

WBGT 水平分布の推定と提供に関する研究

研究分担者 登内 道彦 一般財団法人気象業務支援センター 国際事業部部長

研究要旨：

日本における熱中症搬送者は WBGT と関連が深く、環境省「熱中症予防情報サイト」の約 840 か所の WBGT が良く利用されている。本研究は、同情報のベースとなる 5km メッシュの気象情報を、熱中症搬送者が急増した 2010 年以降について 5～10 月の期間整備し、疫学的な研究を行う際の参考として利用可能な情報を提供することを目的に、初年度に 2010～2022 年度メッシュ情報の整備を行い、2 年度目に、2023 年度データを追加した。また、2021 年から熱中症警戒アラートが開始され、さらに 2024 年度からは熱中症特別警戒アラートが実施されることから、県別のアラート基準、熱中症特別警戒アラートの対象となるイベントを予備的に解析した。

1. はじめに

環境省では「熱中症予防情報サイト」(2006 年～)において 11 都市の WBGT 実況値、約 830 地点の実況推定値や 3 日間の WBGT 予報を提供している。

実況推定値は、気象庁の大気毎時解析および数値予報の初期値・予測値を第一推定値として、気象庁の地方气象台やアメダスの観測値を用いて変分法により、再解析を行い、気温、湿度（または混合比）、日射量、風速の水平分布を求めることをベースにしており、この方法により WBGT の平面的な分布を推定することができる。

日本救急医学会の熱中症特別委員会では、各施設に搬送された患者の分析・統計を行っており、これらの基礎データで活用可能な WBGT の二次元分布を推定し、2022 年度の本研究で 2010～2022 年度の、2023 年度の本研究で 2023 年度の WBGT に関する 5km メッシュの情報を整備した。

これらのデータをクラウド上に整備し、研究等で参照されることの多い、アメダス地点の日最高 WBGT 値ファイルを作成した。

また、環境省と気象庁は、2021 年から都道府県のアメダス地点における WBGT 日最高予測値が 1 地点以上で 33℃を上回ると予想される日には、「熱中症警戒アラート」を

発表している。さらに環境省は 2024 年から、都道府県のアメダス地点における WBGT 予測値がすべての地点で 35℃を上回ると予想される日には、「熱中症特別警戒アラート」を発表することとしている。

「熱中症警戒アラートは、熱中症の危険性が極めて高くなると予測された際に、危険な暑さへの注意を呼びかけ、熱中症予防行動をとっていただくよう促すための情報」(環境省熱中症予防情報サイト)としているが、閾値となる WBGT 基準は現在は全国一律である。また、「熱中症特別警戒アラートは、過去に例のない危険な暑さであり、熱中症救急搬送者数の大量発生を招き、医療の提供に支障が生じるような、人の健康に係る重大な被害が生じるおそれがある場合に発表する」⁽¹⁾としており、「人の健康に係る重大な被害が生じるおそれ」の指標として、消防庁「熱中症搬送者」データと前述の 2010～2023 年 WBGT 値を用いて、「過去に例のない危険な暑さによる熱中症救急搬送者数の大量発生」の指標を予備的に分析した。

2. WBGT 水平分布の推定方法

WBGT⁽²⁾は、以下の式で定義される。

$$\text{WBGT } (^{\circ}\text{C}) = T_w \times 0.7 + T_g \times 0.2 + T_a \times 0.1 \quad (\text{式 1})$$

ここで、 T_w : 湿球温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 T_g : 黒球温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a : 乾球温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_w は、気温・湿度・気圧から求めることができ、 T_g は、気温・日射量⁽³⁾・風速から推定することができるので、WBGT の水平分布を求めるには、気温・風速・湿度・気圧・日射量の水平分布を求めれば良い。

気温・風速については、気象庁から「毎時大気解析」⁽⁴⁾ (気象庁数値予報データをアメダスなどの観測値を用いて再解析を行ったもの) が解像度 1km で提供されており、これを用いる。

湿度と日射量については、気象庁メソ数値予報モデル(MSM)⁽⁴⁾で、解析値、1時間毎の予測値が提供されており(解像度 5km)、この値を一次推定値とし、毎時大気解析の作成方法と同様に、アメダスなどでの湿度・日照時間の観測値を用いて変分法により再解析を行うことで湿度の水平分布を求める(気象庁からはさらに解像度の細かい LFM が提供されているが、過去 10 年程度遡ることができるよう、長期間のデータがある MSM を第一推定値としている)。

気圧については、湿度の計算の際に必要なとなるが、1hPa 程度違っていても計算結果にはほとんど影響を与えないことから、解析値または予測値をそのまま用いる。

3. 湿度の推定

湿度水平分布の推定は、最適内挿法と呼ばれる客観解析手法で求める。解析値は推定値(MSM の格子値を使う)を近くの観測値で修正して求められる。推定値 Z^P を、近くの観測点 i での観測値 Z_i^O とその点での推定値 Z_i^P との差(予報誤差)で修正し、格子点上にある物理量 Z^A の解析値を求めるのが最適内挿法であり、これは N 個の観測点に対して(式 2)で求める。

$$Z^A = Z^P + \sum_{i=1}^N w_i (Z_i^O - Z_i^P) \quad (\text{式 2})$$

w_i は重みで、近傍の信頼できる観測値の場合には 1 に近い値をとり、信頼性の低い観測値ならば 0 に近い値をとる。上の添え

字の A は解析値(Analysis)を、 P は推定値(予報値: Prediction)、 O は観測値(Observation)を表す。下の添え字の i は観測点の番号を、下に添え字のないのは格子点上の値を示す。 $(\sum w_i = 1$ とは限らない)ので、重み付平均とは異なる。

ここで、重み w_i は格子点での真の値を Z^T とすると、解析値と真の値との平均二乗誤差 I は(式 3)で表される。

$$I = \langle (\varepsilon^A)^2 \rangle = \langle (Z^A - Z^T)^2 \rangle \quad (\text{式 3})$$

この I を最小にするため、最小二乗法を用いて重み w_i を決定する。ここで $\langle \rangle$ はアンサンブル平均である。平均的誤差(バイアス)はないと仮定すると、(式 4)に示す N 元連立一次方程式が得られる。

$$\sum_{j=1}^N (\sigma_{ij}^P + \sigma_{ij}^O) w_j = \sigma_i^P \quad (\text{式 4})$$

ここで、 $i = 1 \sim N$ 。
 σ_{ij}^P : 観測点 i と j での予報誤差の共分散
 $\sigma_{ij}^P = \langle e_i^P e_j^P \rangle \quad e^P = Z^P - Z^T$
 σ_{ij}^O : 観測点 i と j での観測誤差の共分散
 $\sigma_{ij}^O = \langle e_i^O e_j^O \rangle \quad e^O = Z^O - Z^T$
 σ_i^P : 観測点 i と格子点での予報誤差の共分散

ここで、点 i と点 j との間の相関係数 μ_{ij} は分散、共分散を使って $\mu_{ij} = \sigma_{ij} / \sqrt{\sigma_{ii} \sigma_{jj}}$ のように書き表せる。最終的には σ_{ij}^P 、 σ_{ij}^O 、 σ_i^P などの共分散(まとめて σ と書く)を求め、 σ がわかれば w_i が求まり、解析値を求めることができる。ここで Z^T は未知であるが、 σ を統計的に求めることができる。

予報誤差の相関を表現する σ_{ij}^P 、 σ_i^P などの量は、実際の観測点の組について求めた統計量を用い、2点間の距離の関数でモデル化される。 σ_{ij}^O はデータ間の観測誤差の相関を表現する。一般に観測はお互いを参照することなく独立に行われるので、異なる観測データ間の観測誤差には相関がない。 σ により、観測点と格子点の距離、観測誤

差、観測点の不均質な分布等が重みの決定に関係してくる。即ち、格子点から遠い地点のデータの重み、信頼性の少ない観測データの重み、観測点がお互いに近い場合の重みはいずれも小さくなる。重み w_i が小さくなると i の観測による修正量は小さくなる。

観測点と格子点の距離は σ_i^p によって重みに反映される。例えばただ一つだけの観測 i があった場合、重みを求めるための方程式は(式5)となる。

$$(\sigma_i^p + \sigma_{ii}^o) w_i = \sigma_i^p \quad (式5)$$

格子点と遠くの地点 i の間では予報誤差の相関が小さいので σ_i^p が小さく重み w_i は小さい。格子点の周囲に観測データが全く無ければ、推定値がそのまま解析値になる。

4. 湿球温度の推定

湿球温度 T_w は、Iribarne J. V. and W. L. Godson (1981)⁽⁵⁾⁽⁶⁾による気温(T_a)、露点温度(T_d)、気圧(p)を用いた以下の方法により求める。

まず、 T_w の一次推定値 $T_{w(1)}$ を、(式6)により求める。

$$T_{w(1)} = (T_a \times f \times p + T_d \times s) / (f \times p + s) \quad (式6)$$

ここで、 $s = (e_s - e_d) / (T_a - T_d)$

$$e_s = \exp(C_0 - C_1 \times T_a - C_2 / T_a)$$

$$e_d = \exp(C_0 - C_1 \times T_d - C_2 / T_d)$$

$$C_0 = 26.66082, C_1 = 0.0091379024,$$

$$C_2 = 6106.396,$$

$$f = 0.0006355(K^{-1}) = C_p / (L \times \varepsilon), \varepsilon = 0.622$$

$$C_p = 1004 (JK^{-1}Kg^{-1}), L = 2.54 \times 10^6 (JKg^{-1})$$

次に、補正式により二次推定値 $T_{w(2)}$ を、(式7)により求める。

$$T_{w(2)} = T_{w(1)} - d_e / d_{er} \quad (式7)$$

ここで、

$$d_e = f \times p \times (T_a - T_{w(1)}) - (e_w - e_d)$$

$$d_{er} = e_w \times (C_1 - C_2 / T_{w(1)}) - f \times p$$

$$e_w = \exp(C_0 - C_1 \times T_{w(1)} - C_2 / T_{w(1)})$$

この補正を三次補正值まで繰り返すことで、 $0.1^\circ C$ 以内に T_w の推定値が収束するので、この収束した T_w を計算値として用いる。

なお、露点温度 $T_d(^\circ C)$ が求められていない場合については、乾球温度を $T_a(^\circ C)$ 、相対湿度を $H(\%)$ としたときの水蒸気圧 e の関係式、

$$H(\%) = e / e_s \times 100 \quad (式8)$$

$$\text{ここで、 } e = 6.1078 \times 10^{((T_d \times A) / (T_d + B))}$$

$$e_s = 6.1078 \times 10^{((T_a \times A) / (T_a + B))}$$

$$A = 7.5, B = 237.3 \quad (\text{水})$$

$$A = 9.5, B = 265.5 \quad (\text{氷})$$

を T_d について解いた(式9)により求める。

$$T_d = (-C_2 - C_3) / C_4 \quad (式9)$$

ここで、 $C_1 = \log_{10}(H/100)$ 、

$$C_2 = (T_a \times A \times B) / (B + T_a)$$

$$C_3 = C_1 \times B, C_4 = C_1 - A \times B / (B + T_a)$$

5. 日射量・黒球温度の推定

日射量については、対象地点における晴天日の全天日射量 $(S_0(W/m^2))$ としたとき、日照時間(分)から全天日射量 $S_1(W/m^2)$ を、以下の式で推定する(別調査による)。

$$S_1 = S_0 / c \quad (\text{sun}=0 \text{ のとき})$$

$$S_0 / \{1 + a \times \exp(-c \times \text{sun})\} \quad (\text{sun}=1 \sim 10 \text{ のとき}) \quad (式10)$$

係数、 a 、 b 、 c は地点によって異なるが、2009年の東京における値 $a = 1.3$ 、 $b = 0.19$ 、 $c = 4.0$ を用いる。

MSMでは日射量の解析値および予測値が提供されており、アメダス地点における日射量推定値(式10による)を用いて、湿度と同様に、最適内挿法により、日射量の推定値を求める。

次に、6観測点(東京・新潟・名古屋・大阪・広島・福岡)の2010年の観測データから求めた回帰式(式11)で、気温・日射量・風速から、黒球温度を推定する⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

$$T_g = T_a - 0.17 + 0.029 \times SR - 0.48 \times WS^{1/2} - 1.27 \times 10^{-5} \times SR^2 \quad (式11)$$

ここで、 T_g : 黒球温度($^\circ C$)、 T_a : 乾球温度($^\circ C$)、 SR : 全天日射量(W/m^2)、 WS : 風速(m/s)

6. システムの構築

図1は、2021年度の本研究で行った、消防庁発表の7~8月の熱中症搬送者総数(速報)と、6都市(東京・新潟・名古屋・大阪・広島・福岡)WBGT日最高値期間平均の関係であるが、2010年以降、熱中症搬送者は、7~8月の期間、毎年30,000人を超えており、それ2009年以前より、搬送者数が大きく増加している。



図-1 熱中症搬送者数と最高 WBGT 平均

また、前述の環境省「熱中症情報サイト」は、通常 5 月のゴールデンウィーク前から 10 月中旬まで運用されることから、熱中症による救急搬送者数が高い水準となった 2010 年以降について、5～10 月の 1 時間毎の気温・湿度・日射量・風速・気圧の水平分布値を算出した。

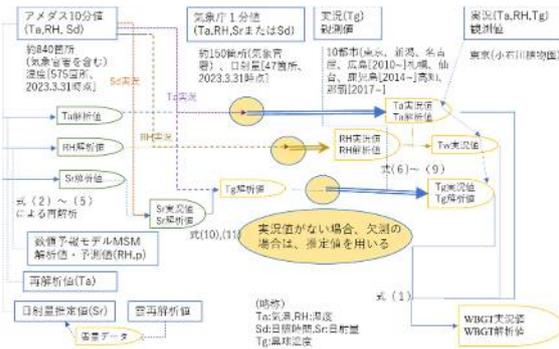


図 2 WBGT 水平分布図作成フロー

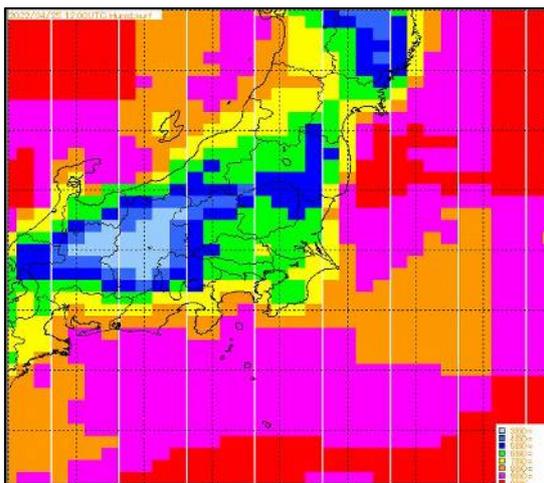


図 3 湿度再解析結果の例

水平分布の値は、観測地点から離れるとその精度が低下することから、約 840 地点

のアメダス観測点については、その観測値を用いて 1 時間ごとの WBGT を算出し、欠測等の場合は、水平分布値によりデータを補完した。2、3、4、5 項に記載の WBGT の算出方法をフローとして図 2 に、湿度の再解析の例を図 2 に示した。また、最も利用の多い、約 840 地点のアメダス地点における日最高 WBGT 値を、地点ごとの CSV ファイルとして整備した。なお、元となる気象庁データは、気象業務支援センター配信事業部より振興事業部が購入しているデータを用いた。

7. 搬送者増加の県別閾値

2021 年に開始された「熱中症警戒アラート」は、都道府県内のアメダス観測所における翌日の WBGT 予測値が 33°C を上回る

| 2018-22 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 北海道 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | |
| 青森県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 1.1 | | | |
| 岩手県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | | |
| 宮城県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.1 | 1.3 | | |
| 秋田県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | 1.6 | | |
| 山形県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 1.1 | 1.5 | | |
| 福島県 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.2 | 1.7 | |
| 茨城県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2.1 |
| 栃木県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.2 | 1.7 |
| 群馬県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 1.5 | 2.3 |
| 埼玉県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.3 | 2.1 |
| 千葉県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 1.3 |
| 東京都 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 1 | |
| 神奈川県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 1 | |
| 新潟県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1.3 | 1.5 |
| 富山県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | | |
| 石川県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1.2 | 1.6 | | |
| 福井県 | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.2 | 1.3 | |
| 山梨県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.5 | |
| 長野県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 1 | 1.5 | | |
| 岐阜県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 1 | 1.5 | 2.2 | |
| 静岡県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.5 | |
| 愛知県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.9 | 1.3 | 1.8 |
| 三重県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1.7 | |
| 滋賀県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 1 | 1.7 | |
| 京都府 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 1.5 | |
| 大阪府 | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 1.2 | 1.4 | |
| 兵庫県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1 | 1.7 |
| 奈良県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | |
| 和歌山県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 1 | 1.2 | 1.3 |
| 鳥取県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.4 | 1.7 | | |
| 島根県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.4 | 1.8 |
| 岡山県 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.8 | |
| 広島県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.3 | |
| 山口県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.3 | |
| 徳島県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1 | 1.4 | |
| 香川県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | |
| 愛媛県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.1 | 1.6 |
| 高知県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.4 |
| 福岡県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 1.2 | 1.4 |
| 佐賀県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 1.1 | 1.7 | |
| 長崎県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | |
| 熊本県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 1.3 | 1.6 |
| 大分県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 1.4 | |
| 宮崎県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | 1.4 |
| 鹿児島県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 1.1 | 1.6 |
| 沖縄県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | |

図 4 WBGT 温度帯別平均搬送者数

日最高 WBGT の各都道府県最高値の温度帯別の 10 万人当たりの平均日別搬送者(6 例以上)、2018～2022 年 5～9 月の日別値による。

| 2018-22 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 北海道 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 1.1 | | | | | |
| 青森県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 1.1 | |
| 岩手県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1 | 1.2 | 1.2 |
| 宮城県 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.1 | 1.3 |
| 秋田県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | 1.6 |
| 山形県 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 1.1 | 1.5 | |
| 福島県 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.2 | 1.7 |

図5 WBGT 温度帯別平均搬送者数(札幌)

日最高 WBGT 都道府県最高値の温度帯別の 10 万人当たりの平均日搬送者数(4 事例以上)。2018～2022 年 5～9 月の日別値による。北海道については札幌の日最高 WBGT。

と予想されるときに発表されるが、熱中症搬送者と暑さの関係は、地域別に異なると考えられる。

本研究で、2018～2022 年の 5～10 月について、各地点の日最高 WBGT と、消防庁「熱中症搬送者情報」⁽¹⁰⁾の日別年齢別・重症度別・府県別搬送者数、2020 年度国勢調査結果(総務省)の年齢 3 区分・都道府県別人口⁽¹¹⁾を用いて、都道府県別に、日別・都道府県最高 WBGT (都道府県内の最高値)、日別の都道府県別・年齢区分別搬送者、および、令和 2 年の人口を用いて計算した、人口 10 万人当たりの搬送者数を都道府県別に求め、分析を行った。

各都道府県の日別都道府県最高 WBGT と 10 万人当たりの日別搬送者数について、WBGT1℃毎の平均値を求め、図4に示した。

熱中症警戒アラートの発表基準となっている WBGT33℃では、関東以西では、多くの都道府県で、人口 10 万人当たり搬送者数が「1.0 人」を超えている。

都道府県別にみると、北日本では WBGT ランクが低くても 10 万人当たりの搬送者数が「1.0 人」を超えている県が多く、「熱中症の危険性が極めて高くなる WBGT 値」は、地域によって異なっている。

熱中症は、体が高温にさらされて発症すし、WBGT 値のみで説明できる単純なものではないこと、高温時は、「関東平野」など、ある程度の広さを持った範囲で、危険な高温が出現することから、閾値の目安は、エリア(地方)単位で検討するのが妥当と考え、図4に、地勢的なエリアを考慮して、人口 10

万人あたり「1.0 人」を超える「熱中症警戒アラート」のおおまかな目安を「赤枠」で示した。

5 年間(2018～2022 年)の分析結果では、関東・東海・近畿・中国四国・九州は WBGT33℃、東北・北陸は WBGT32℃が目安と考えられる。沖縄については、人口 10 万人あたり「1.0 人」を超えるランクはない。

また、「鳥取県」は WBGT31℃で「1.0 人」を超えているが、WBGT 県別最高値は、県の面積が広く地点数の多い県では高くなる傾向があり、9 地点の「鳥取県」は 16 地点の「島根県」より低くなっている可能性もあり、さらに検討する必要がある。

なお、「北海道」は WBGT33℃の人口 10 万人当たりは「0.7 人」で、東北各県より閾値が高いように見えるが、「北海道」のアメダス地点数は全国最多の 163 地点で、「WBGT」を府県最高でなく、札幌の最高値を参照した図5では、WBGT28℃で人口 10 万人当たり「1.0 人」を超える。

8. 熱中症搬送者の大量発生

2021 年の本研究では、全国の搬送者数と 6 都市平均 WBGT の関係を分析すると、(i)WBGT31℃を超えるような厳しい暑さが 5 日程度続くと搬送者が急に増加し、(ii)暑い日が 7 月など夏の早い時期に現れると、さらに搬送者が増加することが示された。

「熱中症特別警戒アラート」は、「過去に例のない危険な暑さによる熱中症救急搬送者数の大量発生」が予想されるときに発表することを想定しており、「①過去に例のない搬送者数となった、2010 年、2018 年のピークを的確に抽出でき、それらよりも小さなピークは抽出されない条件」を検討する必要がある。また、一般的には暑さのピークが繰り返し現われても、「②2 回目、3 回目のピークでは、暑熱順化などにより、同じ WBGT でも搬送者は少なくなる傾向にある」ことが知られている⁽¹²⁾。

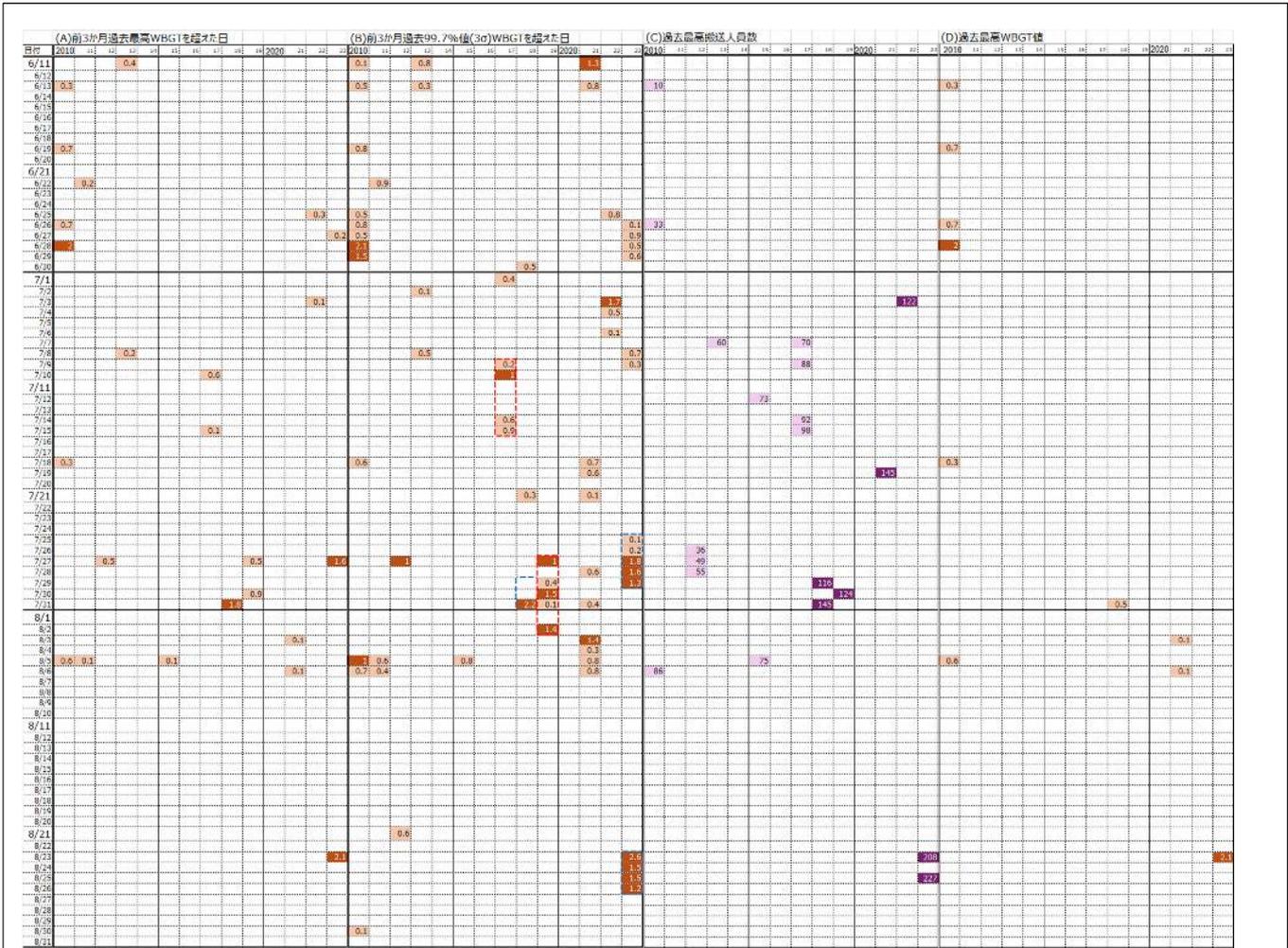


図7 過去に例のない暑さと搬送者数過去最大（札幌）

左から、(A)前3か月期間最高値、(B)前3か月3σ値、(C)搬送者数最大、(D)過去最高値を超えた日
 数字は、当日値と閾値の差（例：[1.0]：当日値が過去最高値を1.0上回ったことを示す）

期間(3)は、関東甲信地方の梅雨明け6月29日（*のちに気象庁は7月23日に修正）後の高温を抽出するが、ほぼ全国的に梅雨明けとなり、東京でも搬送者が増加した、(3)のピークとは合致しない。また、(1)(2)は抽出できない。

(B)WBGTの条件を前3か月期間3σ値とし、「過去に例のない危険な暑さ」を、期間に含まれる日数5日以上とすると（左から2列目）、「2010年7月20~24日」「2015年7月19~27日」「2018年6月25~7月3日」「2018年7月14~21日」「2020年6月9~15日」「2020年8月10~17日」「2022年6月24日~7月2日」「2022年7月29日~8月3日」「2023年7月7~16日」が抽出され、搬

送者の(1)(3)(4)のピークは抽出されるが(2)は抽出されない。

(B)の前3か月3σ値5以上の条件では、最高値のみでは抽出できなかった(3)の期間も含め、(1)(3)(4)の期間を抽出できるが、搬送者数が過去最高に達しない期間も含まれてしまう。

WBGT実況値は2006年以降、熱中症搬送者データは2008年以降（2008~2009年は7~9月）であることを考慮し、10年のデータが揃っていない2015年以前を除くと、前3か月期間最高値あるいは前3か月3σ値を上回る高温が継続する期間は、「過去に例のない危険な暑さによる熱中症救急搬送者数の大量発生」の目安になる可能性がある。

9. 2023年夏の暑さと熱中症搬送者

2023年夏(6~8月)の平均気温は、1898年以降で夏として最も高く、特に北日本では平年(1991~2020年平均)を3.0°C上回る記録的な暑さとなった。7月下旬の梅雨明けから、厳しい暑さが、ほぼ休みなく続いたのが特徴で、2018年や2020年のように、全国の日最高気温の高い記録が更新されることはなかったが、東京の猛暑日は22日(16日:2022年)、熱帯夜は57日(56日:2010年)、金沢の猛暑日は20日(11日:2022年)、熱帯夜は52日(44日:2010年)(括弧内はこれまでの最高)であった。

消防庁による熱中症による救急搬送者状況では、搬送者数は91,467人で、2018年の95,137人に続き第2位となった。また、2017~2023年の県別搬送者数を比較すると、北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、新潟県、富山県、石川県、福井県、鳥取県、佐賀県で、これまで最も多かった2018年を上回り最多となった。

2014年以降WBGT実測観測が行われている札幌では、これまでの最高WBGT31.2°C(2021/8/6)を、8月下旬になって、4日続けて上回り、8月23日はこれまでの最高値を2.1°C更新する33.3°Cとなり、北海道では過去に例のない暑さだった。

前項に示した解析を、札幌のWBGTおよび北海道の搬送者について実施し図7に示した。前3か月3σ値の連続期間で抽出された期間は、2018年以降の搬送者数の最大値が記録された期間をほぼカバーするが、暑さの期間の継続が東京より短いため、3か月最高値が3日以上継続する期間はなかった。

図8に、北海道・秋田県の2023年の毎日の搬送者数、高齢者の搬送者数、搬送者に占める高齢化率を示した。

北海道では、8月下旬の暑さのピークで搬送者最高値が記録され、日を経るにしたがって高齢者率が高くなった(東京等で梅雨時の急な暑さで見られる変化に類似)。また、秋田県でも8月後半の同期間に搬送者のピークを記録しており、例年それほど暑さが厳しくない地域では、夏の後半でも過去に例のない暑さにより、搬送者が大量になると考えられる(高齢者率の逐次増加は、8月

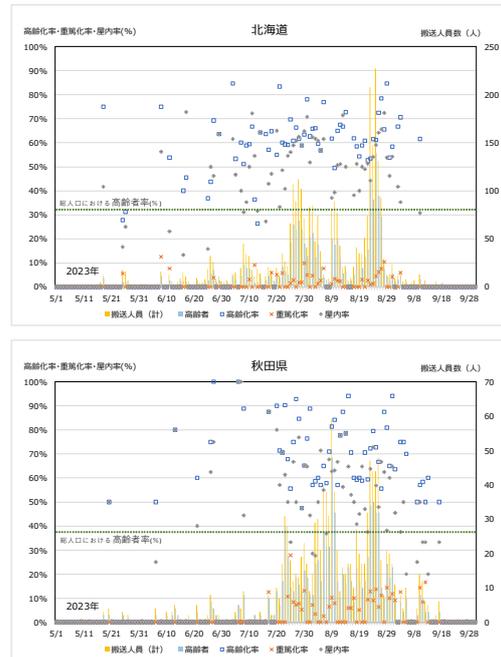


図8 熱中症搬送者と高齢化率

初旬のピークでは高齢者率の逐次増加が見られたが、下旬は高齢化率は期間を通じて高かった)。

10. 参考文献

- (1) 環境省: 熱中症特別警戒情報等の運用に関する指針, https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/doc_shsa/20240227_doc01.pdf (2024.3.28 閲覧)
- (2) Yaglou, C.P. and Minard, C.D.: Control of casualties at military training centers, AM. Med. Ass. Archs. Ind. Health 16, 302-306, 1957.
- (3) 近藤 純正: 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—, 1994
- (4) 気象庁: 配信資料に関する技術情報第196,205,247号
- (5) Huschke R. E, 1959: Glossary of Meteorology. American Meteorological Society, 638 pp.
- (6) (5) Iribarne, J. V., and W. L. Godson, 1981: Atmospheric Thermodynamics. 3rd ed. D. Reidel, 259 pp.
- (7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構・日本気象協会: 太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発(1996)
- (8) 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
- (9) Michihiko T., Masaji O. and Kouji M.:
Heat Stroke Information in Japan, 12th.
International Congress of Biometeorology,
2014,<https://ams.confex.com/ams/ICB2014/webprogram/Paper252939.html>
(2023.3.11 閲覧)
- (10) 消防庁：令和2年国勢調査令和2年国
勢調査調査の結果,
<https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/post4.html> (2023.3.28 閲覧)
- (11) 総務省：熱中症のデータ一
覧,<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2020/kekka.html> (2024.3.28 閲覧)
- (12) 環境省：熱中症環境保健マニュアル
2022,
https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatliness_manual_full.pdf (2024.3.28 閲覧)

F. 研究発表

1. 論文発表

論文発表なし

2. 学会発表

- ・登内道彦：高湿化する夏と2022年の熱中症搬送者, 日本生気象学会大会(2022年11月12日), 日本生気象学会雑誌59(2), s38, 2022
- ・登内道彦：2023年の夏と熱中症搬送者数, 日本生気象学会大会(2023年11月19日), 日本生気象学会雑誌60(2), s54, 2023

G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

特許取得なし

2. 実用新案登録

実用新案登録なし

3. その他

そのほかの知的所有権取得なし