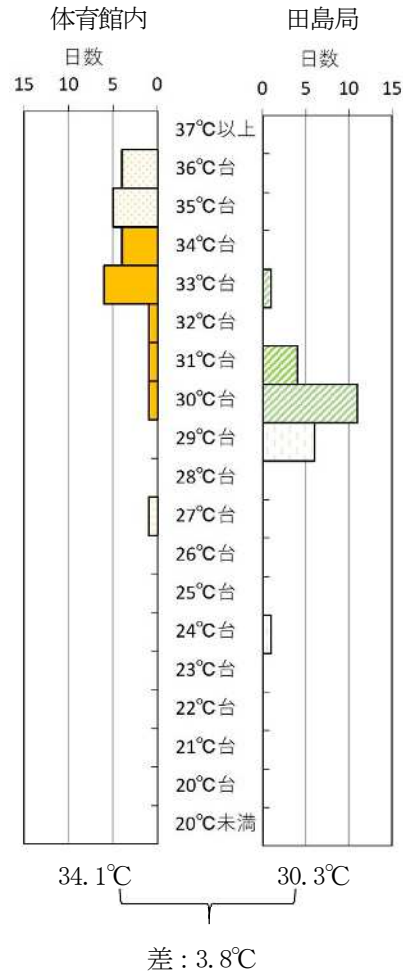


図14 体育館内及び田島局（一般環境大気測定局）における気温の度数分布（7月1日～9月30日）

4 まとめ

本調査によって、次の知見が得られた。

夏季において窓・扉等が閉鎖されている環境下の体育館内の気温と WBGT は、校庭と比べて高い状況にあり、厳しい暑熱環境にあることがわかった。この要因としては、体育館の屋根及び天井が強い日射を受けて高温となり、これが大きな熱源となったこと、窓・扉等の閉鎖環境により体育館内に熱がこもったことなどが考えられる。

しかしながら、窓・扉等を開放して風通しを良くすることで、熱が外へ逃げていくことにより気温と WBGT が減少し、体育館内の暑熱環境は校庭より軽減されることがわかった。

なお、本調査で得られた知見は今後、市のホームページに掲載するだけでなく、熱中症予防に係る市民向けセミナー等においても情報発信していく。

文献

- 1) 気象庁：気象観測の手引き（平成10年9月）
- 2) 気象庁：地上気象常用表（昭和34年）
- 3) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針（ver. 4）（2022年5月）
- 4) 環境省：熱中症予防サイト：
<https://www.wbgt.env.go.jp/>
- 5) 住宅内での熱中症対策に関する検討事例
<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002f13d-att/2r9852000002f1t6.pdf>