

気候変動による暑熱・健康等への影響に関する研究

Study on the effects of climate change on heat and health

岡本 一真

鷺岡 和寿*

Kazuma OKAMOTO

Kazutoshi SAGIOKA

要 旨

地域における熱中症リスク管理手法の検討を目的とした気象学的特徴等を把握するため、地理的条件や暑熱環境の異なる地点において温湿度及びWBGTを測定し、傾向を調査した。

県内の市街地と郊外に位置する高等学校の教室等において温湿度・WBGTの測定を行い、WBGT計を設置していない地点については温湿度からWBGTを算出し、各地点のWBGTを比較した結果、屋内よりも屋外の方が日最高WBGTは高い値を示し、屋内のみの比較では、体育館>南館>北館、上階>下階となる傾向がみられた。郊外と市街地では郊外の方が高い値を示したことから、地理的条件がWBGTに大きな影響を与えることが推測された。150φWBGT計による実測値は、換算式から算出した値と近似していることから、気温と湿度が測定できれば、風速等の気象データをもとにWBGTを推測できることが示唆された。

キーワード：気候変動 WBGT 熱中症

I はじめに

気候変動による気温の上昇に伴い、香川県内における熱中症搬送者数は増加傾向にあり、気象庁による将来予測でも猛暑日や熱帯夜日数の増加が予測されている¹⁾。このことから、熱中症リスクは今後さらに高まると考えられ、早急な対策が求められる。

一方、熱中症の発生傾向は地理的条件や暑熱環境により大きく異なるため、リスクをもたらす要因となる気象学的特徴を有する地域における現状の把握及び分析が、効果的な適応策の検討につながると期待される。本調査では香川県における熱中症リスク管理手法の検討を目的とした気象学的特徴等を把握するため、香川県内の市街地と郊外において、熱中症の危険性を示す指標として知られる暑さ指数（以下、WBGT）および温湿度の測定を実施した。WBGTについては、日最高WBGT（1日の中で最も高いWBGT）と熱中症搬送者数との相関が確認されていることから²⁾、本調査では日最高WBGTの値の比較により、その傾向を調査することとした。

II 方法

1 設置

市街地として高松市内の高等学校および郊外として綾川町内の高等学校各1校を選定し、温湿度・WBGT等の測定を実施した。機器については、クーラーの設置されていない場所を対象とし、高さ1.5～2mの位置に設置した。測定期間は令和3年7月1日～10月31日とし、そのうち熱中症の危険性が高いと予想される夏季（7～9月）について解析を行った。

①市街地：A高等学校

〈設置場所（計10地点）〉

- ・北館2F、5F
- ・南館2F、5F
- ・南館5F（高さ0.5mの位置）
- ・体育館1Fおよび2F
- ・屋上
- ・運動場
- ・中庭

*香川県環境森林部環境政策課

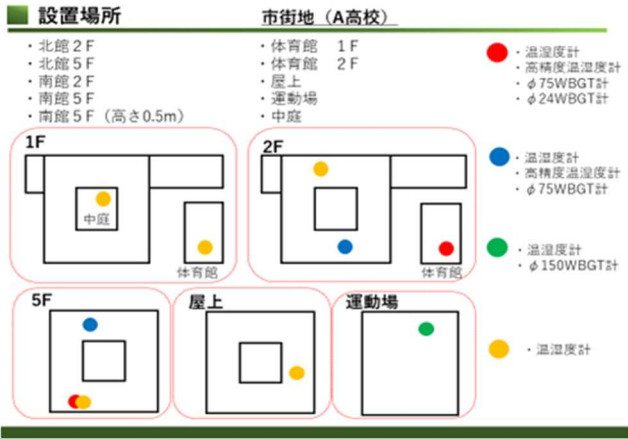


図1 市街地（A高等学校）の配置図

②郊外：B高等学校

<設置場所（計10地点）>

- ・北館1F、2F
- ・北館2F（茶室）
- ・南館1F、2F、3F
- ・体育館
- ・屋上
- ・運動場
- ・中庭

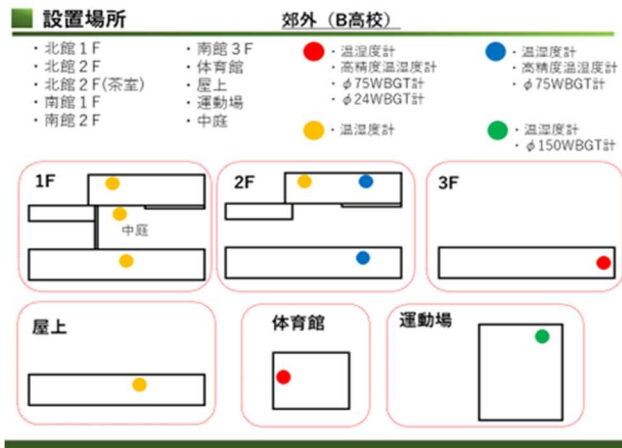


図2 郊外（B高等学校）の配置図

2 測定項目

- ・乾球温度
- ・湿度
- ・黒球温度
- ・WBGT

3 使用機器

- ・24φWBGT計 各校4台
- ・75φWBGT計 各校2台
- ・150φWBGT計 各校1台
- ・高精度温湿度計 各校4台
- ・温湿度計 各校10台

※各WBGT計の数字は黒球部の直径(mm)である。



温湿度計



高精度温湿度計



24φWBGT計



75φWBGT計



150φWBGT計

図3 使用機器

表1 測定精度

	WBGT(°C)	気温(°C)	相対湿度(%RH)	黒球温度(°C)
24φWBGT計 (クラス2)	±2.0 (15~40)	±1.0 (20~50)	±3.0 (30~90)	±1.0 (20~60)
75φWBGT計 (クラス2)	±2.0	±0.6	±5(20.0~90.0) ±7(10.0~19.9)	±0.6
150φWBGT計 (クラス1.5)	±1.5 (15~40)	±0.5 (20~50)	±3 (30~90,at 25°C)	±0.5 (20~60)
高精度温湿度計	—	±0.3(10~40) ±0.5(それ以外)	±2.5 (30~80,at 15~30°C)	—
温湿度計	—	±0.3(-10~50)	±5	—

III 結果

1 各機器および場所ごとの比較

(1) 75φWBGT計

75φWBGT計（以後、75φ計と記す）における測定結果を図4及び図5に示す。市街地では、体育館2Fや南館5Fが高い結果となり、これは建物上層階ほど日射により暖められた屋根の影響を受けるためと考えられる。また、南館は窓から入ってくる日射により部屋が暖めら

れることから、同じ階数であっても北館より高い値を示したと考えられる。

郊外においては、北館2Fが最も高い傾向がみられ、これは北館2Fのみ機器を窓際に設置していたため、他の場所よりも日射の影響を大きく受けたと考えられる。また、雨天時には体育館で高いWBGTを示す傾向がみられた。なお、南館2Fについては、隣接した部屋で空調を使用しており、その冷たい空気が流れ込んできたことで正確なデータが得られなかったため、今回の比較対象から除外した。

また、24φWBGT計（以後、24φ計と記す）についても75φ計と同様の傾向が確認できた。しかし、測定値については1~2℃程度の差異が生じており、この要因については今後検討する予定としている。今回調査に用いた24φ計は通信機能を有しており、リアルタイムでWBGTを容易に確認することができ、熱中症に対する迅速な対応が必要である場合は有効であると考えている。

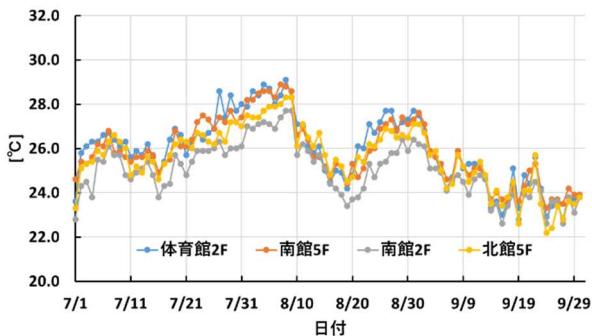


図4 市街地の日最高WBGTの推移
(75φWBGT計)

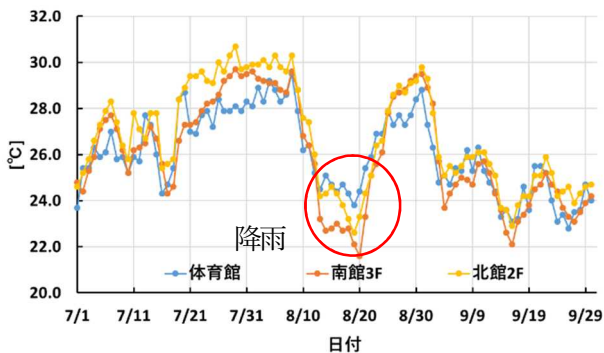


図5 郊外の日最高WBGTの推移
(75φWBGT計)

(2) 高精度温湿度計

高精度温湿度計による測定結果を示す。高精度温湿度計による評価については、測定した温湿度からWBGTを換算して行った。温湿度からWBGTへの換算については、

$$WBGT=0.735*Ta+0.0374*RH+0.00292*Ta*RH+7.619*SR-4.557*SR^2-0.0572*WS-4.064 \quad \text{---①}$$

の式により与えられるものとする³⁾。

ここで、Ta：乾球温度（℃）

RH：相対湿度（%）

SR：全天日射量（kW/m²）

WS：風速（m/s）である。

ただし、屋内では日射や風速の影響が小さいと考えられるため、SRとWSの値は0として計算した。

高精度温湿度計の測定結果をもとに、①式により得られた日最高WBGTの推移を図6および図7に示す。これらの結果については、先に示した75φ計と設置場所が同じであることから、多少の差はみられるものの場所ごとの値や傾向は75φ計とほぼ同じ結果が得られたことが確認できた（図8および図9）。このことから屋内においては、①式を用いて温湿度の実測値からWBGTを算出することで、WBGT計を用いた場合と同様に評価を行うことが可能となった。なお、南館2Fについては75φ計同様、比較対象から除外した。

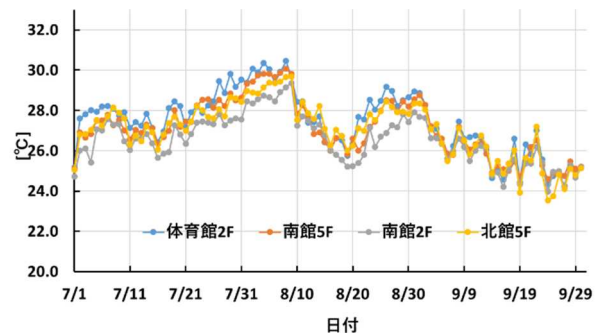


図6 市街地の日最高WBGTの推移
(高精度温湿度計)

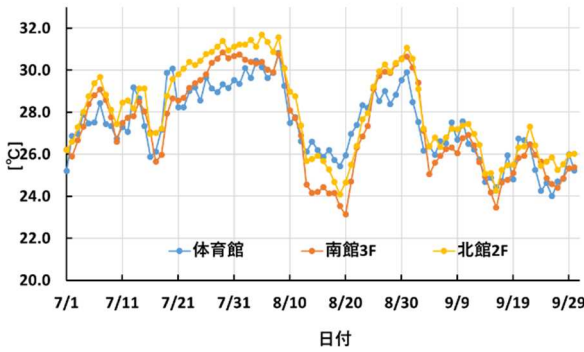


図7 郊外の日最高WBGTの推移
(高精度温室度計)

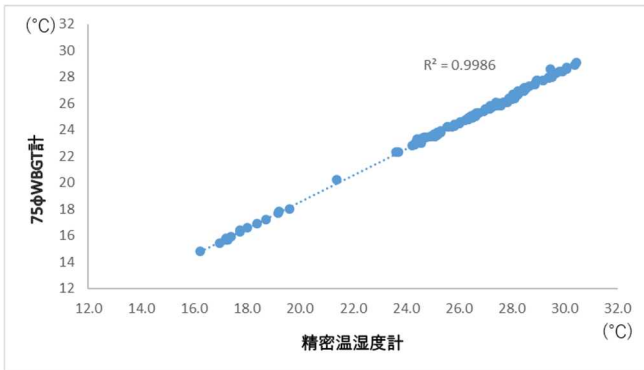


図8 市街地体育館における75φWBGT計の測定値と精密温室度計の実測値から換算した日最高WBGTの相関

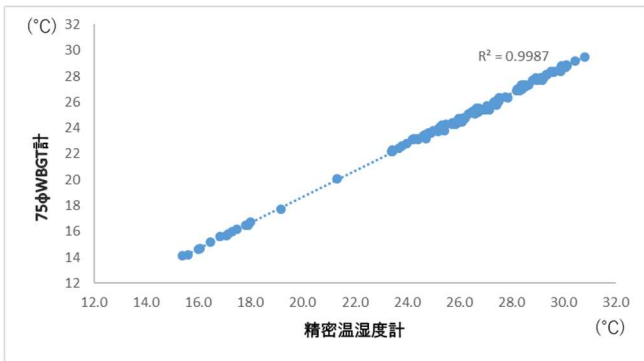


図9 郊外体育館における75φWBGT計の測定値と精密温室度計の実測値から換算した日最高WBGTの相関

(3) 温湿度計

i) 市街地

温湿度計についても、同様に①式を用いてWBGTに換算した(SR及びWSの値は0とした)。市街地における測定結果を図10に示す。各地点で大きな差は見られないものの、体育館が高く、次に南

館や上層階が高くなる傾向がみられ、75φ計や高精度温湿度計で得られたものと同様の結果を示した。なお、屋外3地点(屋上、運動場、中庭)については、日射量と風速の影響を考慮していないことや、降雨日の湿度の影響等で値のばらつきが大きく、データの信頼性が低いため、比較対象から除外した。

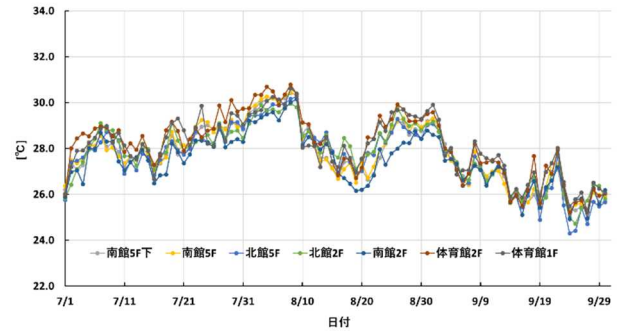


図10 市街地屋内の日最高WBGTの推移
(温湿度計)

ii) 郊外

郊外における測定結果を図11に示す。郊外では、市街地と比べ場所ごとのWBGTのばらつきが大きく、傾向としてはこれまで同様、体育館や上層階が高い値を示した。一方、北館2Fや北館2F(茶室)においても高い値を示しており、これは設置場所が窓際であったため、他の設置場所よりも日射の影響を大きく受けたと考えられる。このことから、熱中症リスクの検討には、場所ごとの状況を把握することも重要である⁴⁾が、同じ室内でも窓際など特に暑い箇所が存在するため、そのような場合はより注意が必要である。なお、屋外3地点(屋上、運動場、中庭)については、市街地同様、比較対象から除外した。

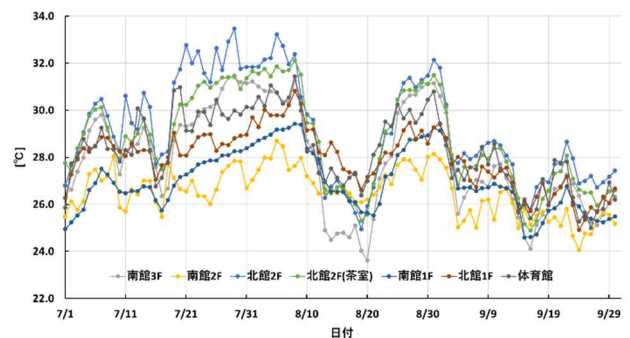


図11 郊外屋内の日最高WBGTの推移
(温湿度計)

(4) 150φ WBGT 計

150φ WBGT 計 (以後、150φ 計と記す) における測定結果を図 12 に示す。市街地と郊外で値に大きな差はないものの、郊外での測定値が市街地よりも高い値となることが多い傾向を示した。これは、市街地 (高松) が郊外 (綾川町) と比べてより強い風が吹いている傾向にあること (表 2)、また、高松は海に面しており海からの空気が流れ込みやすいことなどが要因として挙げられ、地理的条件がより大きな影響を与えているのではないかと考えられる。

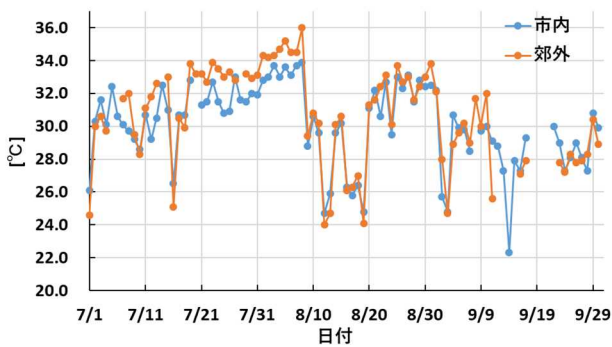


図 12 日最高 WBGT の推移 (150φ WBGT 計)

表 2 月ごとの平均風速 (m/s)

	7月	8月	9月
高松	2.3	2.2	2.0
綾川町	1.2	1.1	1.1

気象庁のデータを用いて作成

2 150φ WBGT 計における実測値と実況推定値の比較

150φ 計における測定値と実況推定値 (環境省提供) を比較した結果を図 13 および図 14 に示す。市街地および郊外のどちらの地点においても、実測値が実況推定値よりも高い値を示しており、これは気象庁の観測地点における温湿度の測定が、強制通風下の条件のもと行われているためであると考えられる。

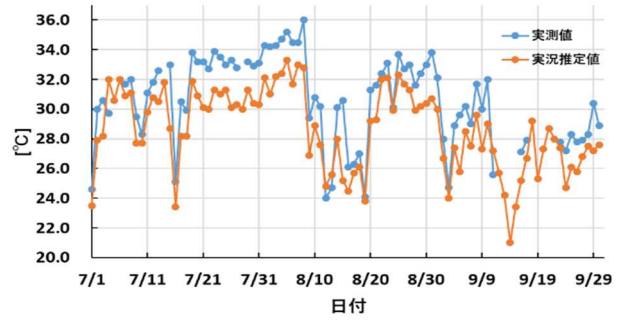


図 13 市街地の実測値と実況推定値の日最高 WBGT 推移

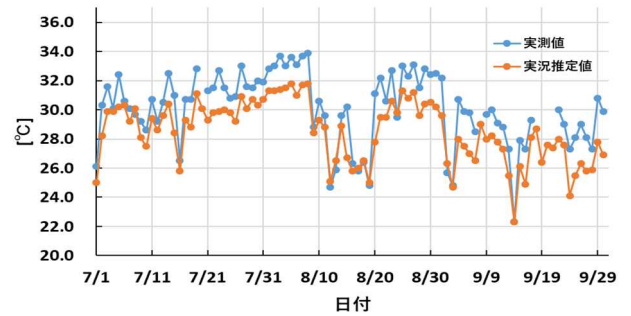


図 14 郊外の実測値と実況推定値の日最高 WBGT 推移

そこで、実際に 150φ 計で測定した気温と湿度をもとに、気象庁観測地点における全天日射量および風速を用いて、①式により WBGT を算出した。その結果を図 15 に示す (全測定期間から一部抜粋)。式より求めた WBGT と実測値は多少の差はあるものの実測値と非常に近い値を示しており、気温と湿度が測定できれば、WBGT を求めることが可能であることが確認できた。ただし、前述のとおり当式による WBGT への換算には全天日射量および風速も必要であるため、近傍の気象庁観測地点の観測データを得ることが必要である。

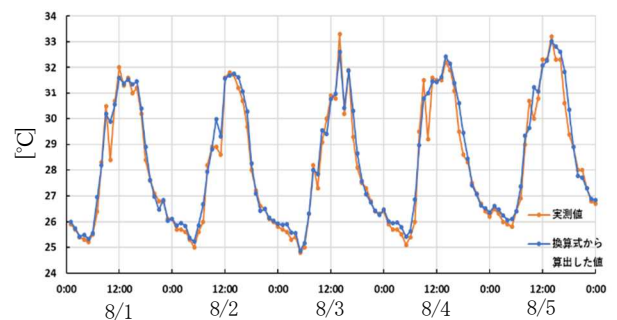


図 15 市街地の実測値と換算式により算出した WBGT 値の推移 (8月1日~8月5日)

3 熱中症救急搬送者数と WBGT との関係

本調査に関連して、総務省消防庁が公開している、香川県の熱中症搬送者数の 2008 年～2021 年の推移（7 月～9 月）を図 16 に示す。2021 年は 343 人と減少しているものの、傾向としては増加傾向にあることが分かる。

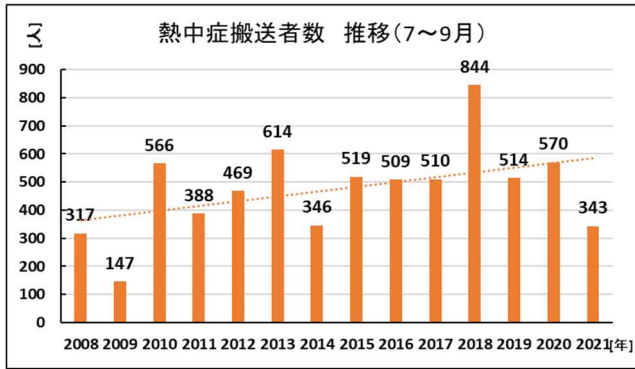


図 16 香川県の熱中症搬送者数の推移 (2008～2021 年)

高松市消防局のデータを用いて作図

次に、高松市消防局管内（高松市、三木町、綾川町）の、2021 年の熱中症搬送者の詳細なデータを図 17～図 19 に示した。図 17 および図 18 より、高松市消防局においては、高齢者および成人の搬送者数が多く、中等症や重症になる割合についても成人や高齢者のほうが高いことが確認された。また、図 19 より、日最高 WBGT が高くなると熱中症搬送者数も増加するという傾向がみられた。このことから、WBGT を測定することは適切な熱中症対策を行うための非常に重要な指標の 1 つとなると考えられる。

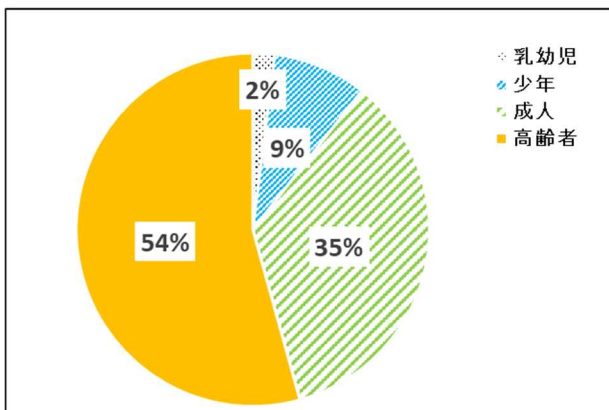


図 17 高松市消防局管内における熱中症搬送者数の割合 (2021 年) 高松市消防局のデータを用いて作図

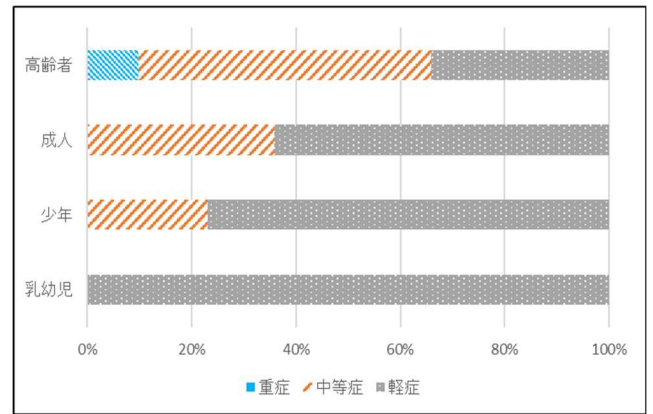


図 18 年齢層別の症状の割合 (2021 年)

高松市消防局のデータを用いて作図

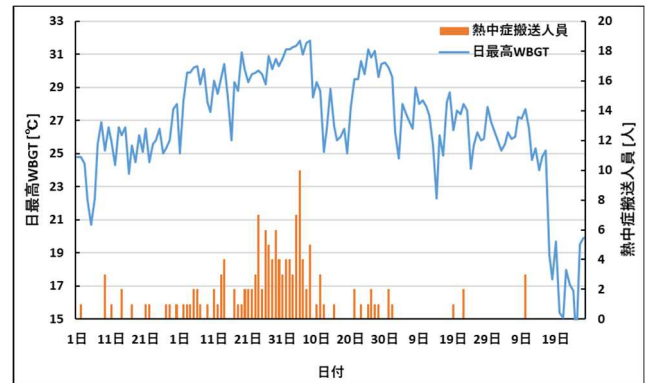


図 19 高松市消防局管内の熱中症搬送者数と日最高 WBGT の関係

(令和 3 年 7 月 1 日～10 月 31 日)

高松市消防局のデータを用いて作図

IV まとめ

今回は、地理的条件や暑熱環境の異なる地点における温湿度および WBGT を測定した。屋外の方が屋内より WBGT は高く熱中症の危険性は高い傾向にあり、同じ屋内でも日射などの影響により熱中症のリスクが高まることが確認できた。また、気温と湿度を測定できれば、近傍の風速等の気象データをもとに WBGT を算出することが可能であり、WBGT は熱中症のリスクを評価するための暑熱環境の指標として、様々な現場で活用できると期待される。

また、地理的条件が WBGT に与える影響は大きいと考えられることから、適応策を検討するには、地域の特性等についての詳細な把握が必要である。気候変動は今後さらに進むと予測され、今後も積極的に温湿度を測定し、香川県の地域の実情に応じた適応策の検討へとつなげていきたい。

謝辞

本研究は、環境省委託事業「令和3年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託業務(香川県)」および国立環境研究所との共同研究(適応型)「気候変動による暑熱・健康等への影響に関する研究(研究代表者:岡和孝)」の一環として実施した。

本研究を進めるにあたり、機器の設置場所の提供をはじめ、ご協力いただいた高等学校の皆様には深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 文部科学省及び気象庁:日本の気候変動2020 — 大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書 —
- 2) 小野雅司:地球温暖化と熱中症, 地球環境, 14(2), 263-270, (2009)
- 3) 小野雅司, 他:通常観測気象要素を用いた WBGT の推定, 日生气誌, 50(4), 147-157, (2014)
doi:10.11227/seikisho.50.147
- 4) 大橋唯太, 他:都市域のさまざまな活動空間での WBGT の比較, 日生气誌, 46(2), 59-68, (2009)