

#### 4. WBGT 予測情報の検討

##### 4. 1 WBGT 予測情報の評価

気象庁から発表される予報には、通常の天気予報（「晴れ時々曇り」など）のほかに、数値予報と呼ばれる気象の数値モデルによる予測資料がある。

数値予報には、①GPV（Grid Point Value）と呼ばれる数値予報モデルの格子点データ（数値予報は地球を網で覆い網の交点にあたる格子点〈グリッド〉にその周辺の平均的な気象データを与えることでモデルの中で気象現象を計算する）と、その格子点値を特定の地点の値に翻訳した②数値予報ガイダンスの2種類がある。

現在、利用可能な数値予報モデルは、①については解像度約 20km（緯度方向 0.2 度・経度方向 0.25 度）の GSM 日本域-GPV、②については気象官署・アメダス観測所を対象としたガイダンス資料である。

表 4-1 気象庁数値予報

	地点数・解像度	要素
GPV	約 20km 格子	気温・風向風速・湿度・雲量・気圧・降水量（1 時間毎）
数値予報 ガイダ ンス	約 850 箇所（アメダス観測所、湿度を除く） 湿度は約 150 箇所の気象官署のみ	3 時間毎の気温・最高気温・最低気温 3 時間毎の風向・風速 3 時間毎の天気 6 時間毎の降水確率 日中の最小湿度

※1) 数値予報の発表回数は、1 日 2 回。

※2) 当日 9 時を初期値とする数値予報は、当日 9 時から翌々日 12 時までの 51 時間予測

※3) 当日 21 時を初期値とする数値予報は、当日 21 時から翌々日 24 時までの 51 時間予測

数値予報ガイダンスは実況データなどを用いて、GPV のモデルが持つバイアスなどを統計的に補正しており、WBGT 予測情報は、数値予報ガイダンス予報をベースとし不足する情報を GPV により推定して作成した。

気象庁の数値予報データを用いて WBGT 情報を作成する処理フローを、改めて図 4-1 に示す。

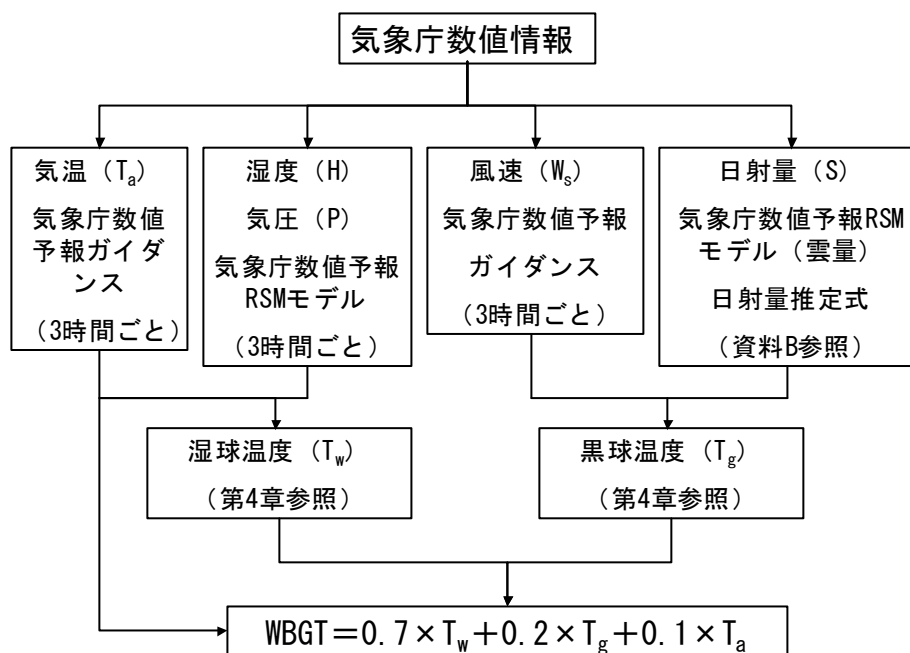


図 4-1 WBGT 情報作成の処理フロー

#### (1) 乾球温度 ( $T_a$ ) の推定

乾球温度  $T_a$  については、気象庁数値予報ガイダンスの数値そのものを利用する。数値予報ガイダンスには3時間ごとの気温と最高気温、最低気温があるが、3時間毎の予測値の最高値が最高気温となるように補正を行う。

#### (2) 湿球温度 ( $T_w$ ) の推定

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。

$$T_{w(1)} = (T_a \times f \times p + T_d \times s) / (f \times p + s) \quad (4.1)$$

$$\text{ここで、} s = (e_s - e_d) / (T_a - T_d)$$

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

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

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

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

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

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。

$$T_{w(2)} = T_{w(1)} - d_e / d_{er} \quad (4.2)$$

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

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

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。

なお、露点温度  $T_d$  (℃) が求められていない場合については、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、

$$H(\%) = e / e_s \times 100 \quad (4.3)$$

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

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

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

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

を  $T_d$  について解いた次式により求める。

$$T_d = (-C_2 - C_3) / C_4 \quad (4.4)$$

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

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

ここで、湿球温度 ( $T_w$ ) を求めるには、気温・湿度・気圧が必要となるが、気温については前項の推定値  $T_a$  をそのまま用いる。湿度については、推定する地点に最も近い GPV のグリッドの値を抜き出した 3 時間毎の RSM 時系列データを使用するが、GPV の湿度は一般に実際よりも高くなる傾向がある。また、日中の最小湿度がガイダンスと GPV 値で 10% を超えるような大きな誤差が生じる場合は、最小湿度ガイダンスを用いて補正する。気圧については、最も近い GPV のグリッドの値を抜き出す（簡易手法として標準気圧 1013hPa や東京の 8 月の平均気圧 1006hPa などを使っても精度はそれほど落ちない）。

### (3) 黒球温度 ( $T_g$ ) の推定

最後に、黒球温度 ( $T_g$ ) について、過去の観測値を用いた経験式により推定を行う、黒球温度の推定に大きく寄与するのは、気温・日射量と風速である。

風については、3 時間毎のガイダンスの予測値を用いれば良いが、日射量についてはガイダンスの予測項目には含まれず、別の方法で求める必要がある。

日射量については、巻末資料 B 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する。一方、GPV 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、

$$S_d = y \times S_{df} \quad (4.5)$$

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

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

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

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 0-9 の 10 段階で予測されているので、この値を用いて日射量を推定する。このとき、実際には上層雲はあまり日射を遮ぎ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・下層雲のみで評価する。

このようにして求めた日射量と風速データを用いて式 (4.5) により黒球温度 ( $T_g$ ) の推定を行った。

#### (4) WBGT 予測の精度評価

東京・新潟・名古屋・大阪・福岡における 2009 年 6 月～9 月の WBGT 実況観測データを用いて、WBGT 予測の精度評価を行った。各地点別の全期間を通した WBGT 予測のバイアスと標準誤差は表 4-2 に示す。また、日々の予測および気温・湿度などの予測精度評価結果については巻末資料 D に示す。

表 4-2 WBGT 予測の精度 (左：平成 21 年度、中・右：平成 20・19 年度)

地点	単位: °C		平成20年度		平成19年度	
	バイアス (予測-実況)	誤差の標準偏差	バイアス	標準誤差	バイアス	標準誤差
東京	0.6	1.5	0.0	1.9	0.9	1.7
新潟	0.5	1.5	0.1	1.8	1.4	1.8
名古屋	0.2	1.7	-0.3	2.2	0.5	1.8
大阪	0.1	1.6	-0.3	1.7	0.2	1.6
広島	0.3	1.7	0.0	1.7	0.6	1.7
福岡	0.0	1.5	0.0	1.8	1.8	2.0

WBGT 予測誤差の標準偏差は 0.0～0.6°C、標準偏差は 1.5～1.7°C であった。誤差の標準偏差は平成 20 年度より小さくなっている地点が多いが、バイアスがプラス側にシフトしている。平成 21 年は、天候不順で曇りがちな天候が多く、日射量を大きめに予想したケースが多い。このため、バイアスがややプラス側にシフトしたと考えられる。また、気象庁ガイダンスの最高気温予測の誤差 (巻末資料 E の気温の項目を参照) は 1.2～1.6°C で、WBGT の誤差 1.5～1.7°C とほぼ同程度であり、気象庁の最高気温予想とほぼ同程度の予測精度を持っているとともに、WBGT 予報の精度は、元となる気象庁予報の精度に大きく依存することがわかる。

平成 20 年度から、気象庁数値予報が GSM と呼ばれるモデルに変更になり、乾球温度、湿球温度では、ほとんどの地点で誤差が小さくなっており、今年度もその精度は同程度であった。一方で、黒球温度については誤差が大きい。

黒球温度については、晴天時の全天日射量を計算し、式(4.5)により雲量を求め、雲の量に応じて日射を減らしているが、GSM 日本域モデルでは、雲量の値が、雲がまったくないか、雲に覆われている値を示すことが多く、天候不順で雲の多い日が多かったことから、日射

量が小さめに予測され、その結果として黒球温度が低く見積もられたケースが多い。

なお、表 4-3 には、平成 21 年夏のデータで地点別・要素別の予測誤差の検証結果を、朝 6 時発表予報の当日の WBGT 最高値と、WBGT 観測値を比較して都市別に示した。名古屋以西の 9 月の黒球温度の誤差が大きい、全体としては比較的精度の高い予報が提供できた。

表 4-3(a) 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
2009	6-9月	平均	24.6	25.2	0.6	21.6	22.2	0.6	37	39.7	2.8	27.5	28	0.5
		標準偏差	2.1	1.7	1.5	1.8	1.7	1.1	5.8	2.8	4.4	2.4	2.3	1.5
2009	6月	平均	22.9	23.2	0.3	20	20.3	0.3	34.4	37.8	3.4	25.4	25.9	0.5
		標準偏差	2.2	2.1	1.5	2	1.8	1.1	5.7	3.8	3.7	2.8	3	1.5
2009	7月	平均	26.1	26.9	0.8	23.4	24.5	1.1	36.9	40.9	4	28.9	29.4	0.4
		標準偏差	2.3	1.3	1.7	1.6	1.3	1	5.7	2.5	4.8	3	2.3	1.7
2009	8月	平均	26.8	27.2	0.3	23.5	24.1	0.6	40.4	41.8	1.6	29.7	30.2	0.6
		標準偏差	1.9	1.6	1.3	1.8	1.9	1	5.2	2.6	3.8	1.9	1.8	1.5
2009	9月	平均	22.4	23.3	0.9	19.3	19.8	0.5	36.1	38.1	2	26.1	26.5	0.4
		標準偏差	2.1	1.7	1.5	1.6	1.6	1.1	6.5	2.4	5.1	2	1.9	1.2

表 4-3(b) WBGT 予測の要素別精度評価（新潟、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
2009	6-9月	平均	24.3	24.8	0.5	20.9	21.3	0.4	37.2	38.6	1.5	26	26.7	0.7
		標準偏差	2.1	1.9	1.5	1.7	1.9	1.1	5	3.2	3.8	2.6	2.4	1.2
2009	6月	平均	22.5	22.8	0.3	18.6	19.1	0.4	36.5	38	1.5	24.9	25.6	0.7
		標準偏差	2.4	2.6	1.4	2.3	2.7	1.1	4.9	4	4.1	3.9	3.6	1.3
2009	7月	平均	25.4	26.2	0.7	22.5	23	0.5	36.8	39.2	2.3	26.8	27.6	0.8
		標準偏差	2.1	1.5	1.7	1.4	1.4	1.2	5.5	3.1	3.7	2.5	2.1	1.3
2009	8月	平均	26.4	27.1	0.7	23	23.4	0.4	39.5	40.6	1.3	27.6	28.3	0.7
		標準偏差	1.8	1.4	1.5	1.5	1.5	0.9	4.8	2.5	4.1	1.9	1.8	1.1
2009	9月	平均	22.7	23	0.3	19.3	19.6	0.3	35.8	36.6	0.8	24.6	25.2	0.6
		標準偏差	1.9	2	1.3	1.6	2	1.1	4.6	3	3.4	1.9	2.1	1.2

表 4-3(c) WBGT 予測の要素別精度評価（名古屋、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
2009	6-9月	平均	26.1	26.2	0.2	21.7	22.7	1	42.4	41.7	-0.6	29.4	30	0.7
		標準偏差	2.1	1.9	1.7	1.9	2	1.2	5.8	2.8	4.6	2.6	2.4	1.6
2009	6月	平均	24.4	24.3	0	19.9	20.6	0.7	41.6	40.4	-1.2	27.9	28.6	0.7
		標準偏差	2.3	2.1	1.7	2.3	2.4	1.3	5.6	2.7	4.9	2.6	2.5	1.4
2009	7月	平均	27.6	27.7	0.1	23.7	24.4	0.6	42.3	41.6	-0.7	29.8	30.3	0.5
		標準偏差	1.5	1.4	1.5	1.2	1.6	1.1	5.2	2.9	3.8	2.3	2.4	1.8
2009	8月	平均	28.1	28.2	0.1	23.4	24.5	1.1	45.2	43.8	-1.2	31.2	31.9	0.8
		標準偏差	1.9	1.8	1.2	2	1.7	0.8	5.2	2.4	4.4	2.2	2.1	1.7
2009	9月	平均	24.2	24.7	0.5	19.8	21.1	1.4	40.3	41	0.8	28.5	29.2	0.8
		標準偏差	2.5	2.3	2.2	1.9	2.1	1.4	7	3.1	5.4	3.1	2.6	1.3

表 4-3(d) WBGT 予測の要素別精度評価 (大阪、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
2009	6-9月	平均	26.5	26.6	0.1	22.1	22.5	0.5	43.4	42.4	-1	29.8	30.5	0.6
		標準偏差	2.1	1.7	1.6	1.8	2	1	5.7	2.1	4.8	2.5	2	1.5
2009	6月	平均	24.6	24.9	0.3	20.3	20.5	0.2	42.1	41	-1.1	28.1	28.8	0.7
		標準偏差	2.5	2.3	1.5	2.4	2.5	0.9	5.7	2.8	5	2.8	2.6	1.8
2009	7月	平均	28	28.2	0.1	24.2	24.8	0.6	42.9	43.2	0.2	30.6	31.2	0.5
		標準偏差	1.5	1.2	1.3	1.2	1.5	1.1	4.7	1.3	3.8	2.2	1.6	1.4
2009	8月	平均	28.4	28.2	-0.1	23.7	24.1	0.5	45.9	44.4	-1.3	31.8	32.4	0.6
		標準偏差	2	1.4	1.5	1.9	1.9	1.1	5.3	2	4.3	2.1	1.6	1.3
2009	9月	平均	24.8	25	0.2	20	20.7	0.7	42.6	41	-1.6	28.7	29.4	0.6
		標準偏差	2.3	2	1.9	1.8	2	1	7.2	2.1	6	3	2	1.6

表 4-3(e) 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
2009	6-9月	平均	25.8	26.1	0.3	21.8	23	1.2	40.6	41	0.4	28.9	29.5	0.6
		標準偏差	2.2	1.8	1.7	1.8	2.1	1.1	6.4	2.9	4.6	2.3	1.9	1.3
2009	6月	平均	24	24.1	0.1	19.8	20.8	1	39.1	39.2	0.1	27.1	27.9	0.8
		標準偏差	2.2	2.1	1.6	2	2.6	1	6.9	3.1	4.6	2.5	2.4	1.3
2009	7月	平均	26.5	26.9	0.5	23.2	24.2	1	38.4	40.2	1.9	28.5	29.1	0.6
		標準偏差	2	1.3	2	1.3	1.7	1.2	7.3	2.7	5.8	2.4	1.5	1.8
2009	8月	平均	28	28.3	0.3	23.8	25.2	1.4	43.5	43.4	-0.2	31.2	31.6	0.4
		標準偏差	2.1	1.7	1.6	1.9	1.8	0.9	5	2.5	3.8	1.8	1.7	1
2009	9月	平均	24.8	25.1	0.3	20.3	21.6	1.3	41.4	41.1	-0.3	28.6	29.2	0.6
		標準偏差	2.3	2	1.7	2.1	2.3	1.1	6.3	3.3	4.2	2.5	2.1	1.2

表 4-3(f) WBGT 予測の要素別精度評価 (福岡、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
2009	6-9月	平均	26.5	26.6	0	22.5	23.5	1	41.2	40.9	-0.4	29	29.5	0.6
		標準偏差	2	1.7	1.5	1.7	2.1	1.1	5.8	2.7	4.8	2.4	2.1	1.6
2009	6月	平均	24.4	24.7	0.4	20.5	21.6	1.2	38.7	39.3	0.6	27.1	27.5	0.5
		標準偏差	2.6	2.6	1.4	2.4	2.9	1.4	7.2	4.2	5.1	3.1	3.2	1.4
2009	7月	平均	27.3	27.8	0.5	23.8	25	1.1	39.7	41.7	2	29.9	30.3	0.5
		標準偏差	1.6	1.2	1.4	1.2	1.6	1	5.8	2.5	5.4	2.5	1.7	1.7
2009	8月	平均	28.8	28.3	-0.5	24.4	25.3	1	45	42.7	-2.4	30.9	31.5	0.6
		標準偏差	1.8	1.5	1.3	1.7	1.8	1.1	3.6	1.9	2.6	1.9	1.6	1.7
2009	9月	平均	25.6	25.4	-0.3	21.4	22	0.6	41.3	39.7	-1.6	27.9	28.6	0.8
		標準偏差	1.9	1.6	1.9	1.5	2	1	6.5	2.2	5.9	1.9	1.7	1.4

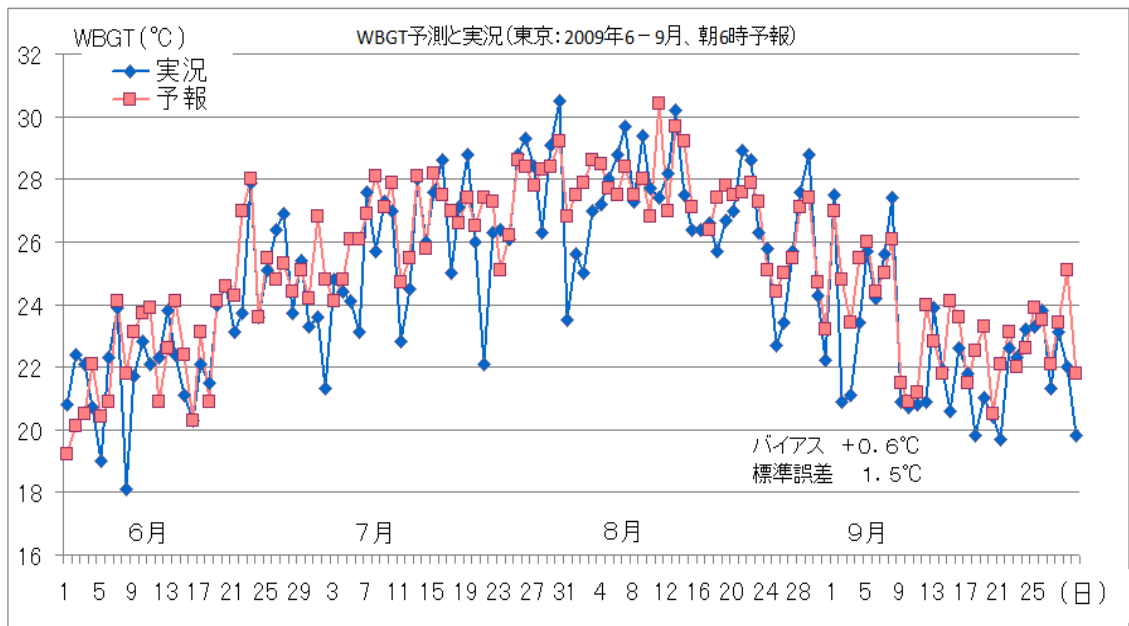


図 4-2 (a) WBGT 予報の検証結果 (2009 年 6-9 月、東京)

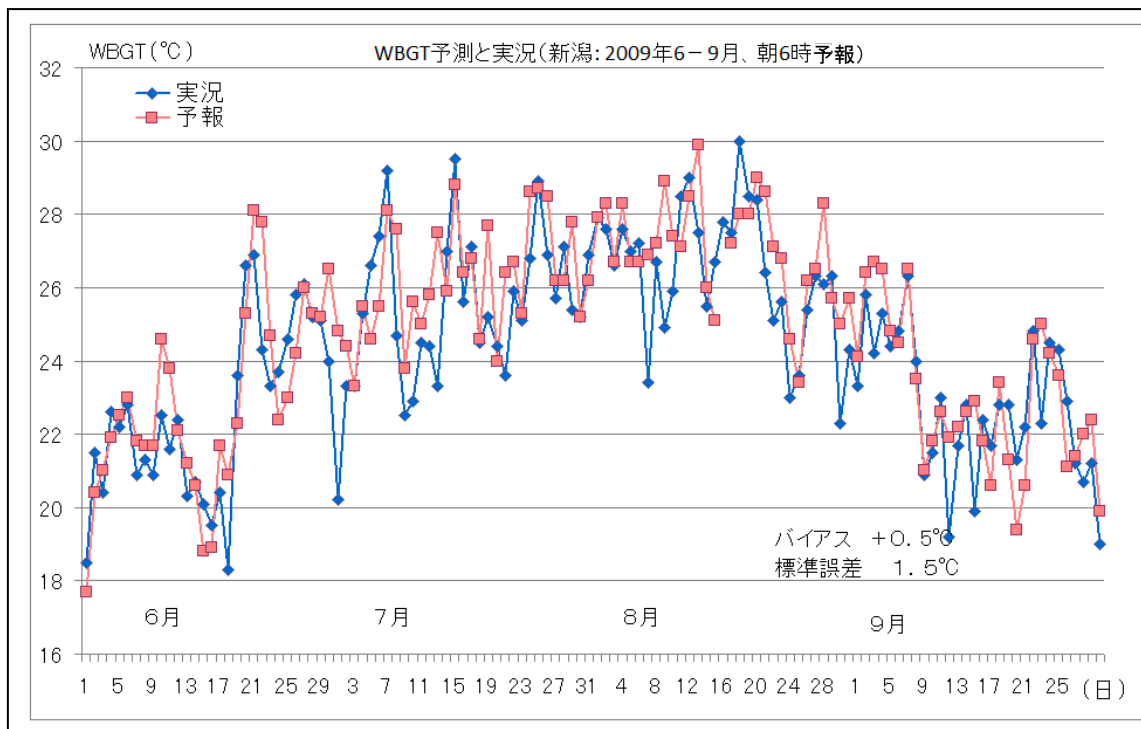


図 4-2 (b) WBGT 予報の検証結果 (2009 年 6-9 月、新潟)

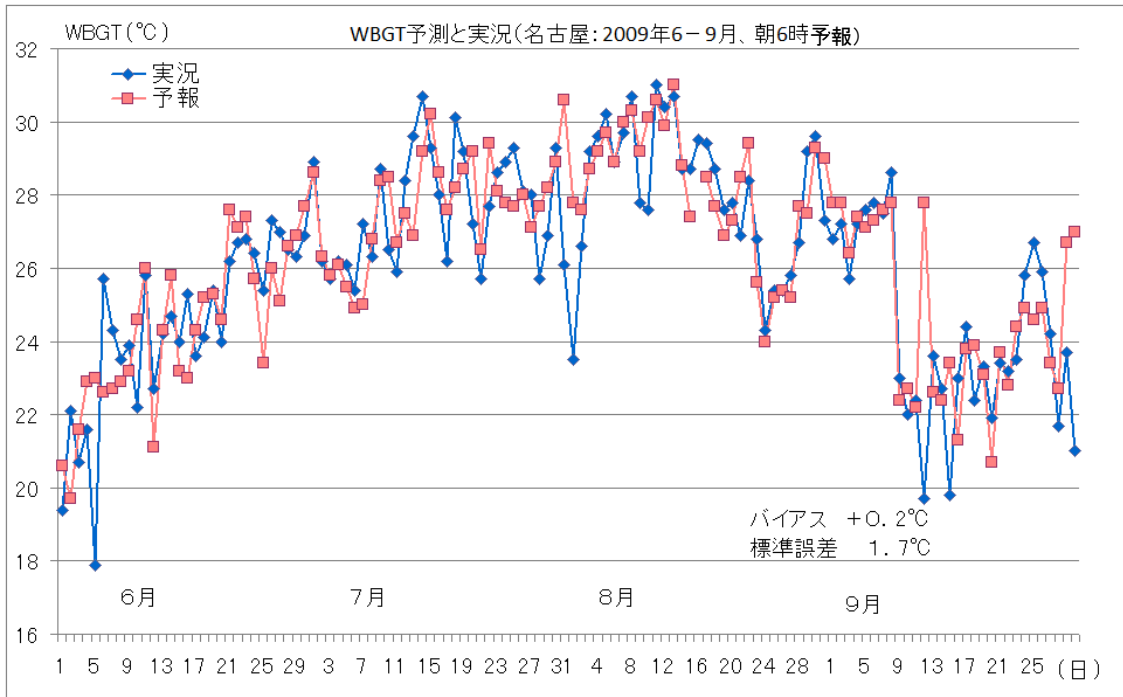


図 4-2(C) WBGT 予報の検証結果 (2009 年 6-9 月、名古屋)

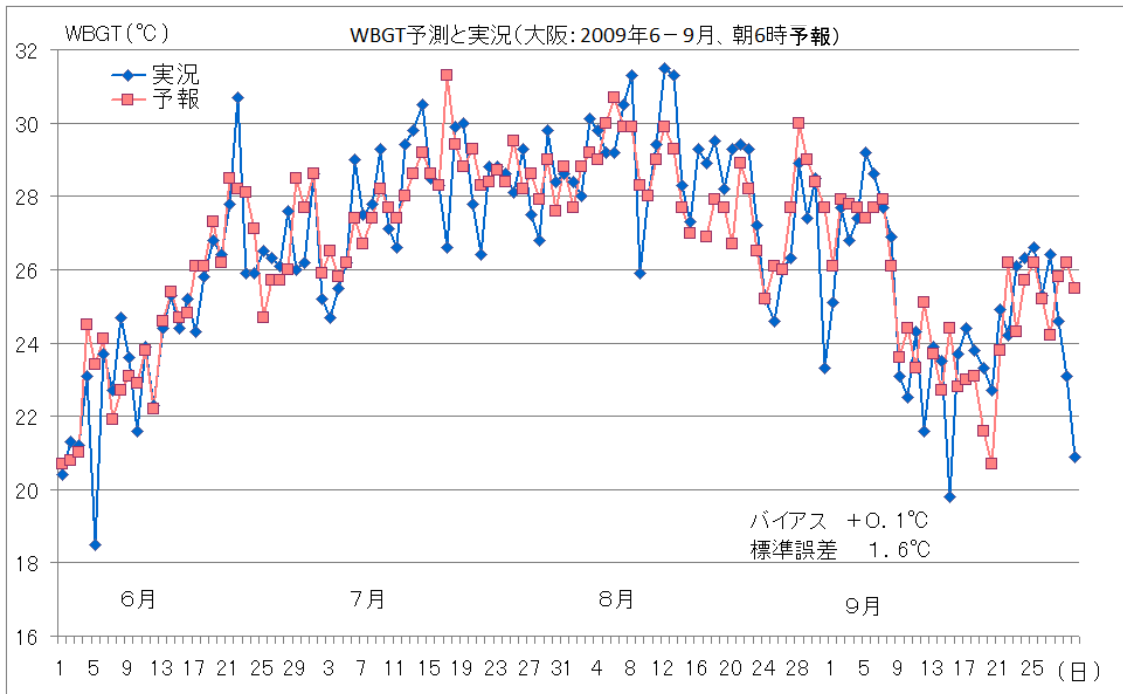


図 4-2(d) WBGT 予報の検証結果 (2009 年 6-9 月、大阪)



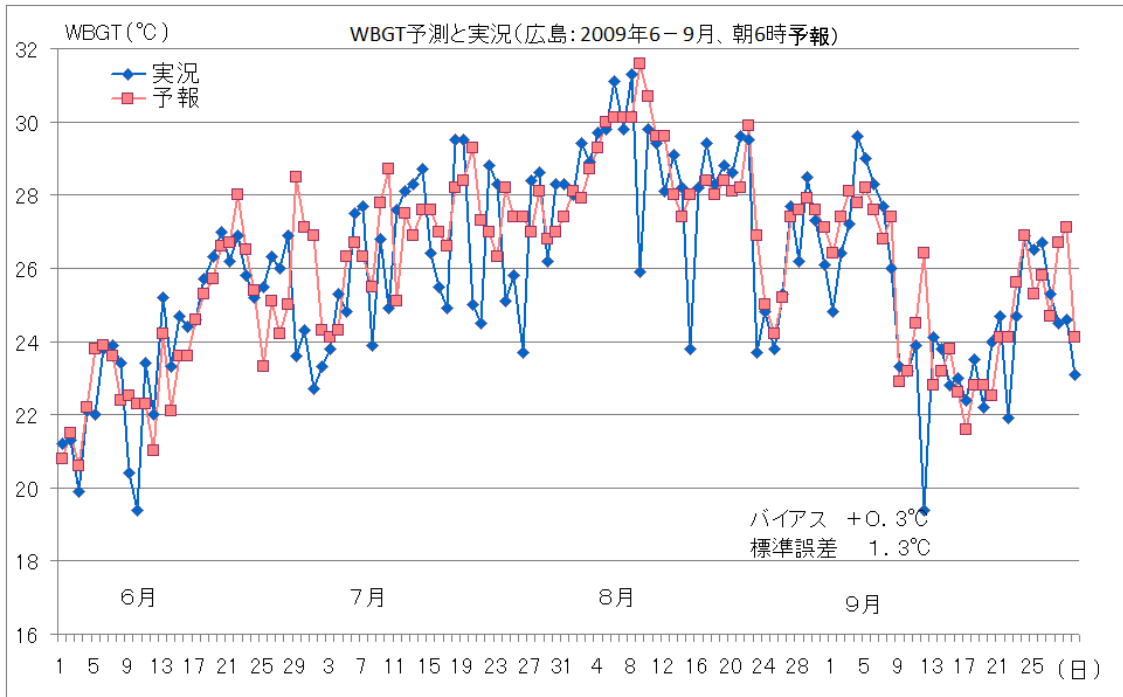


図 4-2 (e) WBGT 予報の検証結果 (2009 年 6-9 月、広島)

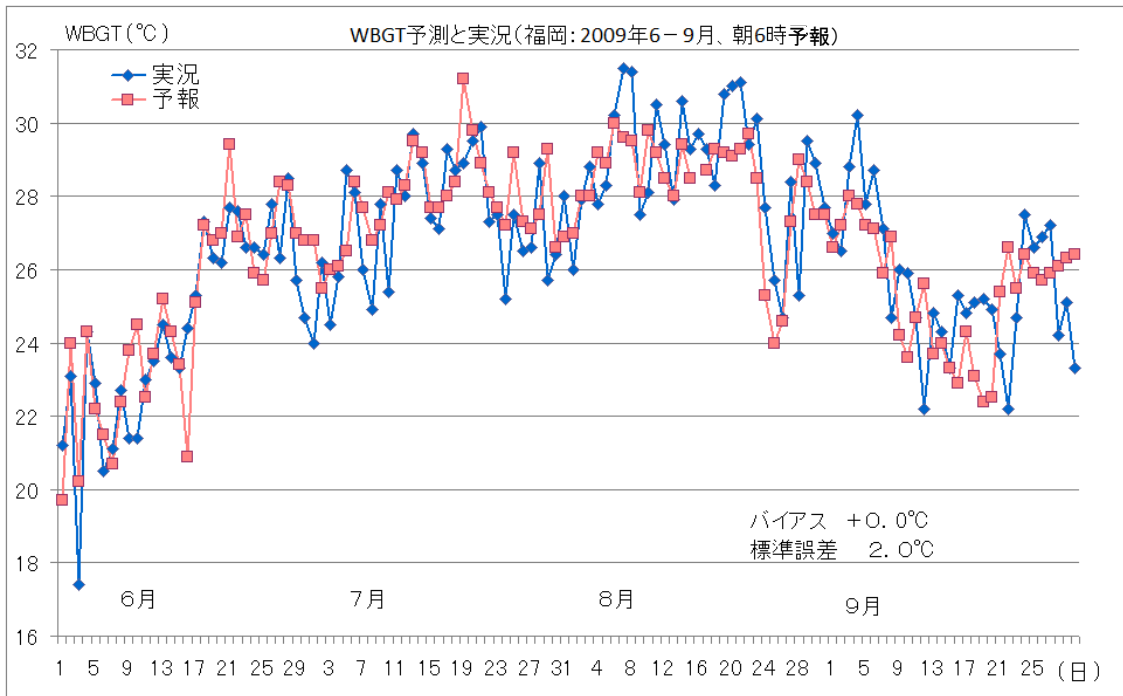


図 4-2 (f) WBGT 予報の検証結果 (2009 年 6-9 月、福岡)