

報告(Note)

## 神奈川県における WBGT 分布推計と熱中症の発生状況

田澤慧  
脱炭素戦略本部室

A study of methods for estimating WBGT(wet-bulb globe temperature) distribution in Kanagawa Prefecture to aim at predicting the risk of heatstroke

Satoshi TAZAWA  
(Decarbonization Strategy Headquarters Office)

キーワード：熱中症，WBGT，気候変動

### 1 目的（はじめに）

人間の影響が大気，海洋及び陸域を温暖化させてきたことには，疑う余地はなく，2011～2020 年の世界の平均気温は，産業革命以降，すでに 1.09℃高くなったと推定されている<sup>1)</sup>。さらに，神奈川県では，地球温暖化の影響だけでなく，都市化に伴うヒートアイランド現象<sup>2)</sup>によって，100 年あたり 2.1℃の気温の上昇が観測されている<sup>3)</sup>。今後，温室効果ガスの排出抑制などの緩和策が進んだとしても，少なくとも今世紀半ばまでは気温上昇が続く見込みである<sup>4)</sup>ことから，緩和策だけでなく，気候変動に備えるための適応策にもこれまで以上に取り組んでいく必要がある。

横浜地方気象台における 8 月の平均気温は，2023 年以降、3 年連続で過去最高を更新するなど，私たちの生活の様々な場面で，気候変動の影響が顕在化している。特に，都市化が進み多くの人口を抱える神奈川県においては，熱中症が緊急性のある重大な課題の一つである。2025 年には県内で 4,972 人の熱中症による救急搬送者が発生し，2 年連続で過去最高を更新した<sup>4)</sup>。さらに，21 世紀末には，熱中症による救急搬送者数が現在の 2 倍近くになることも予測されている<sup>5)</sup>。

熱中症リスク分析のためによく用いられる熱中症救急搬送者数は，総務省消防庁が毎年実施する「夏期における熱中症による救急搬送人員

の調査」において，各消防本部が救急搬送サーベイランスシステムに搬送者情報（性別，年齢区分，傷病程度，発生場所及び傷病程度）を日々入力することで報告され，都道府県別にまとめたうえで公表される<sup>4)</sup>。そのため，熱中症リスクに関する先行研究の多くは，都道府県別の搬送者情報を用いた分析<sup>6-8)</sup>であり，市町村などより詳細な地域別の分析は，自治体から個別に情報収集する必要があるため，研究事例<sup>9-12)</sup>が限られる。

また，熱中症リスク分析において，熱中症のリスクを示す指標の一つとして代表的に用いられる湿球黒球温度（wet-bulb globe temperature, 以下 WBGT という。）は，次式により定義される。

$$\text{WBGT} = 0.7 \times \text{Tw} + 0.2 \times \text{Tg} + 0.1 \times \text{Ta} \quad (\text{式 1})$$

ここで Tw は湿球温度（℃），Tg は黒球温度（℃），Ta は乾球温度（℃）である。

WBGT の算出に必要な黒球温度と湿球温度は，通常的气象要素として，気象庁等によって観測されていないため，環境省では，小野らが提案する通常観測気象要素（乾球温度，相対湿度，全天日射量，風速の 4 要素）から WBGT を推計する次式による方法<sup>13)</sup>を用いて，全国の WBGT 推計値を算出し，熱中症予防情報サイトにおいて暑さ指数として情報提供している。

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

(式 2)

ここで、Ta は乾球温度 (°C)，RH は相対湿度 (%)，SR は全天日射量 (kW/m<sup>2</sup>)，WS は風速 (m/s) である。

しかし、同サイトで提供されている神奈川県内の WBGT は、気象庁の観測所がある 5 地点（横浜、海老名、辻堂、小田原、三浦）のみと少なく、熱中症リスクの詳細な分析や把握のためには十分とは言えない。

そこで本研究では、公開気象データから WBGT 分布を推計する方法を確立するとともに、県内の消防本部から大字又は行政区単位の熱中症救急搬送情報を収集することで、市町村単位よりも小さな地域ごとのデータを用いた神奈川県内の熱中症救急搬送リスクの分析を行った。

## 2 方法

### 2. 1 神奈川県内の WBGT 分布の推計

表 1 に示す既存の公開データを収集し、基準地域メッシュ（約 1km 四方）単位の気象データを求め、小野らが提案する推計式（式 2）を用いて、神奈川県内の WBGT 推計値（以下、単に「WBGT 推計値」という。）を算出した。

推計に用いた基準地域メッシュの風速推計値は、取得した風速及び風向のデータを東西成分と南北成分に分離し、各基準地域メッシュと観測地点との距離の逆数の 2 乗を重みとした加重平均をとること（逆距離加重法）により補間して得た。

WBGT 推計値の推計精度を確認するため、他機関が測定及び公開している気象観測データ（気温、相対湿度及び風速）と、簡易な日射計（英弘精機 ㈱製薄型日射計 ML-02、㈱ティアンドデイ製おん

どとりワイヤレスデータロガー電圧 RTR-505-V）によって測定した全天日射量から求めた WBGT（以下、「WBGT 実測値」という。）と比較した。比較には、一般環境大気測定局（大気汚染防止法第 22 条に基づく大気汚染状況を常時監視するための測定局であって、同法第 20 条に基づく自動車排出ガスの濃度の測定局以外のものをいう。）のうち 2 地点（小田原市役所、相模原市田名）及び横須賀市消防局の計 3 地点（以下、小田原、相模原及び横須賀という。）における 2020 年 8 月 9 日～10 月 31 日の間の測定値を用いた。

また、WBGT 推計値の経年的な安定性を確認するため、2018 年～2023 年の 5 月～9 月の間、測定が継続している一般環境大気測定局 15 地点（図 1）の気温、相対湿度及び風速の測定値とひまわり 8 号、9 号の観測に基づく JAXA 作成の物理量データの全天日射量を用いて、（式 2）により算出した WBGT（以下、「WBGT 比較値」という。）と、一般環境大気測定局 15 地点に最近接する格子点の WBGT 推計値を比較した。

いずれの比較においても、熱中症救急搬送リスクへの影響が大きいと考えられる WBGT 28°C 以上の値を対象とし、相関係数及び平均絶対誤差（MAE）により評価した。



図 1 WBGT 経年比較地点

表 1 収集した気象データ

| 気象要素                          | 取得データ                              | 時間解像度・空間解像度                                   |
|-------------------------------|------------------------------------|---|
| 気温 Ta (°C)                    | 農研機構メッシュ農業気象データ                    | 1 時間値   |
| 相対湿度 Rh (%)                   |                                    | 基準地域メッシュ（約 1km 間隔）                            |
| 全天日射量 SR (kW/m <sup>2</sup> ) | ひまわり 8 号、9 号の観測に基づく JAXA 作成の物理量データ | 10 分間値 (1 時間平均として利用)<br>約 1km 間隔              |
| 風速 WS (m/s)<br>風向 (16 方位)     | 大気環境常時監視測定局及び気象庁地域気象観測所での観測値       | 1 時間値<br>神奈川県内及び近傍の約 100 カ所<br>※逆距離加重法で補間して利用 |

表 2 収集した熱中症救急搬送者データ

| 市町村<br>(消防本部)  | 人口<br>(県内比率)    | 面積<br>(県内比率)                 | 覚知時刻 | 搬送地域 |
|--|-----------------|------------------------------|------|------|
| 平塚市, 小田原市, 厚木市, 南足柄市,<br>綾瀬市, 中井町, 大井町, 松田町, 山北<br>町, 開成町, 箱根町, 真鶴町, 湯河原町,<br>清川村 (9 本部) | 91 万人<br>(10%)  | 890 km <sup>2</sup> (37%)    | あり   | 市単位  |
| 横浜市, 川崎市 (2 本部)  | 532 万人<br>(58%) | 581 km <sup>2</sup><br>(24%) | あり   | 区単位  |

## 2. 2 熱中症救急搬送者に関するデータ

総務省消防庁による「夏期における熱中症による救急搬送人員の調査」において、各消防本部が報告した熱中症救急搬送者に関して、搬送者ごとの当該調査項目に覚知時刻及び搬送地域を加えたデータを、県内 11 市町消防本部（計 16 市町村所管）から収集した（表 2）。このうち、2019～2023 年の 5 年間の 5 月 1 日～9 月 30 日の当該市町村内の搬送者データ計 13,048 件を熱中症救急搬送リスクの分析に用いた。

## 2. 3 熱中症救急搬送リスクの分析

2.1 に記載した方法で求めた WBGT 分布推計から、各搬送地域内の人口最多の格子点をその地域の WBGT 代表値として、前節で収集した熱中症救急搬送者データと紐づけ、分析用データセットとした。このデータセットを用いて、先行研究<sup>8,9)</sup>を参考に、日最高 WBGT 1℃ごとの熱中症救急搬送者数（以下、「熱中症救急搬送者発生率」という。）を算出した。本研究で用いる分析用データセットでは、搬送地域ごとに WBGT が異なるため、熱中症救急搬送者発生率は、日最高 WBGT x℃に曝露された人口と日数の積の合計に対する熱中症救急搬送者数の合計として、(式 3)により算出した。このように求めた熱中症救急搬送者発生率と日最高 WBGT から、指数関数型の予測式（式 4）を非線形最小二乗法によって作成した。なお、救急搬送者 1 人の有無が予測式の係数算定に大きく影響してしまうため、WBGT34℃以上など、発生日

数が 0.5 日未満の WBGT 区分は、予測式の作成に用いないこととした。

以上の方法により得た予測式から、熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT を求め、年ごとの熱中症救急搬送リスクの比較に用いた。

## 2. 4 熱中症救急搬送リスクの地域差

横浜市及び川崎市の行政区及びそれ以外の市町村を 1 単位として、前節と同様の方法で、市区町村ごとの熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT を算出した。市区町村ごとの WBGT 推計値は、各搬送地域の人口最多格子点の WBGT 推計値に人口を重みづけした平均値を用いた。熱中症救急搬送者発生率の予測式の作成には、熱中症救急搬送者に関するデータ数を十分確保するため、2018～2023 年度の 6 年間の通算データを用いた。得られた熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT は、各市区町村における日最高 WBGT 推計値の平均値と比較した。

## 3 結果及び考察

### 3. 1 神奈川県内の WBGT 推計値

2.1 に記載した方法で求めた WBGT 推計値と WBGT 実測値を比較した（図 1）ところ、比較に用いた 3 地点全てで相関係数 0.99 以上であった一方で、平均絶対誤差は小田原 0.65、横須賀 0.63、相模原 1.11 となり、内陸地域の誤差がやや大きい傾向があることが分かった。

続いて、WBGT 推計値の経年的な安定性を確認

日最高 WBGT x℃における熱中症救急搬送者発生率（人 / 日×10 万人）

$$= \frac{\sum_{\text{搬送地域}} \left( \left[ x - 0.5 < \text{覚知前 24 時間最高 WBGT} \leq x + 0.5 \right] \text{の搬送者数[人]} \right)}{\sum_{\text{搬送地域}} \left( \left[ x - 0.5 < \text{日最高 WBGT} \leq x + 0.5 \right] \text{の日数[日]} \times \text{搬送地域人口[10 万人]} \right)} \quad (\text{式 3})$$

$$\text{熱中症救急搬送者発生率（人 / 日×10 万人）} = \exp(a \times \text{日最高 WBGT} + b) \quad (\text{式 4})$$

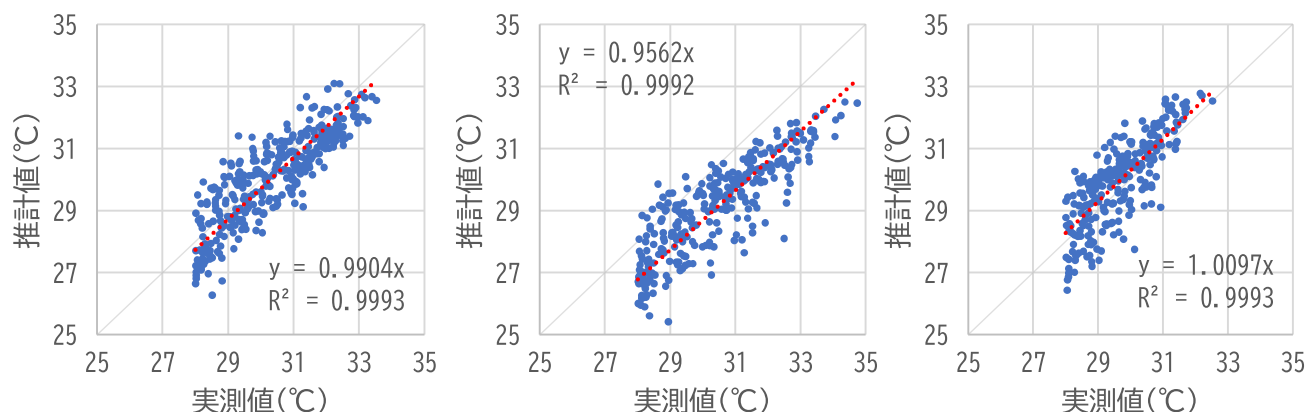


図2 WBGT 実測値と WBGT 推計値の比較（左から横須賀，相模原，小田原）

するため、一般環境大気測定局 15 地点における測定値をベースに算出した WBGT 比較値と WBGT 推計値の平均絶対誤差を比較した(図3)。2018～2023 年の 6 年間にわたって、平均絶対誤差の 15 地点の平均値は 1 未満に収まり、年ごとに増減の傾向はみられなかった。

以上の結果を踏まえ、WBGT 推計値は一定程度の精度（平均絶対誤差 1.5 未満）をもって推計できており、経年比較に用いることができると判断した。

### 3. 2 熱中症救急搬送リスクの経年比較

各年の 5 月 1 日から 9 月 30 日の間における日最高 WBGT 1℃ごとの熱中症救急搬送者発生率を図 4 に示す。予測式から求めた熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT を経年比較すると、2018～2020<2021～2023 であることから、熱中症救急搬送リスクが 2021 年以降、低下する傾向であった。

熱中症の発症リスクは、暑い日が続くと体が暑さに慣れること（暑熱順化）で低下するため、熱

中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT も、暑さに慣れていない初夏に低くなり、暑熱順化が進むにつれて高くなることが考えられる。

そこで、年ごとの暑熱順化の進み具合を確認するため、6 月 15 日から 9 月 15 日までの各日において、5 月 1 日から当該日までの熱中症救急搬送者を対象として、熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT を算出した(図5)。その結果、WBGT が低く、熱中症搬送者数自体が少ない時期（6～7 月頃）においては、数値のばらつきがあるものの、熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT は、夏の前半に最も低くなって以降、後半にかけて上昇していく傾向を示した。一方で、

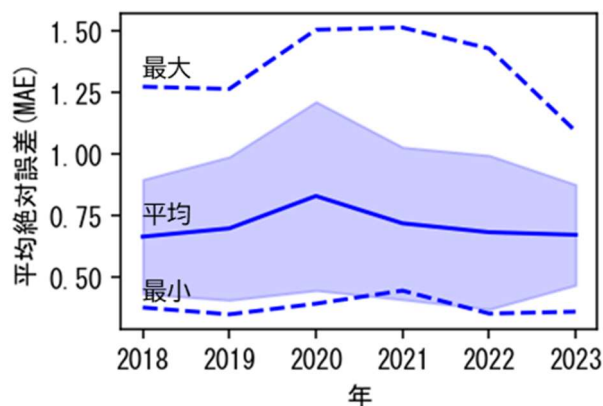


図3 WBGT 推計値の経年的な安定性

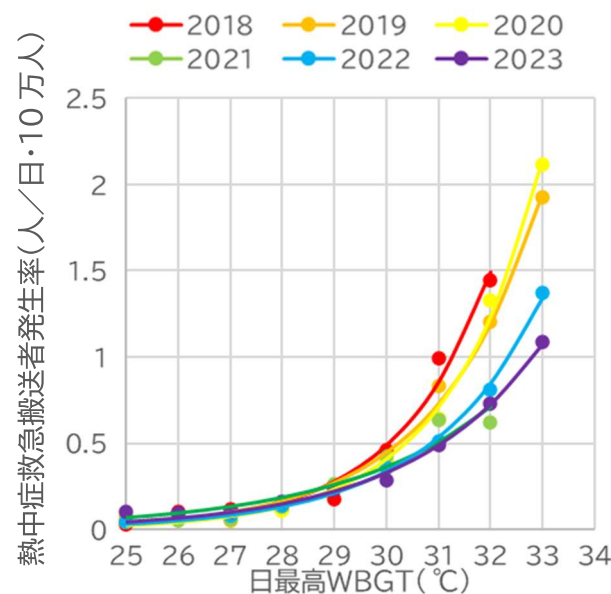


図4 熱中症救急搬送リスク経年比較  
(点：実測値、実線：予測式)

表 3 熱中症救急搬送者発生率が1となる日最高 WBGT (°C)

| 年                | 2018           | 2019          | 2020           | 2021           | 2022           | 2023           | 通算<br>(2018～2023) |
|------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 通年<br>(5/1～9/30) | 31.3           | 31.6          | 31.6           | 33.0           | 32.4           | 32.8           | 31.9              |
| 最低<br>(5/1～)     | 30.8<br>(7/27) | 31.3<br>(8/7) | 31.6<br>(8/25) | 31.2<br>(7/12) | 30.7<br>(6/28) | 31.5<br>(7/18) | 31.2              |

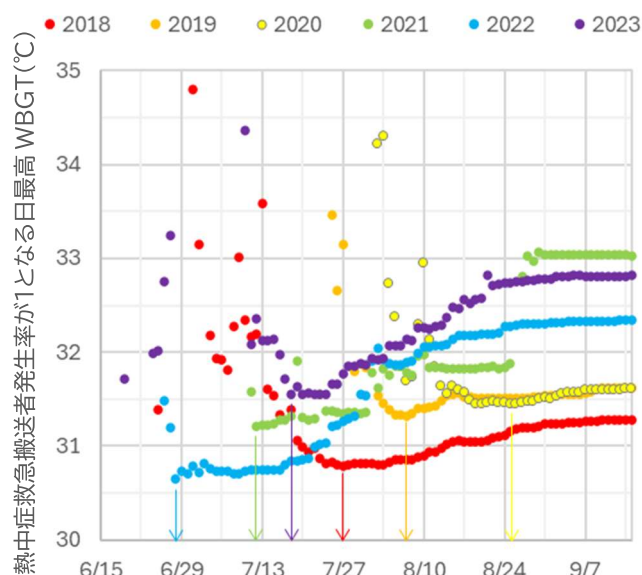


図 5 熱中症救急搬送リスクの変化

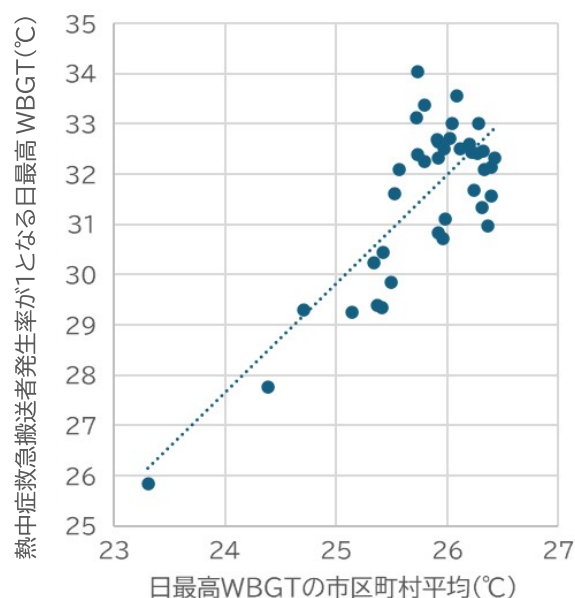


図 6 熱中症救急搬送リスクの地域差

表 3 に示すとおり、熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT が最も低くなる時期やその値は、年によって一定ではなく、通年(5/1～9/30)の場合に見られた 2021 年以降の熱中症救急搬送リスクの低下傾向もみられなかった。以上の結果から、気温や WBGT の日々の変化に伴う暑熱順化の進み具合は、年ごとに大きな違いがあると考えられる。

したがって、熱中症救急搬送者数の正確な予測のためには、WBGT 等の気象データから、暑熱順化の進行具合を考慮した予測モデルを作成することが重要であることが改めて明らかとなった。なお、年ごとの熱中症救急搬送リスクの違いは大きく、WBGT の変化の仕方も様々なため、普遍性を持った予測モデルを作成することが今後の課題である。

### 3. 3 熱中症救急搬送リスクの地域差

市区町村ごとに人口を重みづけした平均日最高 WBGT 推計値を算出したところ、神奈川県内においても 3°C 程度の隔たりがあり、同一県内に

においても地域によって暑熱環境が大きく異なることがわかる。

神奈川県内での熱中症リスクの地域差を検証するため、市区町村ごとの平均日最高 WBGT 推計値と熱中症救急搬送者発生率が 1 となる日最高 WBGT を比較した。その結果、図 6 に示すとおり、両者の間には正の相関関係(相関係数 0.79)があることが分かった。

以上のように、全国的に見れば比較的面積の小さい神奈川県においても、県内で熱中症救急搬送リスクに大きな違いが生じることから、熱中症リスクの詳細分析には、少なくとも市町村単位のデータを用いる必要があることが示唆された。

また、市町村単位又はそれ以下の地域単位の熱中症搬送者データや WBGT 推計データを用いることで、高齢化率などの脆弱性に関する統計データも考慮した分析が可能となることから、本研究による WBGT 分布推計手法は、より精緻な熱中症リスクの分析・可視化に有用であると考えられる。



#### 4 まとめ

公開されている気象データから、基準地域メッシュ（約 1km 四方）単位の WBGT の空間分布を推計する方法を確立した。WBGT 推計値と各市町消防本部から収集した熱中症救急搬送者データを紐づけ、日最高 WBGT に対する熱中症救急搬送リスクを分析した。その結果、指数関数型の予測式を作成した場合、暑熱順化の進み具合が年ごとに大きく異なるため、熱中症救急搬送リスクの詳細な分析のためには、暑熱順化を考慮した予測モデルが必要であることが分かった。

また、市区町村単位での熱中症救急搬送リスクの分析を行ったところ、県内でも日最高 WBGT の平均値は 3℃程度隔たりがあり、それに比例して熱中症救急搬送リスクが異なることが明らかとなった。

#### 謝辞

本研究の一部は気候変動適応に関する地域気候変動適応センター等との共同研究「気候変動による暑熱・健康等への影響に関する研究」の一環として実施した。本研究で使用した気温及び相対湿度は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が運営する農研機構メッシュ農業気象データシステムから、全天日射量は宇宙航空研究開発機構（JAXA）の分野横断型プロダクト提供サービス（P-Tree）から、熱中症救急搬送者の詳細データは各市町消防本部からそれぞれ提供を受けた。ここに深甚なる謝意を記す。

#### 参考文献

- 1) 気象庁:IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳(文部科学省及び気象庁), 4-7, 気象庁 (2021)
- 2) 気象庁:ヒートアイランド現象, [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index\\_himr.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index_himr.html)(参照 ; 2025.9)
- 3) 横浜地方気象・東京管区气象台: 神奈川県の気候変動, <https://www.data.jma.go.jp/tokyo/shosai/chiiki/kikouhenka/leaflet2025/pdf/kanagawa-l2025.pdf> (参照 ; 2025.9)
- 4) 消防庁: 熱中症情報, <https://www.fdma.go.jp/diasaster/heatstroke/post3.html> (参照 ; 2025.9)
- 5) OKA, Kazutaka, et al. : Prediction of climate change impacts on heatstroke cases in Japan's 47 prefectures with the effect of long-term heat adaptation, Environmental research, 232, 116390(2023)
- 6) Oka, K. and Hijioka, Y. : Prediction of the number of heatstroke patients transported by ambulance in Japan's 47 prefectures: proposal of heat acclimatization consideration, Environmental Research Communications, 3(12) , 125002( 2021)
- 7) 布施明, et al.: 気象データから熱中症救急搬送者数を予測する, 日本救急医学会雑誌, , 25(10), 757-765(2014)
- 8) 上野哲: 年齢と地域差が熱中症救急搬送時の気象条件に及ぼす影響, 工業技術, 46, 57-59(2024)
- 9) AKATSUKA, Shin, UNO, Tadashi, HORIUCHI, Masahiro: The relationship between the heat disorder incidence rate and heat stress indices at Yamanashi Prefecture in Japan, Advances in Meteorology, 2016(1), 9492815(2016)
- 10) 星秋夫, 稲葉裕, 村山貢司: 東京都と千葉市における熱中症発生の特徴, 日本生気象学会雑誌, 44(1), 3-11(2007)
- 11) 飯田涼太, et al: 大阪市における熱中症発症の実態, 千葉科学大学紀要, 9, 93-98(2016)
- 12) 河瀬玲奈, et al.: 熱中症搬送者数からみる気候変動影響評価の不確実性に関する考察, 土木学会論文集, 80(1), 23-00127(2024)
- 13) 小野雅司, 登内道彦: 通常観測気象要素を用いた WBGT (湿球黒球温度) の推定, 日本生気象学会雑誌, 50(4), 147-157(2014)