

現在の暑さ指数（WBGT）について

1. 暑さ指数（WBGT）【実況値※】の算出方法について

- 環境省にて提供している暑さ指数（WBGT）の算出方法は4通り
 - 実測値（11地点）—黒球温度を測定
 - 実況推定値—湿度あり、日射量あり（44地点）
 - 実況推定値—湿度あり、日射量なし（98地点）
 - 実況推定値—湿度なし（687地点）

※実況値＝実測値及び実況推定値

2. 暑さ指数（WBGT）【予測値】の算出方法について

- 気象庁数値予報による予測
- 実況データによる修正 —直近の時刻を上書き修正

3. 実況値と予測値の差

- 各地点の地形や立地条件によって差が見られる

4. 暑さ指数（WBGT）を用いた指針について

- 運動に関する指針（日本スポーツ協会）
 - 暑さ指数（WBGT）31℃以上を「運動は原則中止」
- 日常生活に関する指針（日本生気象学会）
 - 暑さ指数（WBGT）31℃以上を「危険」
- 身体作業強度等に応じた WBGT 基準値（厚生労働省）
- 農作業と暑さ指数について（農林水産省）

＜現時点の暑さ指数（WBGT）公表までの流れ＞



WBGT（暑さ指数）算出手法別 地点名・地点数

WBGT（暑さ指数）の実況値について

	観測値	推定値	地点数	北海道	東北	関東甲信	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州	沖縄
実測値 (手法1)	気温、相対湿度、黒球温度		11	札幌	仙台	東京	新潟	名古屋	大阪	広島	高知	福岡、鹿児島	那覇
実況推定値 (手法2)	気温、相対湿度、全天日射量、風速		44	旭川、網走、浦河、帯広、根室、函館、稚内、室蘭(8)	青森、秋田、酒田、福島、盛岡、山形(6)	宇都宮、大島、甲府、つくば、父島、銚子、八丈島、前橋(8)	富山、福井、輪島(3)	静岡(1)	潮岬、奈良、彦根、舞鶴(4)	下関、松江、山口(3)	高松、松山(2)	厳原、大分、熊本、佐賀、長崎、名瀬、宮崎(7)	宮古島、石垣島(2)
実況推定値 (手法2')	気温、相対湿度、日照時間、風速		98	岩見沢、江差、雄武、小樽、北見枝幸、釧路、倶知安、寿都、苫小牧、羽幌、広尾、紋別、留萌(13)	石巻、大船渡、小名浜、白河、新庄、八戸、深浦、宮古、むつ、若松(10)	飯田、勝浦、軽井沢、河口湖、熊谷、諏訪、館山、秩父、千葉、長野、奥日光、松本、水戸、三宅島、横浜(15)	相川、金沢、高田、敦賀、伏木(5)	網代、伊良湖、石廊崎、上野、御前崎、尾鷲、岐阜、高山、津、浜松、三島、四日市(12)	京都、神戸、洲本、豊岡、姫路、和歌山(6)	岡山、呉、西郷、境、津山、鳥取、萩、浜田、福山、米子(10)	宇和島、清水、宿毛、多度津、徳島、室戸岬(6)	阿久根、油津、飯塚、牛深、雲仙岳、沖永良部、佐世保、種子島、延岡、日田、人吉、平戸、福江、枕崎、都城、屋久島(16)	西表島、久米島、名護、南大東、与那国島(5)
実況推定値 (手法3)	気温、日照時間、風速	相対湿度	687	140	129	94	46	49	48	59	34	80	8

環境省にてデータ観測している範囲

		黒球温度	気温	湿度	気圧	全天日射量	日照時間	風速	数値予報
実測値	1 (東京) 手法1	環境省にてデータ観測				データ使用無			
	10 手法1								
実況推定値	44 手法2	データ使用無							
	98 手法2'								
	687 手法3		他地点の湿度使用						
	計840								

2. 2 WBGT 実測値・実況推定値・予測値の提供

(1) WBGT 実測値・実況推定値の算出と公開

平成 24 年度までの業務において、WBGT および黒球温度の推定方法の検討を行い、WBGT 実況情報および予測値の精度向上を図ってきたが、これらの精度向上を受けて、以下 3 つの方法により、業務成果に基づいた WBGT 情報等の公開を、平成 25 年度から行っている。

- ① 11 地点で観測した黒球温度、及び気象台で観測される気象要素（気温、湿度、風速、気圧）を用いて WBGT 実測値を算出した。（以下の（ア））
- ② 143 地点の気象台について、観測される気象要素（気温、湿度、風速、日射量）を用いて WBGT 実況推定値を算出した（資料 C-6 参照）。（イ）
- ③ 840 地点のうち上記①、②を除くアメダス観測点について、最適内挿法（詳細は 28-30 頁を参照）を用いた湿度等の内挿により WBGT 実況推定値を算出した。（ウ）

(ア) WBGT 実測値の算出

2.1(4)で構築した WBGT 観測ネットワーク（図 2-3）を利用し、札幌・仙台・新潟・東京・名古屋・大阪・広島・高知・福岡・鹿児島・那覇の黒球温度等を収集し、別途収集した気象庁の気象観測資料から、乾球温度、湿球温度を計算のうえ WBGT を計算した。

$$\text{WBGT (}^{\circ}\text{C)} = T_w \times 0.7 + T_g \times 0.2 + T_a \times 0.1 \quad (\text{式 2.1})$$

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（ $^{\circ}\text{C}$ ）

湿球温度 T_w は、Iribarne J. V. and W. L. Godson (1981) 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、以下の式により求める。

$$T_{w(1)} = (T_a \times f \times p + T_d \times s) / (f \times p + s) \quad (\text{式 2.2})$$

ここで、 $s = (e_s - e_d) / (T_a - T_d)$

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

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

$$C_0 = 26.66082, C_1 = 0.0091379024, C_2 = 6106.396$$

$$f = 0.0006355(\text{K}^{-1}) = C_p / (L \times \varepsilon), C_p = 1004 (\text{JK}^{-1}\text{Kg}^{-1})$$

$$L = 2.54 \times 10^6 (\text{JKg}^{-1}), \varepsilon = 0.622$$

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

$$T_{w(2)} = T_{w(1)} - d_e / d_{er} \quad (\text{式 2.3})$$

ここで、 $d_e = f \times p \times (T_a - T_w) - (e_w - e_d)$

$$d_{er} = e_w \times (C_1 - C_2 / T_w^2) - f \times p$$

この補正を三次補正值まで繰り返すことで、0.1℃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。

この計算に当たって、露点温度 T_d (℃) は、乾球温度を T_a (℃)、相対湿度を H (%)としたときの水蒸気圧 e の関係式、

$$H(\%) = e / e_s \times 100 \quad (\text{式 2.4})$$

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

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

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

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

を T_d について解いた次式により求める。

$$T_d = (-C_2 - C_3) / C_4 \quad (\text{式 2.5})$$

$$\text{ここで、 } C_1 = \log_{10}(H/100), C_2 = (T_a \times A \times B) / (B + T_a)$$

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

この条件下での WBGT 実測値の算出の流れを図 2-5 に示す。

(手法 1)

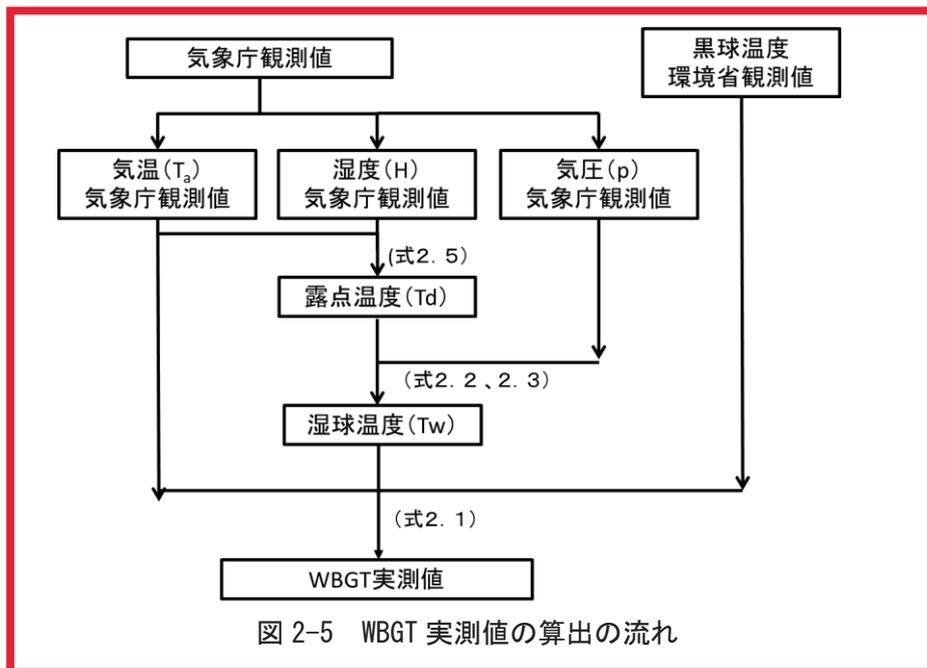


図 2-5 WBGT 実測値の算出の流れ

(イ) 湿度の観測がある地点での WBGT 実況推定値の算出

－湿度と全天日射量の観測がある地点－

平成 25 年度から、これまでの業務成果に基づき通常的气象要素を用いて WBGT を算出する手法を導入したが、その方法は以下のとおり。

WBGT は、乾球温度 (T_a , ℃)、相対湿度 (H , %)、全天日射量[前 10 分間平均] (SR , kW/m^2)、平均風速 (WS , m/s) 及びそれらの組み合わせを用いた以下の式により求める。

$$WBGT = 0.735 \times T_a + 0.0374 \times H + 0.00292 \times T_a \times H + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064 \quad (\text{式 2.6})$$

なお、平成 24 年度までの計算手法は、以下のとおり。

全 6 観測点の 2010 年の観測データから求めた回帰式(2.7)を用いる。

$$T_g = T_a - 0.17 + 0.029 \times SR - 0.48 \times WS^{1/2} - 1.27 \times 10^{-5} \times SR^2 \quad (\text{式 2.7})$$

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

気象庁の観測点のうち、表 2-8 に示す气象台や特別地域気象観測所では、全天日射量の観測を行っており、全天日射量の観測値と式(2.6)を用いて WBGT の推定を行う。

(手法 2)

この条件下での WBGT 実況推定値の算出の流れを図 2-6 に示す。

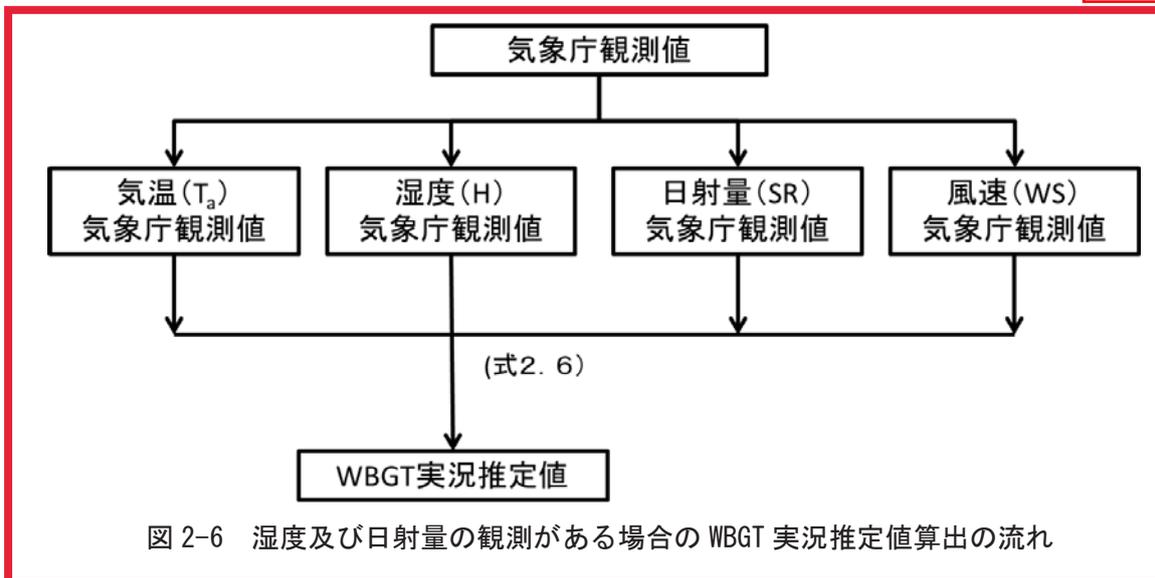


図 2-6 湿度及び日射量の観測がある場合の WBGT 実況推定値算出の流れ

表 2-8 全天日射量等を用いて WBGT を推定した地点 (2019 年)

<u>実測観測点 (黒球温度測定により、全天日射の効果を取り入れている)</u>								
札幌	仙台	新潟	東京	名古屋	大阪	広島	福岡	鹿児島
高知	那覇							
<u>日射量により WBGT を推定した地点</u>								
稚内	旭川	網走	帯広	根室	室蘭	浦河	函館	青森
秋田	盛岡	酒田	山形	福島	輪島	富山	宇都宮	福井
前橋	甲府	つくば(館野) (※)	銚子	静岡	大島	八丈島	松江	
舞鶴	彦根	下関	潮岬	奈良	山口	巖原	佐賀	大分
長崎	熊本	宮崎	松山	高松	名瀬	石垣島	宮古島	父島

(※) 「つくば」は気象庁ホームページでは「つくば(館野)」と表記される場合もある。

－湿度の観測はあるが全天日射量の観測がない地点－

また、全天日射量を観測していない地点においては、平成 21 年度の業務で、日照時間から全天日射量を推定し、さらに黒球温度を推定する方法でも、ある程度の精度で WBGT を推定することができるが示されている。

これらの地点については、資料 C-3 の式により計算した対象地点における晴天日の全天日射量を $S_0(W/m^2)$ としたとき、日照時間 sun (分) から全天日射量 $S_1(W/m^2)$ を、以下の式で推定する。

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

$$S_0 / \{1 + a \times \exp(-b \times \text{sun})\} \quad (\text{sun}=1 \sim 10 \text{ のとき}) \quad (\text{式 2.8})$$

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。

この条件下での WBGT 実況推定値の算出の流れを図 2-7 に示す。

(手法 2')

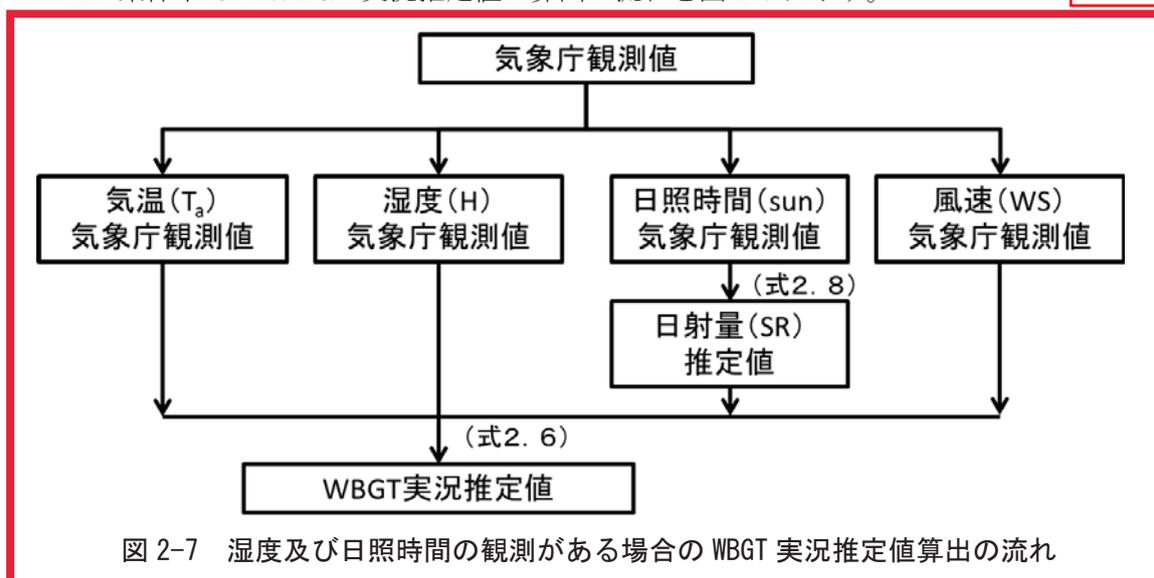


図 2-7 湿度及び日照時間の観測がある場合の WBGT 実況推定値算出の流れ

(ウ) 湿度の観測がない地点での WBGT 実況推定値の算出

153 地点の气象台・特別地域気象観測所を除くアメダス観測地点（気温・日照時間を観測しているのは 840 箇所）では、湿度を観測していない。これらの地点における湿度を、MSM（メソスケールモデル、表 2-9 参照(33 頁)）の面的な湿度の値と全国 154 箇所の湿度観測データを用いた最適内挿法により推定することについて、平成 24 年度業務において検討した。その推定方法は、以下のとおり。

客観解析手法として導入した最適内挿法では、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。格子点上の推定値 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下式のようなものである。

$$Z^A = Z^P + \sum_{i=1}^N w_i (Z_i^O - Z_i^P) \quad (\text{式 2.9})$$

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 2.10)で表される。

$$I = \langle (\varepsilon^A)^2 \rangle = \langle (Z^A - Z^T)^2 \rangle \quad (\text{式 2.10})$$

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、次のような N 元連立一次方程式が得られる。

$$\sum_{j=1}^N (\sigma_{ij}^P + \sigma_{ij}^O) w_j = \sigma_i^P \quad i = 1 \sim N \quad (\text{式 2.11})$$

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。例えばただ一つの観測 i があつた場合、重みを求めるための方程式は次のようになる。

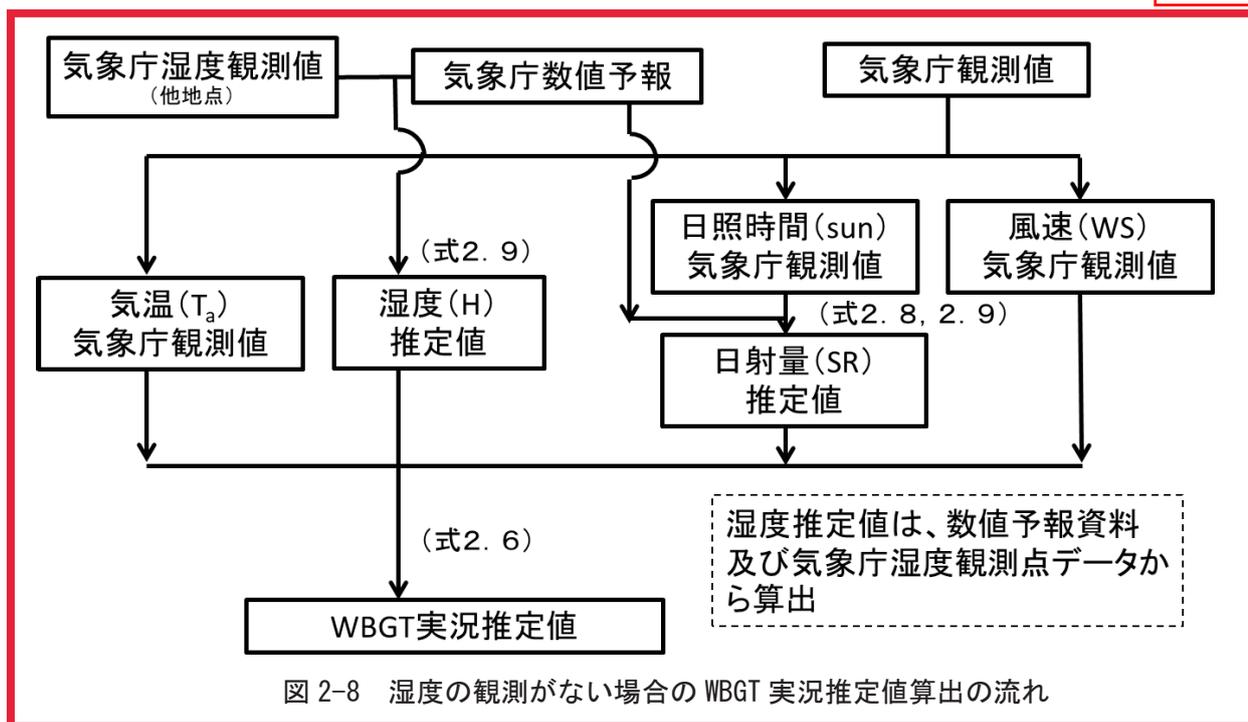
$$(\sigma_{jj} + \sigma_{ii}^o) w_i = \sigma_i^p \quad (\text{式 2.12})$$

格子点と遠くの地点 i と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。

湿度の観測値がないアメダス地点においては、この最適内挿法を用いて湿度の平面分布を推定しアメダス地点における湿度を推定した。また日射量は、アメダス地点における日照時間と近傍地点における日照時間と日射量の関係をもとに、式(2.8)と式(2.9)を用いて推定した。

この条件下(湿度観測がない場合)での WBGT 実況推定値の算出の流れを図 2-8 に示す。

(手法 3)



(エ) WBGT 実測値・実況推定値の公開

計算した WBGT 実測値、および全日日射量、日照時間、最適内挿法を用いて推定した WBGT 実況推定値は、2019 年 4 月 19 日から 10 月 14 日までの期間、熱中症情報サイトに提供し公開された (図 2-9)。また、利用者からの要望に応え、屋外での積極的な活用を目的に、スマートフォンサイト、携帯電話サイトでの情報提供も行った。本年度の WBGT 実測値および実況推定値の提供地点は 840 地点であった。

図 2-9(a) WBGT 実測値・実況推定値の公開例 (トップページ)

(2) WBGT 予測値提供システムの構築・WBGT 予測値の算出と公開

WBGT 予測値作成のため必要となる情報を取得するため、図 2-10 に示すネットワークを構築した。WBGT 予測値は、熱中症予防情報サイト運用業務の請負者に、固定 IP 間のインターネット回線を用いたデータ通信で、情報提供を行った（図 2-4 のネットワークを利用）。WBGT 予測値データの提供は、2019 年 4 月 19 日～10 月 14 日の期間実施した。WBGT 予測値の計算に用いた資料については表 2-9 に示した。

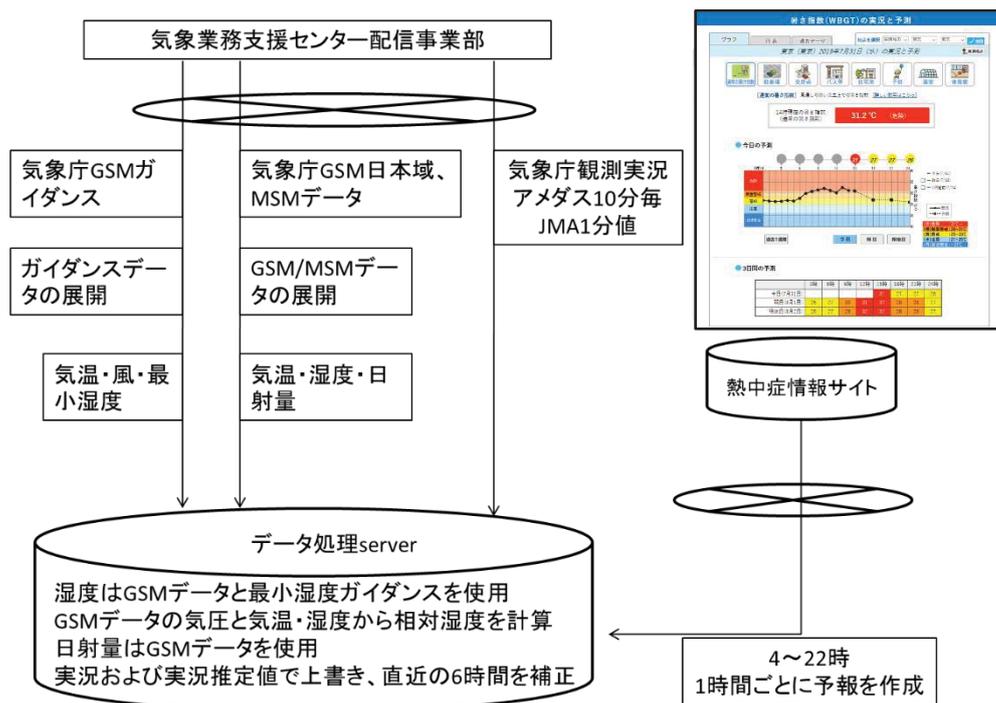


図 2-10 WBGT 予測値作成の概略

表 2-9 WBGT 予測に使用したデータ

データの種類	配信間隔	備考
気象官署観測値 (1 分値)	1 分毎	JMA 1 分値
GPV*1 データ (GSM 日本域)	4 回/日	GSM 日本域
GSM*2 ガイダンス (地点形式)	4 回/日	GSM ガイダンス
GSM ガイダンス (格子形式)	4 回/日	GSM ガイダンス
アメダス観測値	10 分毎	アメダス
メソモデル GPV データ (MSM*3)	8 回/日	MSM
MSM ガイダンス*4 (地点形式)	8 回/日	MSM ガイダンス
MSM ガイダンス (格子形式)	8 回/日	MSM ガイダンス
毎時大気解析 GPV	1 時間毎	再解析値
WBGT 実況値・実況推定値	1 時間毎	

表 2-9 つづき (表 2-9 注釈)

*1 GPV : 数値予報格子点データ (Grid Point Value の略)。

格子点の周りの平均値 (水平方向の平均値) が、格子点の値として提供される (数値予報の概要については、気象庁下記ホームページを参照)。

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2013-nwp/index.htm>

*2 GSM : 全球モデル (Global Spectral Model の略)。

地球全体を、約 20km の規則正しく並んだ格子 (メッシュ) で区切り、この格子点の気圧、気温、風などの値を、コンピューターを使って計算する。予報は 1 日 4 回 (21 時の初期値は 264 時間先、その他は 132 時間先まで) 計算される (GSM の概要については、気象庁下記ホームページを参照)。

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-5.html>

*3 MSM : メソモデル (Meso-Scale Model の略)。

日本付近を、約 5km の規則正しく並んだ格子 (メッシュ) で区切り、この格子点の気圧、気温、風などの値を、コンピューターを使って計算する。予報は 1 日 8 回 (39 時間先まで) 計算される (MSM の概要については、気象庁下記ホームページを参照)。

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-6.html>

*4 ガイダンス : 数値予報は格子点の周りの平均的な値として出力されるため、ある地点で比べるとその地点の値と誤差が生じる。この誤差を統計的な手法により補正し、特定の地点で予測される気温などを提供されており、統計的な手法により補正された予報データをガイダンスと呼ぶ。ガイダンスには、特定の地点の予報値を提供する地点形式ガイダンス (気温、風向・風速、湿度) と、GPV で提供されない格子点予測値 (天気や降水確率など) を提供する格子点ガイダンスがある。

(ア) WBGT 情報作成のためのデータ処理

WBGT 実況値の計算・推定については前項(2.2(1))の式(2.1)～(2.6)によるが、WBGT 予測値を作成するためには図 2-11 に示すように、気象庁の数値予報データ (GSM 日本域および MSM)、および、ガイダンスデータから、気温、湿度、風速、日射量、気圧のデータを対象とする地点ごとに抽出する必要がある。GPV 数値予報データやガイダンスは「国際通報式 GRIB2」等のフォーマットで配信される。配信されたデータは、気象庁が発行する「配信資料に関する技術情報」を参考資料としてデータ展開し計算に用いた (同技術資料については DVD に資料 C-5 として収録した)。

表 2-10(a) 数値予報データの入電時間

初期値	ガイダンスデータ	GSM-GPV(日本域)
日本時間 9 時 (00UTC) ¹	13 時頃	13 時頃
日本時間 15 時 (06UTC)	19 時頃	19 時頃
日本時間 21 時 (12UTC)	1 時頃	1 時頃
日本時間 3 時 (18UTC)	7 時頃	7 時頃

数値予報データ等は、通常表 2-10(a)に示す時間に入電するが、システム障害などによりデータが遅延する場合があります。初期値の違いにより予報が大きく異なった場合、予測誤差が大きくなること、数値予報およびガイダンス予報のデータの初期時刻が異なっていると時刻の不整合や予測値提供期間の不一致を修正するための処理が煩雑になることから、入電時刻から 2 時間程度余裕を設け、それぞれの予想情報提供時刻においては、表 2-10(b)に示す初期値の数値予報データを使用した。

表 2-10(b) 数値予報データの配信時間

予想情報提供時刻	使用する数値予報データ
4 時～ 8 時	前日 21 時を初期値とする数値予報
9 時～14 時	当日 3 時を初期値とする数値予報
15 時～20 時	当日 9 時を初期値とする数値予報
21 時～22 時	当日 15 時を初期値とする数値予報

¹ UTC: Universal Time Coordinated (協定世界時)

(イ) WBGT 予測値の計算

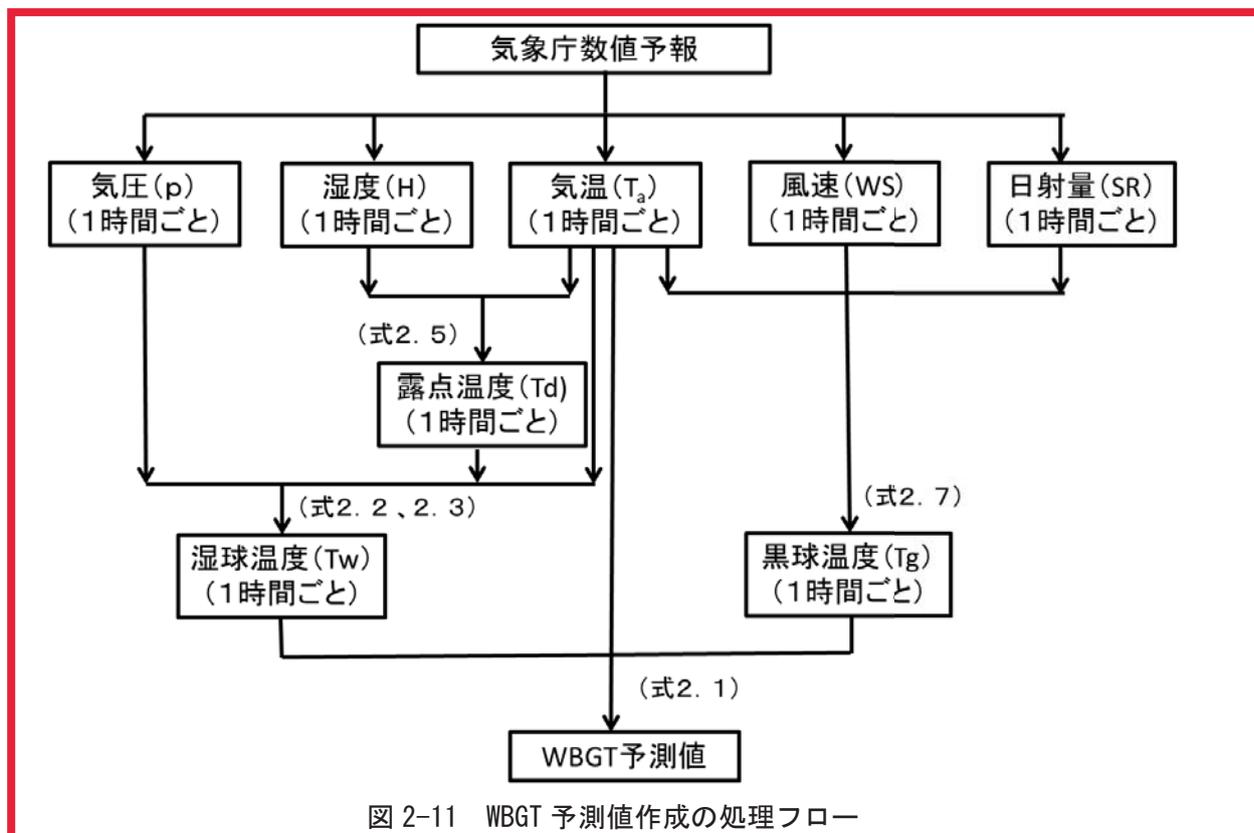


図 2-11 WBGT 予測値作成の処理フロー

数値予報データおよびガイダンスデータは前処理により、予測地点別の時系列予測値に加工し、観測がある時刻については実測値または実況推定値により埋め込みを行い、840 地点の気圧のデータを 1 時間間隔で整理する。

この各要素の予測値をベースとし、式(2.1)~(2.7)を用いて WBGT 予測値を 1 時間ごとに作成した。なお、WBGT を表示する際は 3 時間ごとの表示となるが、表示されない時間に WBGT の最高値が出現する場合は、最も近い時間の WBGT を WBGT 最高値で置き換えた。

(a) 乾球温度 (T_a)、風速 (WS)、気圧 (p) の推定

乾球温度 T_a と風速 WS については気象庁数値予報ガイダンスの数値そのもの、気圧 p については近隣の数値予報データを利用する。数値予報ガイダンスの最高気温 (最低気温) は、1 時間毎の予測値の最高値 (最低値) が最高気温 (最低気温) となるように補正を行う。

(b) 日射量 (SR) の推定

平成 29 年 12 月から、気象庁が日射量の予測値の提供を開始したため、平成 30 年度業務から、日射量は気象庁数値予報データを用いた。

提供開始前の平成 29 年度までは、DVD 資料 C-3 に示す日射量推定手法により、

緯度・経度・標高と日時を与えることで、晴天時の日射量を推定した。また、数値予報データには雲量予測のデータがあり、これを用いて雲量による全天日射の違いを推定することができる。

近藤(1994)によれば、雲量を n (0~1)、下層雲量を n_L としたときの全天日射量 S_d は、晴天時の全天日射量 S_{df} を用いて、

$$S_d = y \times S_{df} \quad (\text{式 2.13})$$

$$\text{ここで、 } y = 1.70 \times \log_{10}(1,22 - 1.02 \times x) + 0.521 \times x + 0.846 \quad (n \geq 0.3)$$

$$= 1 \quad (n < 0.3)$$

$$x = n - 0.4 \times \exp(-3n_L)$$

で推定できる。

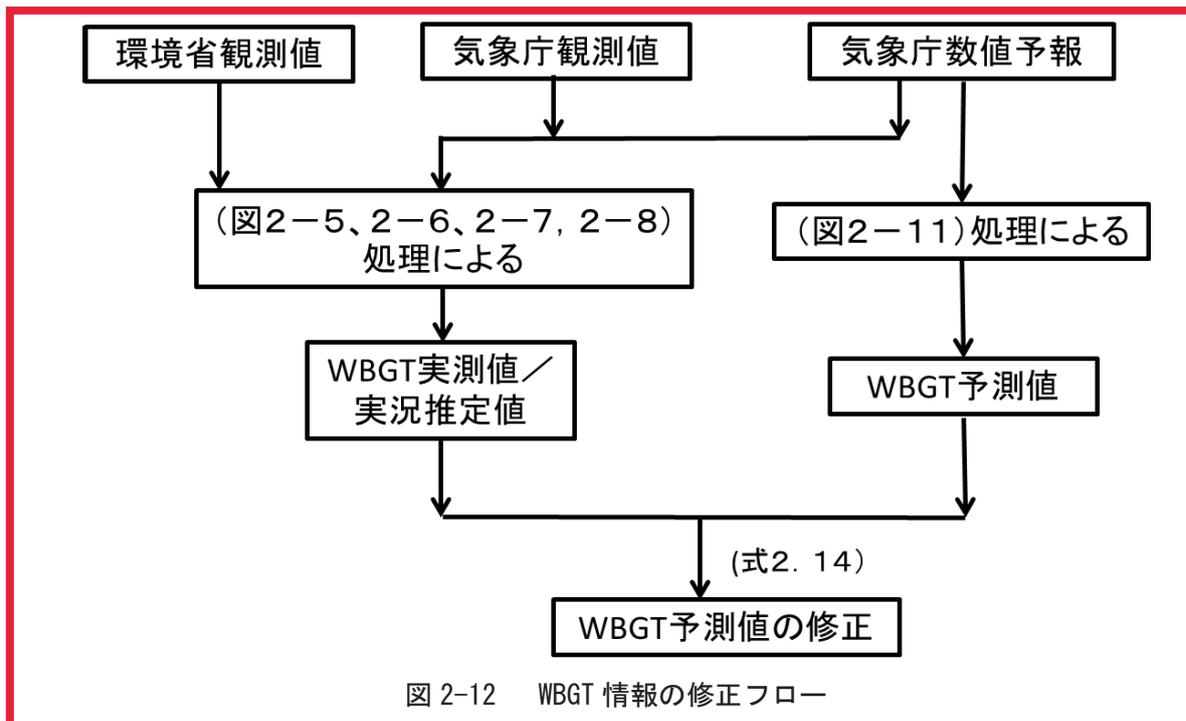
雲量ガイダンスは、上層雲・中層雲・下層雲別にその雲量が 0.0~99.9% の確率値で予測されているので、この値を用いて日射量を推定した。このとき、実際には上層雲はあまり日射を遮らないにも関わらず、GPV では多めに評価され日射量が過少になる傾向があるため、上層雲量は計算から省き中・下層雲のみで評価していた。

(c) 湿度 (H) の推定

GSM においては、実際の観測値よりも特に日中は湿度が高くなる場合が多い。この誤差を補正するため、154 箇所の GSM ガイダンスの最小湿度予測値がある地点についてはこの値を用いて GSM の湿度を補正した。湿度予測値のない地点においては、154 地点における湿度の補正值を距離に応じた比重をかけて補正し各地点の湿度予測値を補正した。

(ウ) 実況データによる修正

WBGT 予測値は数値予報資料を用いて計算されるが、11 地点については黒球温度を観測しており WBGT 実測値を計算することができる。また、黒球温度の観測がない地点についても WBGT 実況推定値を計算している。実測値及び実況推定値が得られる直近の時刻についてはこれらのデータを予測値に上書きすることで修正を行った(図 2-12 参照)。



補正方法は、n 時間前の WBGT 実況値と予測値の誤差を用いて、数時間後 (i 時間後) の WBGT 予測値を補正する方法で、統計回帰式により修正を行った。

$$\Delta WBGT(t_i) = \sum_{j=-n}^0 a_{ij} \times \Delta WBGT(t_j) + b_i \quad (\text{式 2.14})$$

ここで、 $\Delta WBGT(t_i)$: 時刻 t_i における WBGT の実況値と予測値の誤差 (°C)

a_{ij}, b_i : 補正式の係数

(エ) WBGT 予測値の公開

2019年4月19日～10月14日の期間、気象庁数値情報を収集、WBGT 予測値を1時間ごとに作成し、実況による修正を加え、熱中症予防情報サイトで情報提供を行った。2019年度は840地点について予測値の提供を行った。また、予測値提供期間は、平成24～30年度と同様に「今日・明日・明後日」の3日間とした。

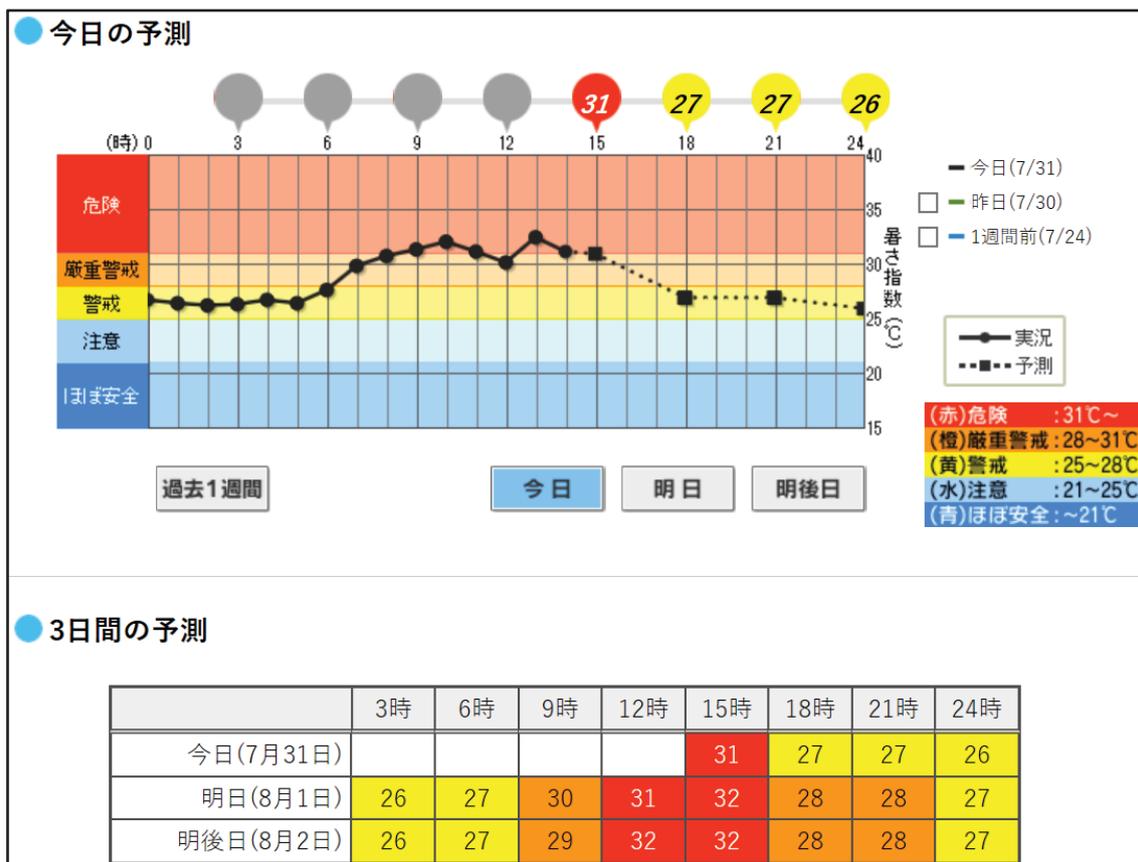


図 2-13 WBGT 予測値の公開例

WBGT 予測値データは、2.1(4)で構築した WBGT データ提供ネットワーク (図 2-4) を利用して、インターネットの固定 IP アドレス間の通信により、環境省が指定する「熱中症予防情報サイト」を運営する情報提供業務請負者にデータ提供し、サーバ上で画像化され、インターネット上に公開・提供された (図 2-13)。予測データの提供は、パソコン版サイトのほか、スマートフォン版サイト、携帯電話版サイトでも行われた。予測値データは DVD に資料 E-2 として収録した。

表 2-14(d) WBGT 予測の要素別精度評価 (東京、朝 6 時予報)

		WBGT 予測の要素別精度評価 (東京、朝6時予報)												
		WBGT			湿球温度			黒球温度			乾球温度			
		実況	予測	誤差	実況	予測	誤差	実況	予測	誤差	実況	予測	誤差	
2019	6-9月	平均	27.0	26.7	-0.3	23.3	23.5	0.3	41.1	39.0	-2.1	28.6	28.9	0.3
		標準偏差	3.0	2.5	1.7	2.3	2.2	1.0	7.1	4.8	4.7	3.4	3.1	1.7
2019	5月	平均	21.5	21.5	-0.1	16.8	17.8	1.1	39.7	36.9	-2.8	25.2	25.5	0.3
		標準偏差	2.6	2.9	1.7	2.3	2.9	1.4	6.0	4.9	4.0	3.4	3.8	1.6
2019	6月	平均	23.8	23.9	0.1	20.1	20.8	0.7	37.5	36.6	-0.9	25.6	26.1	0.6
		標準偏差	2.8	2.9	2.0	2.1	2.5	1.2	8.3	5.6	5.7	3.5	3.4	2.1
2019	7月	平均	26.3	25.9	-0.4	23.3	23.2	-0.1	37.8	36.6	-1.2	27.2	27.4	0.2
		標準偏差	4.0	3.1	1.9	3.0	2.6	1.0	8.7	5.9	5.7	4.1	3.8	1.8
2019	8月	平均	30.9	30.1	-0.9	26.6	26.5	-0.1	46.4	43.5	-2.9	32.5	32.9	0.4
		標準偏差	2.2	1.8	1.5	1.6	1.4	0.8	5.8	3.5	4.2	2.6	2.2	1.6
2019	9月	平均	27.1	26.9	-0.3	23.1	23.6	0.5	42.5	39.3	-3.2	29.2	29.3	0.1
		標準偏差	3.1	2.4	1.3	2.7	2.4	0.8	5.8	4.2	3.1	3.3	3.1	1.4

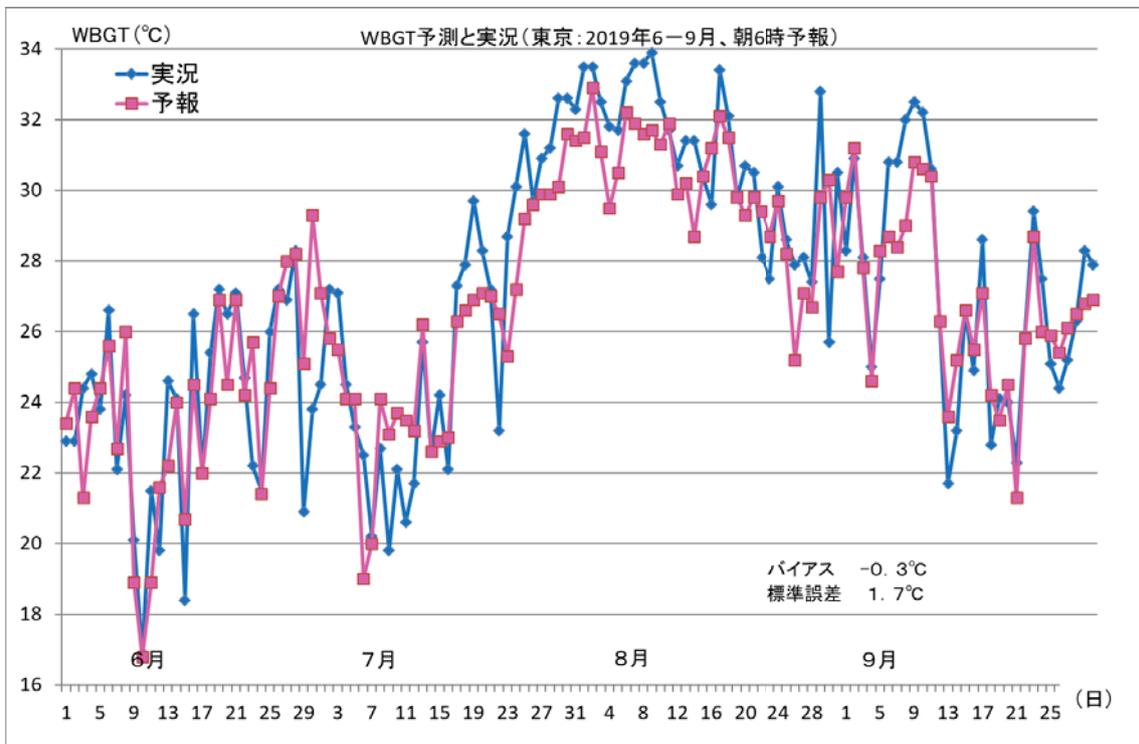


図 2-15(d) WBGT 予測の検証結果 (2019 年 5-9 月、東京)

表 2-14(g) WBGT 予測の要素別精度評価 (広島、朝 6 時予報)

		WBGT予測の要素別精度評価(広島、朝6時予報)												
		WBGT			湿球温度			黒球温度			乾球温度			
		実況	予測	誤差	実況	予測	誤差	実況	予測	誤差	実況	予測	誤差	
2019	6-9月	平均	26.2	28.1	1.9	22.2	25.3	3.1	41.3	40.0	-1.3	29.5	30.0	0.5
		標準偏差	2.2	2.0	1.2	1.9	1.9	1.1	5.9	4.0	3.4	2.7	2.3	1.2
2019	5月	平均	20.3	21.5	1.3	15.3	18.7	3.4	38.5	36.5	-2.0	25.0	25.5	0.5
		標準偏差	2.0	2.9	1.7	2.4	2.9	1.9	4.3	3.7	3.4	2.5	2.6	1.8
2019	6月	平均	23.5	25.2	1.7	19.2	22.4	3.2	39.5	38.1	-1.4	27.1	27.3	0.3
		標準偏差	2.0	1.8	1.2	2.4	2.2	1.2	5.6	2.8	3.6	2.1	1.7	1.0
2019	7月	平均	26.7	28.5	1.8	23.1	25.9	2.8	39.6	39.4	-0.2	29.3	29.7	0.4
		標準偏差	2.1	1.7	1.1	1.7	1.4	0.9	6.3	4.1	3.8	2.8	2.5	1.2
2019	8月	平均	28.1	30.5	2.4	24.3	27.5	3.2	42.5	42.6	0.1	31.5	32.5	1.0
		標準偏差	2.1	2.4	1.1	1.2	1.7	1.2	7.1	5.5	2.9	3.2	3.1	1.1
2019	9月	平均	26.5	28.2	1.6	22.0	25.4	3.4	43.7	40.2	-3.6	30.1	30.5	0.4
		標準偏差	2.7	2.1	1.5	2.5	2.2	1.2	4.7	3.8	3.5	2.6	2.1	1.3

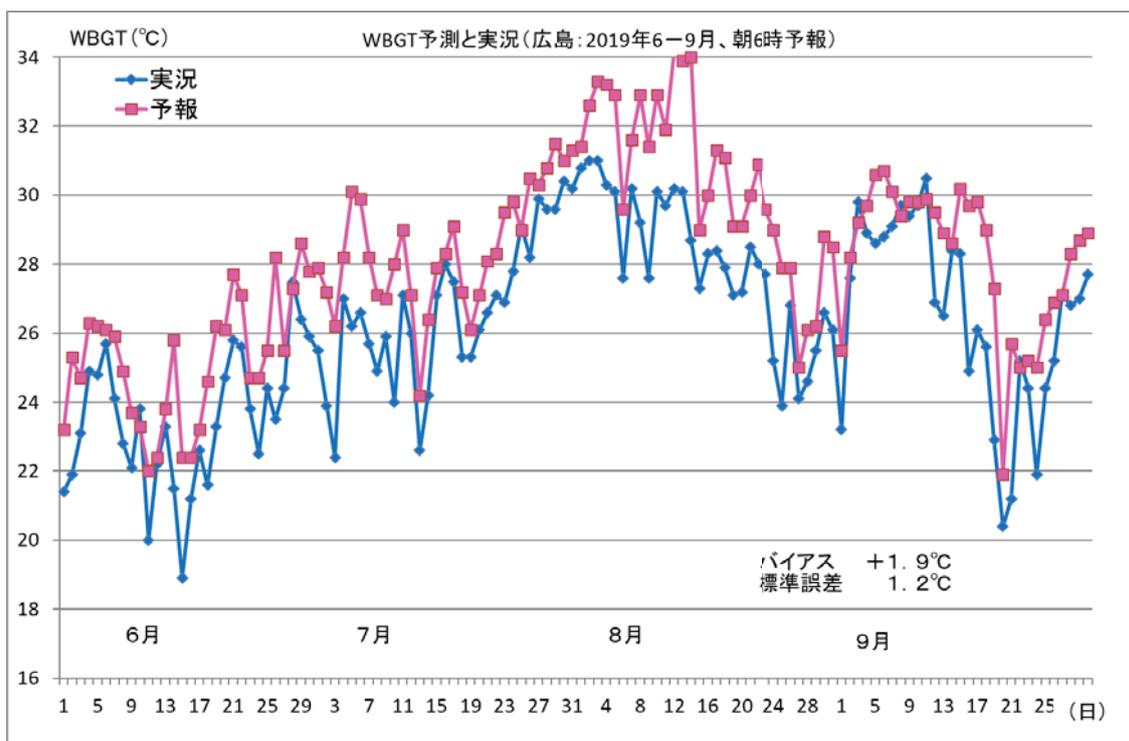


図 2-15(g) WBGT 予報の検証結果 (2019 年 5-9 月、広島)

暑さ指数を用いた指針

● 運動に関する指針

気温 (参考)	暑さ指数 (WBGT)	熱中症予防運動指針	
35°C以上	31°C以上	運動は原則中止	特別の場合以外は運動を中止する。 特に子どもの場合には中止すべき。
31～35°C	28～31°C	厳重警戒 (激しい運動は中止)	熱中症の危険性が高いため、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。 10～20分おきに休憩をとり水分・塩分の補給を行う。 暑さに弱い人※は運動を軽減または中止。
28～31°C	25～28°C	警戒 (積極的に休憩)	熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。 激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
24～28°C	21～25°C	注意 (積極的に水分補給)	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。 熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
24°C未満	21°C未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)	通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。 市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

※暑さに弱い人：体力の低い人、肥満の人や暑さに慣れていない人など

(公財) 日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」(2019)より

● 日常生活に関する指針

温度基準 (WBGT)	注意すべき 生活活動の目安	注意事項
危険 (31°C以上)	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。 外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
厳重警戒 (28～31°C※)		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 (25～28°C※)	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休憩を取り入れる。
注意 (25°C未満)	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

※(28～31°C)及び(25～28°C)については、それぞれ28°C以上31°C未満、25°C以上28°C未満を示します。
日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針Ver.3」(2013)より

表2・身体作業強度等に応じたWBGT基準値

区分	身体作業強度(代謝率レベル)の例	WBGT基準値			
		熱に順化している人(°C)		熱に順化していない人(°C)	
0 安静	・ 安静	33		32	
1 低代謝率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 楽な座位 ・ 軽い手作業(書く、タイピング、描く、縫う、簿記) ・ 手及び腕の作業(小さいベンチツール、点検、組み立てや軽い材料の区分け) ・ 腕と足の作業(普通の状態での乗り物の運転、足のスイッチやペダルの操作) ・ 立位 ・ ドリル(小さい部分) ・ フライス盤(小さい部分) ・ コイル巻き ・ 小さい電気子巻き ・ 小さい力の道具の機械 ・ ちょっとした歩き(速さ3.5km/h) 	30		29	
2 中程度代謝率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 継続した頭と腕の作業(くぎ打ち、盛土) ・ 腕と脚の作業(トラックのオフロード操縦、トラクター及び建設車両) ・ 腕と胴体の作業(空気ハンマーの作業、トラクター組立て、しっくい塗り、中くらいの重さの材料を断続的に持つ作業、草むしり、草掘り、果物や野菜を摘む) ・ 軽量の荷車や手押し車を押したり引いたりする ・ 3.5~5.5km/hの速さで歩く ・ 鍛造 	28		26	
3 高代謝率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 強度の腕と胴体の作業 ・ シャベルを使う ・ 重い材料を運ぶ ・ のこぎりをひく ・ 大ハンマー作業 ・ 掘る ・ 草刈り ・ 硬い木にかんなをかけたりのみで彫る ・ 5.5~7.5km/hの速さで歩く ・ 重い荷物の荷車や手押し車を押したり引いたりする ・ 鋳物を削る ・ コンクリートブロックを積む 	気流を感じないとき	気流を感じるとき	気流を感じないとき	気流を感じるとき
		25	26	22	23
4 極高代謝率	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最大速度の速さでとても激しい活動 ・ おのを振るう ・ 激しくシャベルを使ったり掘ったりする ・ 階段を登る、走る、7km/hより速く歩く 	23	25	18	20

※ 本表は、日本工業規格Z8504(人間工学—WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境) 附属書A「WBGT熱ストレス指数の基準値表」を基に、同表に示す代謝率レベルを具体的な例に置き換えて作成したものです。
 ※ 熱に順化していない人とは、「作業する前の週に毎日熱にばく露されていなかった人」のことをいいます。

表3・衣類の組み合わせによりWBGT値に加えるべき補正值

下記の衣類を着用して作業を行う場合にあつては、算出されたWBGT値に、各補正值を加えてください。

衣服の種類	作業服(長袖シャツとズボン)	布(織物)製つなぎ服	二層の布(織物)製服	SMSポリプロピレン製つなぎ服	ポリオレフィン布製つなぎ服	限定用途の蒸気不浸透性つなぎ服
WBGT値に加えるべき補正值(°C)	0	0	3	0.5	1	11

※ 補正值は、一般にレベルAと呼ばれる完全な不浸透性防護服に使用しないでください。
 ※ 重ね着の場合に、個々の補正值を加えて全体の補正值とすることはできません。

農作業と暑さ指数について

- 暑さ指数(WBGT)は、暑さの厳しさを示す指標です。
- 高ければ高いほど、熱中症になりやすくなります。熱中症対策を行う場合、気温よりも暑さ指数を見るようにしましょう。

身体 作業 強度	作業の例	暑さ指数(WBGT) 基準値
安静	安静	33 (暑さに慣れていない人は32)
軽作業 	<ul style="list-style-type: none"> 楽な座位、立位、軽い手作業(書く、簿記など) 手及び腕の作業(点検、組み立てや軽い材料の区分け) 腕と足の作業(普通の状態での乗り物の運転、足のスイッチやペダルの操作) 	30 (暑さに慣れていない人は29)
中程度の作業 	<ul style="list-style-type: none"> トラクターや重機の操作、草むしり、果物や野菜を摘む 軽量の荷車や手押し車を押したり引いたりする 	28 (暑さに慣れていない人は26)
激しい作業 	<ul style="list-style-type: none"> シャベルを使う、草刈り、掘る、のこぎりをひく 重い荷物の荷車や手押し車を押したり引いたりする 	25 (暑さに慣れていない人は22)
極めて激しい作業	<ul style="list-style-type: none"> 激しくシャベルを使ったり掘ったりする、斧をふるう、階段を登る、走る 	23 (暑さに慣れていない人は18)

日本工業規格Z8504(人間工学—WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境) 附属書A「WBGT熱ストレス指数の基準値表」を基に作成

お住まいの地域の暑さ指数はこちらから見られます！

http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php



お住まいの地域の暑さ指数を毎朝メールでお届けすることもできます！

http://www.wbgt.env.go.jp/mail_service.php

