

■論 文

熱中症の予防に向けた体育館の暑さ指数の評価について ——環境省の熱中症予防情報サイトとの比較を通して——

高橋 和文^{*1}
稲嶋 修一郎^{*2}

Characteristic of Wet-Bulb Globe Temperature in
school gymnasiums to protect heat stroke illness

TAKAHASHI Kazufumi
INASHIMA Shuichiro

キーワード：熱中症予防, 体育館, 暑さ指数, 気温

heat stroke illness, school gymnasiums, Wet-Bulb Globe Temperature, Temperature

はじめに

熱中症を予防するには、体調管理や適切な水分摂取と同時に、気温や湿度、暑さ指数（Wet-Bulb Globe Temperature, 以下WBGTと表記する）などの環境要因の把握も重要となる。スポーツ庁の委託事業で独立行政法人日本スポーツ振興センターが作成したパンフレット「熱中症を予防しよう—知って防ごう熱中症—」(online)には、5つの〈熱中症予防の原則〉が示されており、その1番目は「環境条件を把握し、それに応じた運動、水分補給を行うこと」とされている。また、このパンフレットには、学校における熱中症対策例として、WBGT計の設置、準備も紹介されている。WBGT計については、文部科学省が示す「保健室の備品等について」(令和3年2月3日付け初等中等教育局長通知) (online)において、保健室に備えるべき備品として、温湿度計(0.5度目盛又は同等以上のもの)や風速計とあわせて追記されている。このように学校教育現場において、WBGT

計の設置や活用は、熱中症予防のために最低限必要な項目として取り扱われている。実際に公立学校などでも、学校で保有するWBGT計を活用し、授業や休み時間中の運動場の使用可否を判断したり、体育館内にWBGT計を設置するなどして、熱中症の予防に努めている(岡山県 online)。

環境省や気象庁は、2021年4月から「熱中症警戒アラート」の発信や、WBGTの予測値や実況値のメール配信サービスを提供している。個人や事業者は、これらの情報を活用し、天気予報と同様に、ある程度の見通しを持って、日中の熱中症の予防に活用できるようになった。

さらに、環境省は熱中症予防情報サイト(online)で生活の場における暑さ指数の参考値として、体育館のWBGTも公開している。環境省によると、このモデルとなった、ある体育館のWBGTは、「通常の暑さ指数と比較すると、午後1時頃から体育館内の方が高くなり、午後5時～6時頃にその差が最大となり、日没後も午後10頃までは体育館内の暑さ指数が高くなった」ことが報告されている。また、高橋ほか(2019)は、環境省

^{*1} 金城学院大学人間科学部
^{*2} 愛知県立大学教育福祉学部

が参考値として示す体育館のWBGTと名古屋市内のK大学体育館のWBGT（観測値）を比較し、19時～翌朝6時までの時間帯は、ほぼ毎日、K大学の方が環境省の値よりも高くなったことを報告している。さらに、高橋ほか（2019）はそれらのWBGT値の差を求め、1時間毎の平均値は、8時～18時までは1℃未満におさまっている一方で、19時～翌朝7時までは、1℃を上回り最大で2.75℃の差があったことを示している。これらの事例からも明らかのように、体育館のWBGTは、体育館の構造や日照時間、周囲の環境などに影響される。そのため、環境省が参考値として提供する体育館のWBGTと離れた数値になることもあって、より正確な環境要因の把握のため、各体育館でのWBGTの観測が必要といえる。また、各体育館で継続的にWBGTを観測すれば、環境省の提供するWBGT値の予測値や実測値と、どの時間帯でどの程度異なった数値となるのかその特徴を把握することも可能となる。このような各体育館の特徴を把握することは、2日先まで提供される環境省のWBGTの予測値とあわせて活用することで、天気予報と同じように、時間帯ごとで具体的な見通しを持って、各体育館のWBGT値を予測し、熱中症対策に活用できる。

本研究は、愛知県内にある公立大学体育館における気温（乾球温度）とWBGTを観測し、その数値を気象庁の気温や環境省のWBGTと比較することで、ある大学体育館の気温やWBGTの特徴を明らかにするものである。この研究により、幼児から大人までの体育館における熱中症予防を実現するための一事例を提供できると考えられる。

方法

観測対象とした公立大学体育館は、愛知県長久手市の丘陵帯に位置しており、地上2階建ての鉄筋コンクリート造である。床面積は、1階が2413.72m²、2階が715.48m²である。体育館1階に位置するアリーナは、吹き抜け構造になっており、屋根は鉄骨造である。アリーナは、バスケットボール2面（バドミントンコートでは8面）以上の広さを有している。アリーナの西側には、教職員の準備室につながる扉が1つと、玄関ホールにつ

ながる扉が3つ設置されている。アリーナの北側と南側の壁には、それぞれ人が出入りできる大きさの扉が設置され、また、壁の下部に子窓が設置されることで、風通しの良い環境にある。壁の扉や小窓は、通常は閉じられているが、体育館を人が使用する場合、換気のために開けられる場合もある。

本研究における気温（乾球温度）とWBGTの観測は、換気がなされている状況も含め、環境省の方法を参考にし、体育館1階アリーナの直射日光が当たらない場所で実施した。使用した観測機器は、黒球式データロガー熱中症指数計（HI-2000SD、カスタム社製）で、5分毎にWBGTを記録した。この観測機器は、床面から1.5mの高さに設置した。以下、公立大学の気温は大学体育館気温、公立大学のWBGTは大学体育館WBGTと表記する。

環境省のWBGTは、熱中症予防情報サイトで公開されている過去データを使用した。公立大学が位置する長久手市には、観測所（データ）が存在しないので、最も近い名古屋市の観測値として提供されるデータを活用した。以下、名古屋WBGTと表記する。

また、気温（乾球温度）は、気象庁が公開する過去の気象データ検索を使用した。地点は、WBGTと同じく、名古屋市のデータを活用した。以下、名古屋気温と表記する。

分析は、2022年5月15日0時から2022年10月12日23時までの151日間の毎正時のデータを用いた。そのため、環境省や気象庁の過去データも同時期の毎正時のデータを活用した。

差分の分析は、高橋ほか（2019）と同様の方法により分析した。具体的にWBGT差は、同じ日時の大学体育館WBGTから環境省の名古屋WBGTを差し引いた値として、以下、WBGT差と表記する。同じく気温差も、同じ日時の大学気温（乾球温度）から気象庁の名古屋気温（乾球温度）を差し引いた値とし、以下、気温差と表記する。

本研究の分析には、Python3.7.9をもちいた。

名古屋地方気象台と公立大学体育館の位置関係は、表1に示す。

表 1 名古屋地方気象台と公立大学体育館の位置関係

	緯度	経度	海面上の高さ (m)
名古屋地方気象台	北緯 35 度 10 分	東経 136 度 57.9 分	51
公立大学体育館	北緯 35 度 10 分	東経 137 度 5.2 分	143

結果

表2は、観測期間中の各データの平均値、標準偏差、最大値（最高気温）、最低値（最低気温）、中央値を示したものである。公立大学体育館において、期間中の最高気温（38.5℃）は7月31日16時に、最高WBGT（31.1℃）は、8月1日17時に観測された。気温差の平均値は1.33℃であったが、WBGT差は-0.59℃となり、平均値差の幅はWBGTの方が小さくなった。

図1（上）は、大学体育館と気象庁の名古屋気温につ

いて、5月15日から10月12日までの毎正時のデータを図示したものである。1日の最高気温については、ほぼ毎日、公立大学体育館の方が、気象庁のデータよりも高値を示した。また、大学体育館気温について、日本スポーツ協会が示す熱中症予防運動指針で、「運動は原則中止」とする気温が35℃以上を示したのは、2022年度では6月28日13時にはじめて観測され、最後は9月13日17時までの間に延べ20日あった。

図1（下）は、公立大学体育館と環境省の名古屋WBGTについて5月15日から10月12日までの毎正時のデータを図示したものである。1日の最高WBGTについ

表 2 観測期間中の各データ

	大学体育館 WBGT	大学体育館気温	名古屋気温	名古屋 WBGT	気温差	WBGT 差
平均値	22.83	26.82	25.49	23.42	1.33	-0.59
標準偏差	4.00	4.65	4.50	4.38	1.23	1.41
最低値	11.20	13.70	13.40	10.20	-2.10	-5.70
中央値	23.60	27.00	25.90	24.10	1.20	-0.50
最高値	31.10	38.50	37.70	33.30	6.30	4.40

※表中の単位はいずれも℃である。

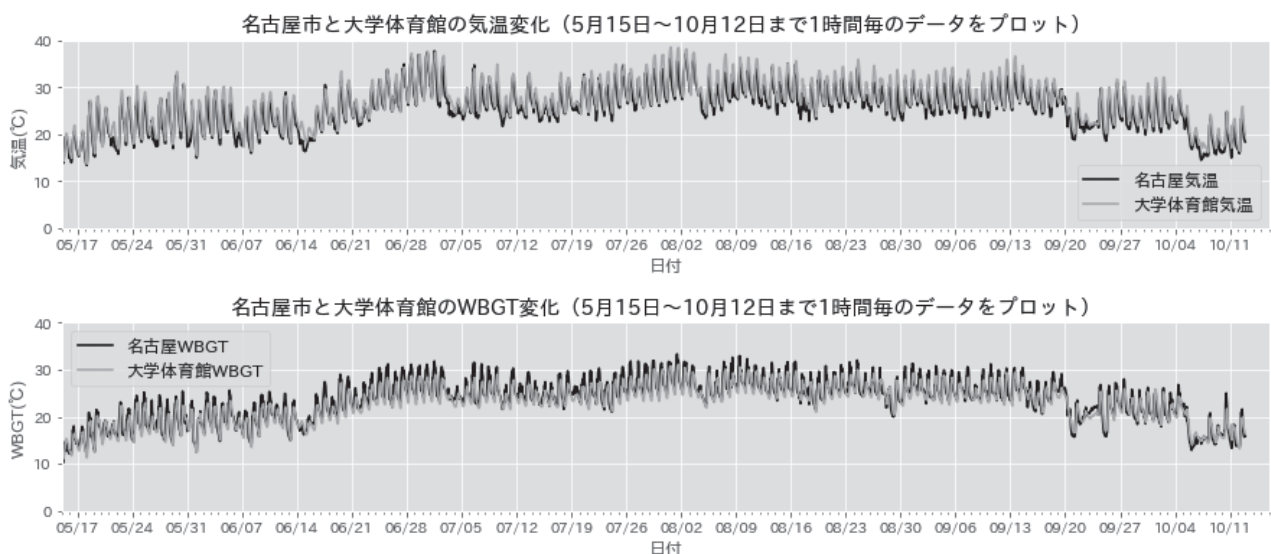


図 1 観測期間中の気温（上）とWBGT（下）の変化

ては、環境省の方が、公立大学体育館よりも高値を示した。なお、大学体育館WBGTについて、日本スポーツ協会が示す熱中症予防運動指針で、「運動は原則中止」とするWBGTが31℃以上を示した日は、8月1日の1日のみ（15時から17時の間）であった。

図2（左）は、Y軸に大学体育館気温、X軸に名古屋気温を毎正時のデータについて図示したものである。また、図中には、 $Y = X$ となる直線を表示した。この直線の右下側にある点は、大学体育館気温よりも名古屋気温が高くなっており、この直線の左上側にある点は、大学体育館気温の方が名古屋気温よりも高くなっていることをあらわす。図からも明らかなように、多くの点が $Y = X$ の直線の左上側に位置しており、大学体育館気温の方が名古屋気温よりも高くなる時間帯が多いことがわかる。

図2（右）は、期間中に大学体育館で最高気温を記録した7月31日0時から23時について、Y軸に大学体育館気温、X軸に名古屋気温の毎正時のデータを図示したものである。図中の数字は、観測された各時間帯をあらわす。すべての時間帯において、大学体育館の方が名古屋市の気温よりも高くなった（ $Y = X$ の直線の左上側に位置する）。さらに、特徴的なことは、名古屋気温は14時

でピークを迎え以降は低下しているが、大学体育館気温は、14時以降も上昇を続け、16時においてピークを迎えている（14時から16時は $Y = X$ の左上側に上昇している）。図示はしないが、午後の時間帯に体育館内の気温が上昇する傾向は、他の日にちでも確認できた。

図3（左）は、Y軸に大学体育館WBGT、X軸に名古屋WBGTの毎正時のデータについて図示したものである。また、図中には、 $Y = X$ となる直線を表示し、この線の右下側にある点は、大学体育館WBGTよりも名古屋WBGTが高くなっており、この直線の左上にある点は、大学体育館WBGTの方が名古屋WBGTよりも高くなっていることをあらわす。WBGTについては、多くの点が $Y = X$ の直線の右下側に位置しており、大学体育館WBGTは名古屋WBGTよりも低くなる時間帯が多いことがわかる。

図3（右）は、期間中に大学体育館で最高WBGTを記録した8月1日の0時から23時について、Y軸に大学体育館WBGT、X軸に名古屋市WBGTの毎正時のデータを図示したものである。図中の数字は、観測した各時間帯をあらわす。名古屋WBGTは、12時にピークを迎えその後は低下するが、大学体育館WBGTは12時以降も

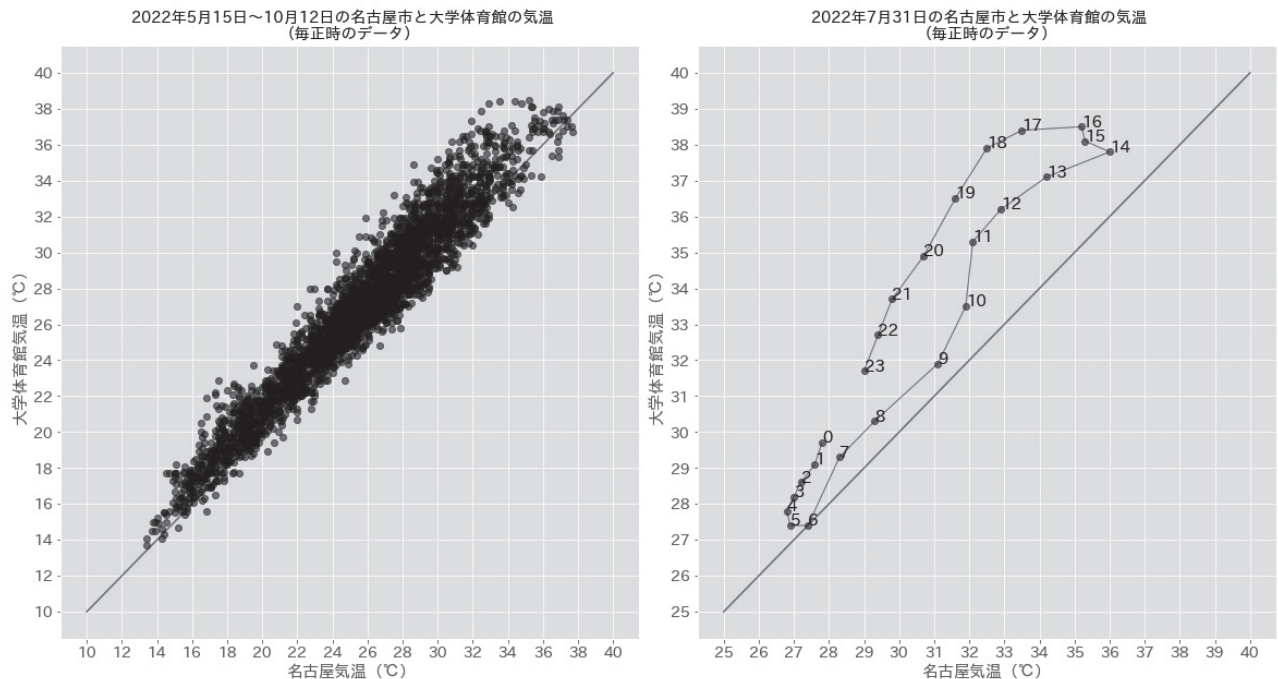


図2 名古屋気温と大学体育館気温の散布図（左は全期間、右は7月31日）

※右図中の数字は、各時間帯をあらわす。

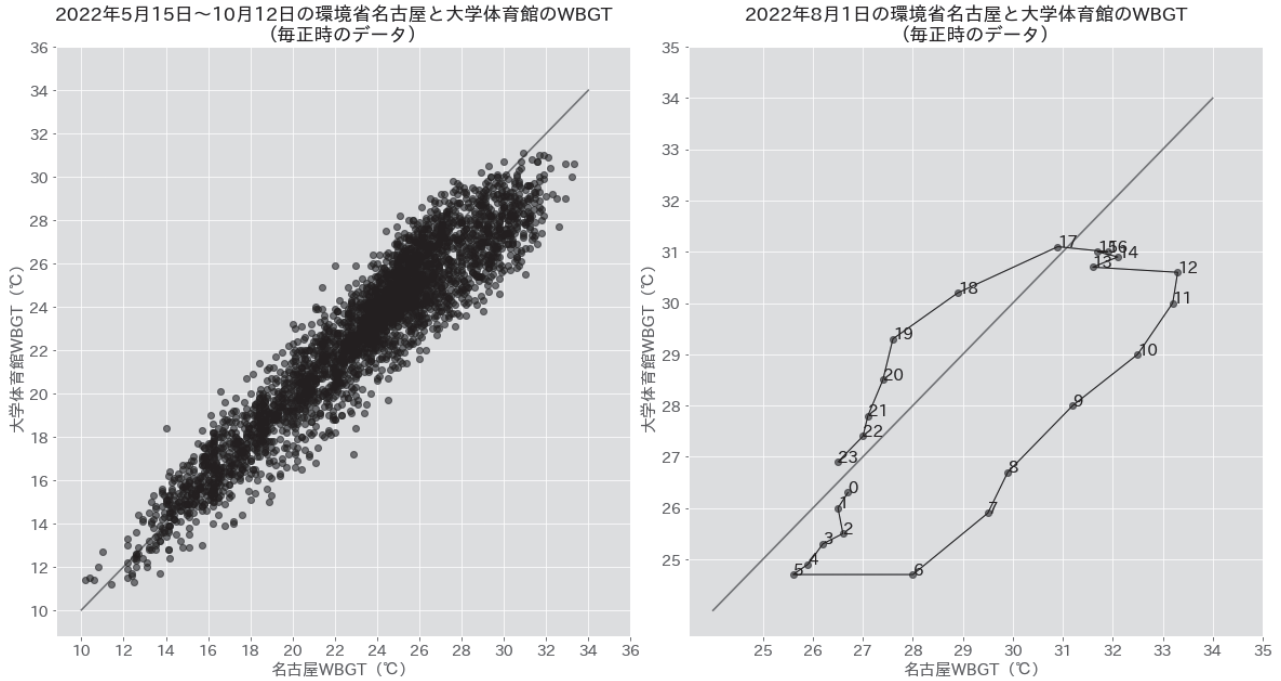


図3 名古屋市と大学体育館のWBGTの散布図（左は全期間、右は8月1日）

※右図中の数字は、各時間帯をあらわす。

上昇し17時にピークを迎えている（12時以降も左上に上昇している）。1日全体の傾向として、0時から16時までは、名古屋WBGTの方が大学体育館WBGTよりも高くなっているが、17時から23時までは大学体育館の方が名古屋市のWBGTよりも高くなった。WBGTについては、夕方の時間帯について、大学体育館の方が名古屋

市のWBGTよりも高くなる傾向を示しており、この大学体育館のWBGT変化の特徴をあらわしている。図示はしないが、同様の傾向は、他の日にちでも確認できた。

図4は、観測期間中のWBGT差について、どの程度の違いがあるのかについて、毎正時のデータをヒストグラムであらわしたものである。表1に示したように、

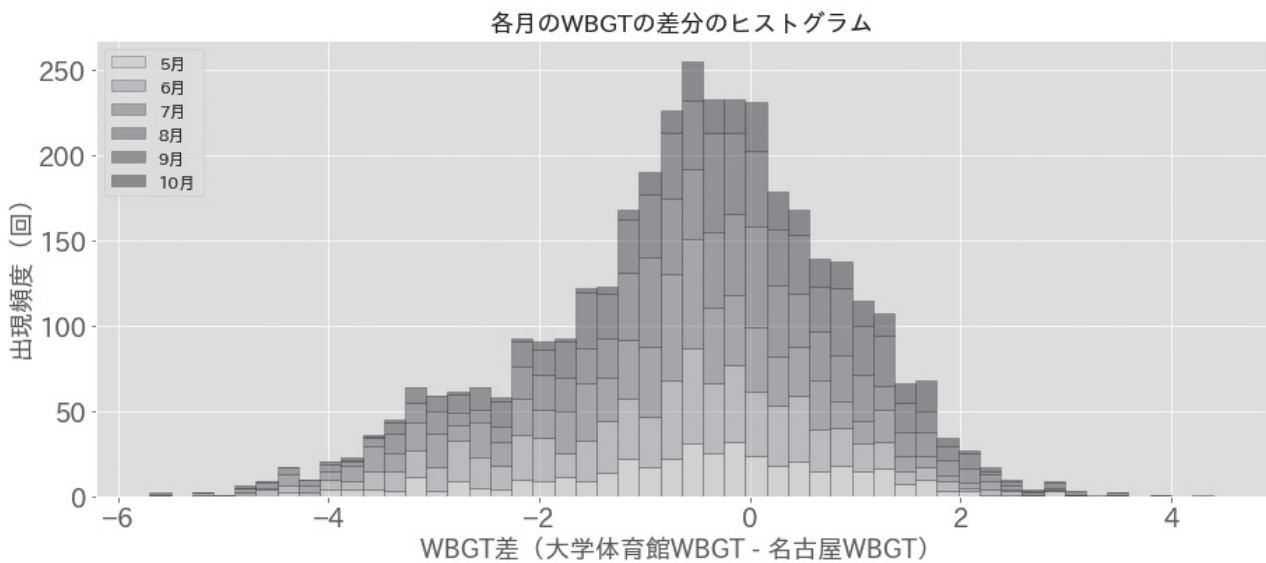


図4 WBGT差のヒストグラム

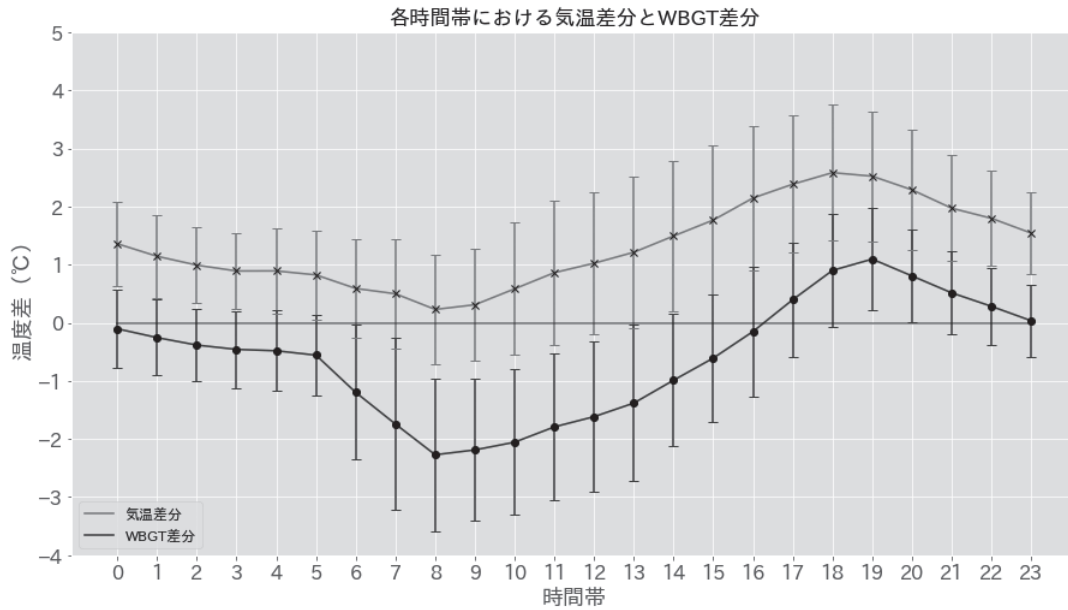


図5 各時間帯における気温差とWBGT差の平均値と標準偏差
 ※エラーバーは標準偏差をあらわす。

WBGT差の平均値は、 -0.59°C 、中央値は -0.5°C であり、ヒストグラムの分布は、正規分布に近い形を示した。図4の形状ならびに平均値と中央値が負の値を示していることから、各時間帯のWBGTは、大学体育館WBGTよりも名古屋WBGTの方が高くなる傾向がわかった。

図5は、観測期間中の時間帯別に気温差とWBGT差を集計し、その平均値と標準偏差（エラーバー）を示したものである。気温差の平均値は、どの時間帯も正の値を示した。つまり、どの時間帯も大学体育館気温の方が名古屋気温よりも高くなることをあらわしている。一方、WBGTの平均値は、0時から16時までは負の値を示し、17時以降は正の値を示していた。つまり、各時間帯のWBGTの平均値は、0時から16時までは名古屋WBGTの方が大学体育館WBGTよりも高くなる一方で、16時から23時までは大学体育館WBGTの方が名古屋WBGTよりも高くなる傾向があることがわかった。

また、気温差もWBGT差も平均値は、8時に最低値を示し、それ以降は気温差が18時まで、WBGT差は19時まで上昇する傾向にあった。

考察

熱中症の予防には、気温やWBGTなどの環境要件の

把握が重要である。大橋ほか（2009）は、活動空間ごとでWBGTが異なることから、活動空間ごとでの計測を考慮すべきであると指摘している。

文谷（2014）は、複数の体育館内で環境温と風速の観測を行い、ある体育館は風速が大きいかかわらず、もう一方の体育館よりもWBGTが高くなったことを報告しており、背景には、体育館の大きさや周りの建物との近接状況に影響されたとしている。このように体育館においても、素材や構造、位置する環境や日照条件などによって、内部の温度変化にはそれぞれの特徴がある。つまり、熱中症の予防には、各体育館での観測が重要となり、それぞれの体育館でどのような変化傾向を示すのか、その特徴を把握する必要がある。

本研究の対象とした公立大学体育館の特徴は、気温（乾球温度）については、気象庁が観測し公表している近隣都市（名古屋市）の値よりも、多くの時間帯で高くなる傾向が明らかとなった。しかも、大学体育館気温について、日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針で「運動は原則中止」と判断される気温 35°C 以上を示した日は、のべ20日もあった。

一方で、大学体育館WBGTについて、日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針で「運動は原則中止」と判断されるWBGT 31°C 以上を示した日は、8月1日の1日のみであった。日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針で

は、環境条件の評価にはWBGTの使用が望ましいとされている。本研究の結果のように、気温とWBGTの間で、「運動は原則中止」あるいは「嚴重警戒（激しい運動は中止）」の判断が異なるような場合は、その運用により注意すべきである。熱中症予防運動指針にも記されているように、熱中症の発症リスクは個人差が大きく、運動強度も大きく関係する。「嚴重警戒（激しい運動は中止）」と判断できる気温やWBGTであったとしても、体調や気分がすぐれない場合は、スポーツ活動を無理におこなってはいけないし、運動の内容や強度を含めて、その実施を慎重に判断しなければならない。大切なことは、気温とWBGTのどちらか一方の数値だけで判断するのではなく、いずれかの数値が基準を上回る場合は、運動をおこなわないという選択肢を積極的に持つことである。

さらに、本研究の結果から、一般の天気予報でも提供される屋外の気温データよりも、体育館内の気温の方が高くなる場合もある。熱中症予防の観点から、体育の実施場所を屋外から屋内の体育館に変更したとしても、屋外の気温だけで判断すれば、日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針で「運動は原則中止」と判断される水準を上回る場合もある。つまり、体育の実施場所が屋内の体育館としても、熱中症予防として十分な安全対策をおこなっているとはいえないのである。コロナ禍においてオンライン授業のノウハウも蓄積されてきたことから、熱中症対策の一環として、体育の授業や屋外の課外活動にオンライン授業を取り入れた計画を練ることも対策の一つにできると考えられる。

文谷（2019）は、2007年から2018年の期間における、ある体育館の7月の気温とWBGTの年時推移を報告しており、それぞれ経年と共に高くなる傾向を報告している。そして、体育館内の環境温が経年と共に高くなる背景には、外気温が地球温暖化の影響によって上昇していることと関連していると指摘している。地球温暖化が進行し、近い将来はさらに平均気温が高くなることを想定すると、体育館においてもより安全に体育実技をおこなえる施策や計画の検討、環境整備をおこなう必要がある。

本研究の結果から、ある公立大学の体育館では、近隣都市（名古屋）の屋外の気象データよりも数時間遅れて、15時から17時の間に気温やWBGTが1日の最高値を示

すことが多く、夕方17時以降では、環境省が提供するWBGTよりも高くなる特徴がわかった。屋外のWBGTに比べて、体育館内のWBGTが高くなることは、環境省の熱中症予防サイトでも指摘されているが、体育館という大きな構造物において、遅れてピークを迎える点は、考慮すべき特徴である。この背景には、図5のとおり、体育館内のWBGTは体育館内の気温の変化と連動しているためである。つまり、屋外の気温は13時頃にピークを迎えたとしても、高い気温や直射日光により、建物自体が保熱することで体育館内の気温が高まり、結果としてWBGTも高くなると考えられる。そして、体育館内の気温やWBGTが屋外よりも数時間遅れてピークを迎える点を考慮すると、夕方の時間帯の授業や部活動では、より注意して体育館内の熱中症対策をおこなう必要があるといえる。他方で、早朝や午前の時間帯は、気温やWBGTが比較的に低くなるので、これらの時間を活用して、無理のない範囲で運動を行うような工夫もできるであろう。

また、図5に示したように、ある公立大学の体育館が、どの時間帯で気象庁や環境省が提示する気温やWBGTよりも、どれくらい異なった数値となるのかその傾向をはっきりと示すことができた。このように体育館が有する特徴を把握できれば、気象庁や環境省が予測値として提供している気温やWBGTとあわせて活用することで、数日先の体育館で、どの程度の気温やWBGTを示すのかを、見通しを持って対策を講じることも可能になる。見通しを持つことで、運動を実施する時間帯や内容をあらかじめ想定できる。

安全かつ科学的な根拠を持って、運動中の熱中症を予防するためにも、本研究で示したような気温やWBGTの観測が必要である。今後は体育館だけでなく、屋外のスポーツ施設やプール等の様々な場面に観測を広げていく必要がある。熱中症予防のためにも、あらゆるスポーツ場面における環境特性に関するデータの蓄積が求められている。

まとめ

本研究は、愛知県内にある公立大学体育館における

気温（乾球温度）とWBGTを観測し、その数値を気象庁の気温や環境省のWBGTと比較することで、ある大学体育館の気温やWBGTの特徴を明らかにするものであった。本研究の調査により、以下のことが明らかとなった。

1. ある公立大学体育館の気温（乾球温度）は、気象庁が観測し公表している近隣都市（名古屋市）の値よりも、多くの時間帯で高くなる傾向が明らかとなった。日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針で「運動は原則中止」と判断される、気温が35℃以上を示した日は、体育館内であってもものべ20日もあった。つまり、体育の実施場所が屋内の体育館であったとしても、熱中症予防として十分な安全対策をおこなっているとはいえない。

2. 一方で、WBGTについては、環境省が公開する名古屋市のデータに比べて、大学体育館では0時から16時まででは低くなるが、17時以降は高くなる傾向が示された。日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針で「運動は原則中止」と判断されるWBGT31℃以上を示した日は、1日のみであった。

3. 気温とWBGTの間で、「運動は原則中止」あるいは「厳重警戒（激しい運動は中止）」の判断が異なるような場合は、気温とWBGTのどちらか一方の数値だけで判断するのではなく、いずれの数値が基準を上回る場合は、運動を行わないと言う選択肢を積極的に持つことも重要である。

4. 体育館内の気温やWBGTが屋外よりも数時間遅れてピークを迎える点を考慮すると、夕方の時間帯の授業や部活動では、より注意して体育館内の熱中症対策をお

こなう必要がある。

参考文献

- 文谷知明, 2014, ある大学体育館における環境温, 風速および体感についての一考察, 川崎医療福祉学会誌23(2), 291-299
- 文谷知明, 2019, ある大学体育館における5, 6, 7月期の環境温についての一考察, 川崎医療福祉学会誌28(2), 519-525
- 環境省熱中症予防情報サイト (online) <https://www.wbgt.env.go.jp/> (最終アクセス日2022年12月20日)
- 気象庁過去の気象データ検索サイト (online) <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (最終アクセス日2022年12月20日)
- 文部科学省「保健室の備品等について」(令和3年2月3日付け初等中等教育局長通知) (online) <http://www.togakuyaku.jp/img/file56.pdf> (最終アクセス日2022年8月10日)
- 日本スポーツ協会, 2019, スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック (online) https://www.japan-sports.or.jp/Portals/0/data/supoken/doc/heatstroke/heatstroke_0531.pdf (最終アクセス日2022年7月1日)
- 日本スポーツ振興センター, 2018, 平成30年度スポーツ庁委託事業, パンフレット, 熱中症を予防しよう—知って防ごう熱中症— (online) https://www.jpnpsport.go.jp/anzen/Portals/0/anzen/anzen_school/H30nettyuusyoushouPamphlet/h30nettyuusyoushou_all.pdf (最終アクセス日2022年8月10日)
- 岡山県「市町村教育委員会の熱中症対策」の取り組み事例—津山市教育委員会管轄— (online) https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/344225_1697117_misc.pdf (最終アクセス日2022年8月10日)
- 大橋唯太, 竜門洋, 重田祥範, 2009, 都市域のさまざまな活動空間でのWBGTの比較, 日本生気象学会雑誌46(2), 59-68.
- Takahashi K, Ohgane A, Inashima S, Kim HY, 2019, A two-day Wet-Bulb Globe Temperature prediction model to protect students in school gymnasiums. 24th Annual Congress of the European College of Sport Science. pp719.
- 高橋和文, 大金朱音, 稲嶋修一郎, 2019, 体育館における環境省「熱中症予防情報サイト」の活用方法の提案, 金城学院大学論集. 自然科学編15 (2), 19-32.