

5 オリンピック・パラリンピックに関連した情報提供

5. 1 熱中症予防情報サイトへの実況値及び予測値の提供

(1) 環境省熱中症予防情報サイトへの実況値の提供

環境省熱中症予防情報サイト上においてオリンピック・パラリンピック特設サイトが開設され、会場周辺等の実況値及び予測値の情報提供が行われた。

提供した実況値及び予測値は、既存の熱中症予防情報サイトと同様の内容で、会場ごとに関連付けて表示された。

一例として図 5-1 にオリンピックスタジアムの例を示す。



図 5-1 熱中症予防情報サイトでの情報提供例（オリンピックスタジアム 8 月 3 日 16 時）

5. 2 各地区での WBGT 予測値の提供

オリパラ大会開催時に会場周辺等の WBGT 測定を行った 17 地区周辺の各会場周辺の暑熱環境を予測し、熱中症予防情報として発表するための WBGT 予測システムを用いて、オリンピック・パラリンピック開催期間を含む業務期間に、毎時予測を実施し情報提供した。

本章では予測システムの概要と予測結果について、報告する。

(1) WBGT 予測システムの概要

WBGT 予測の手法は、WBGT の計算に必要な気象要素 (Ta,Tw,Tg) の予測値を求め、

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

ここで、**Tw : 湿球温度 (℃)**、**Tg : 黒球温度 (℃)**、**Ta : 乾球温度 (℃)** により WBGT 予測値を求めることである。

これらの気象要素の予測値は、気象庁から提供される数値予報モデル予測値を基盤とし、必要に応じて要素変換計算により必要要素を算出した値を用いた。

利用した数値予報予測値は、気象庁メソスケール数値予報モデル(MSM) と全球数値予報モデル (GSM) の 2 種類の数値予報モデルの予測値である。MSM は、きめ細かく (格子間隔約 5km)、局地的な現象をよく表現できるが、予報時間は最長 39 または 51 時間までである。これに対し GSM は、比較的規模の大きい現象しか表現できないものの、最長 11 日先までの予報値を利用できる。表 5-1 に利用した気象庁の数値予報モデルの仕様を示す。

表 5-1 利用した気象庁の数値予報モデル

数値予報モデルの種類	予報の要素		予報時間		予報領域と格子間隔	予報期間と回数
全球モデル (GSM)	地上の物理量 (※1)	気圧・風向風速・気温・湿度・降水量・雲量・日射量 (※2)	日本域 0～84時間：1時間間隔 87～264時間：3時間間隔	全球域 6時間間隔	地球全体 20Km	132時間 (5.5日間) 予報 (1日2回) 264時間 (11日間) 予報 (1日2回)
メソスケールモデル (MSM)	地上の物理量 (※1)	気圧・風向風速・気温・湿度・降水量・雲量・日射量	1時間間隔		日本周辺 5Km	39時間予報 (1日6回) 51時間予報 (1日2回)
(※1) 数値予報モデルの予報要素には地上の物理量と上層の物理量があるが、表中には本業務に用いた地上の物理量のみを記した。 (※2) 日本域のみ						

会場周辺で必要とされた翌々日までの WBGT 予測値を、これらの 2 種類の数値予報値を組み合わせ作成したが、その手順を以下に説明する。

○数値予報結果からオリパラ地点の気象要素の推定について

WBGT 予測の基盤データであるオリパラ主要会場周辺等の予測値を数値予報値から推定する手順を図 5-2 に示す。数値予報予測値は、図中に基盤目状に表示されたような等間隔の格子点位置の値として提供される。オリパラ主要会場周辺等の予測値は、その地点から最も近い数値予報の格子点の値を使用した。

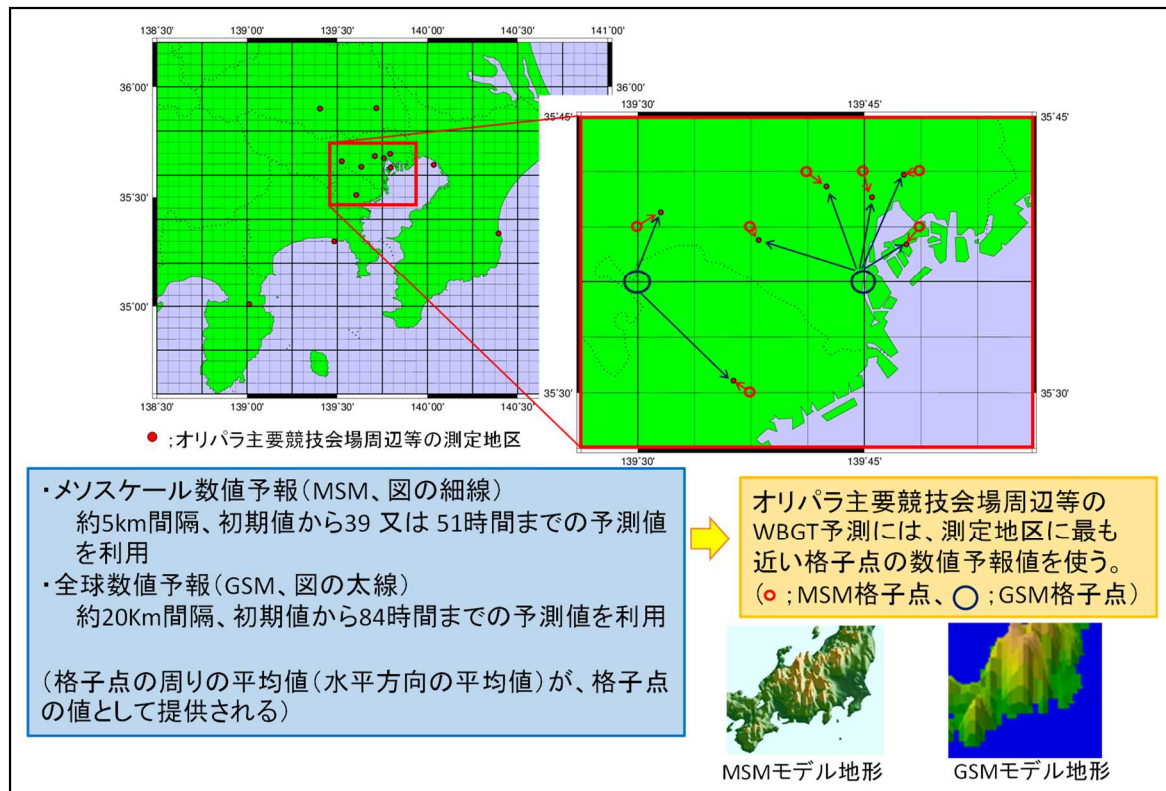


図 5-2 数値予報の格子点配置とオリパラ主要会場周辺等への適用

○WBGT 予測時間と情報作成スケジュールについて

実施した予測情報の予測対象時間と情報作成スケジュールを図 5-3 に示す。

2 つの数値予報モデルの予測時間範囲が異なるため、図に示したスケジュールにより、以下の予測情報作成を行った。

・新たな数値予報への更新を反映して 3 時間毎に WBGT 予測情報を更新した。(MSM3 時毎、GSM6 時間毎)

・予測時間の短い MSM による予測と長い GSM による予測を組み合わせ、熱中症予防情報サイトと同様に翌々日までの予測情報を利用可能とした。

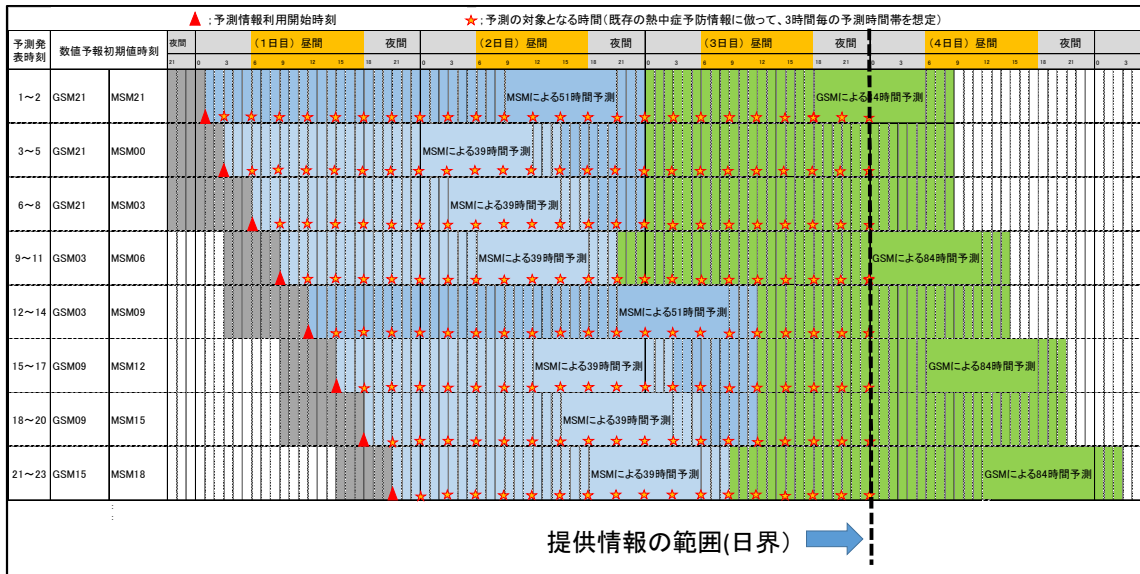


図 5-3 予測対象時間と情報作成スケジュール

○WBGT 予測値の作成

前述の通り、WBGT 予測値は基本的に気象庁数値予報値から気象要素（Ta,Tw,Tg）を求めて算出した。しかし、数値予報資料の利用のみでは、会場周辺の局地的な WBGT 予測値としては精度が不十分であるため、本業務で実施している各地区の WBGT 等観測値を用いて、補正処理を行うことで、精度向上を図った。処理の概要を、図 5-4 に示す。

処理の手順としては、まず、気象庁数値予報資料から気象要素（Ta,Tw,Tg）を算出する。この気象要素（Ta,Tw,Tg）から数値予報 WBGT 予測値を求める。一方、各地区の測定から得られる気象要素（Ta,Tw,Tg）からも WBGT 観測値を求める。この数値予報 WBGT 予測値と WBGT 観測値とを比較することで、予測誤差を求めることができ、これから得られた補正係数を加えることで、数値予報資料から算出した予測値を修正して最終的な WBGT 予測値とした。

予測値の修正は、以下の 2 段階で行われた。

①「逐次バイアス修正法」による、2 日先予測までの修正

数値予報 WBGT 予測値の 2 日先までの毎時の予測値と WBGT 観測値との誤差から、それぞれ予測時間ごとの補正係数を求め、修正に利用するものである。この手法では補正係数を予測対象の前日～数週間前の統計処理から求めるが、補正係数は日々緩やかに変動するため、予測計算のたびごとに再計算し、より信頼性の高い補正係数に更新することとした。

②「短時間バイアス修正」による予報作成時から目先 6 時間の修正

上記の統計的な補正値を適用した予測値も実況との誤差は、ある程度生じる。毎時の処理の時点での最新の WBGT 観測値と逐次バイアス修正法による修正後の予測値との誤差を元に、6 時間先までの予測値をさらに修正することで、短時間予測の精度向上を図った。この短時間修正の補正係数の算出は、令和元年度の技術検討に基づき以下の通りとした。

・最新時刻とその 1 時間前の誤差の平均値を修正値の開始値とした。

・この修正値の開始値から、7 時間先で 0 となるように直線的に減少する関数を適用し、6 時間先までの毎時予測値に対する修正値を求めた。

これらの、2 種類のバイアス補正手法は前述の 2 種類の数値予報値のそれぞれについて適用され、それぞれの補正済み予測値を予報時間範囲に応じて合成することで、提供用の WBGT 予測値とした。

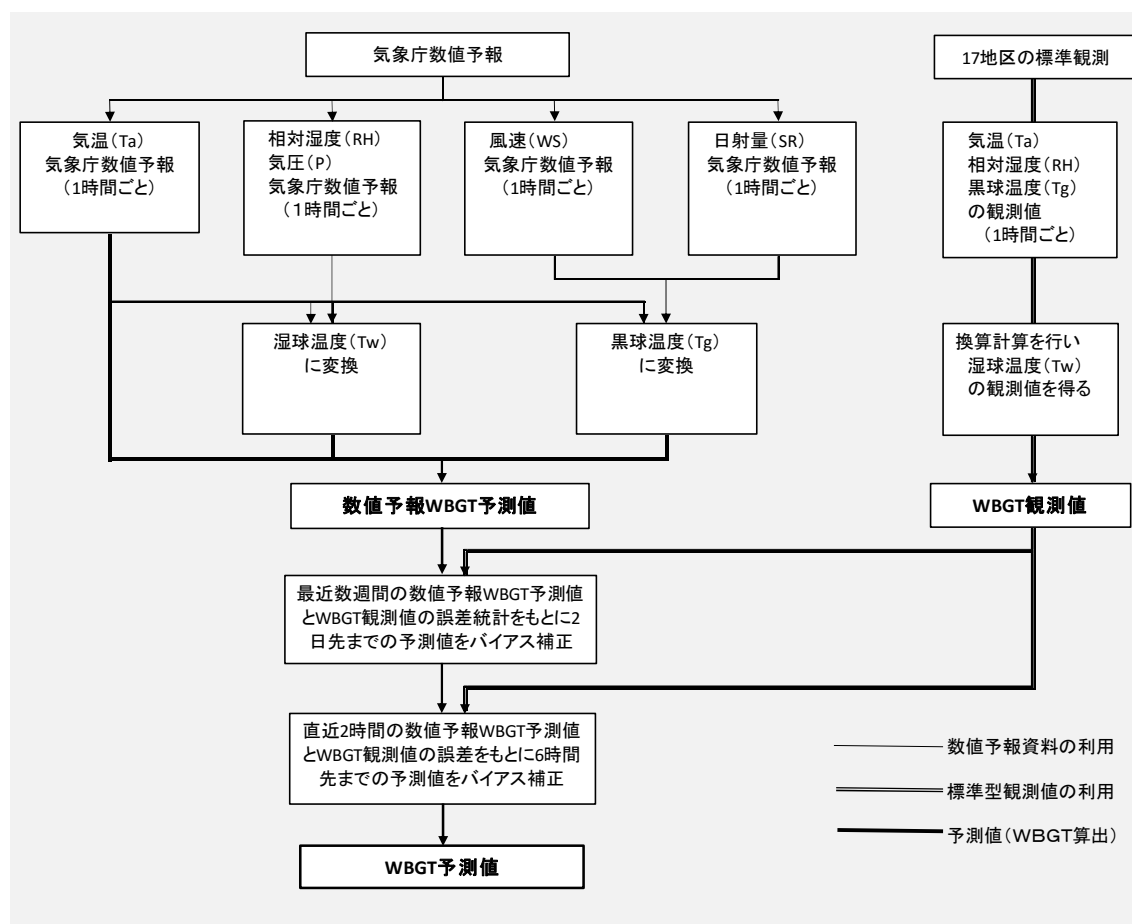


図 5-4 WBGT 予測手法の概要

（2）17 地区の WBGT 予測システムによるリアルタイム予測の実施結果について

上記のシステムによる予測情報作成を 2021 年夏期（7/1～9/10）の期間、毎時（1 日 24 回）、実行した。システム障害時にもバックアップにより、予測情報の継続的な作成・提供を維持するため、正・副システムおよび大阪バックアップシステムの 3 システムで、同様の処理を並行して実行した。

以下に、この予測の結果を報告する。

○会場周辺の WBGT 予測例

図 5-5 に、オリンピック・パラリンピック期間に作成された予測例を示す。

8 月 4 日前後は、新国立競技場周辺や埼玉スタジアム 2002 周辺などでオリンピック期間中に最も

高い WBGT が観測された日であるが、8 月 3 日朝 6 時の時点でこれらの日に対する予測情報が、どのように作成されていたかを見てみる。

図 5-5 の青色折れ線グラフが当日の実況 WBGT の 1 時間ごと時系列、赤色折れ線が 8 月 3 日朝 6 時時点で作成された 1 時間ごとの予測値の時系列である。これを見ると、日変化がおおむね良好に予測されており、特に熱中症リスクが問題となる日中の暑熱時間帯について、ピーク出現時間に若干の誤差はあるものの、高 WBGT の出現を事前に予測できていたことがわかる。しかし、予測 3 日目となる 8 月 5 日については、新国立競技場周辺の予測値が低めとなっており、予測期間が長くなると相対的に誤差が増大することも見て取れる。

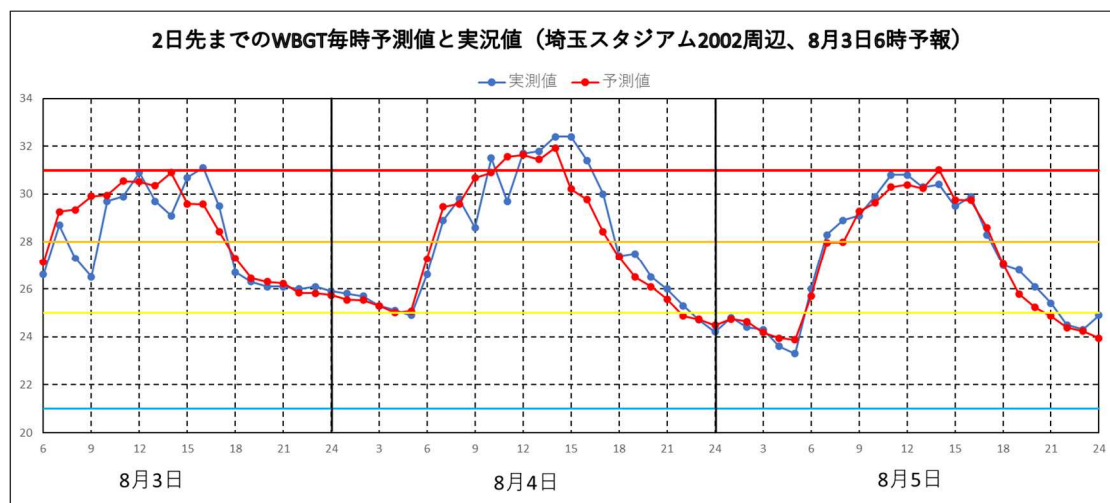
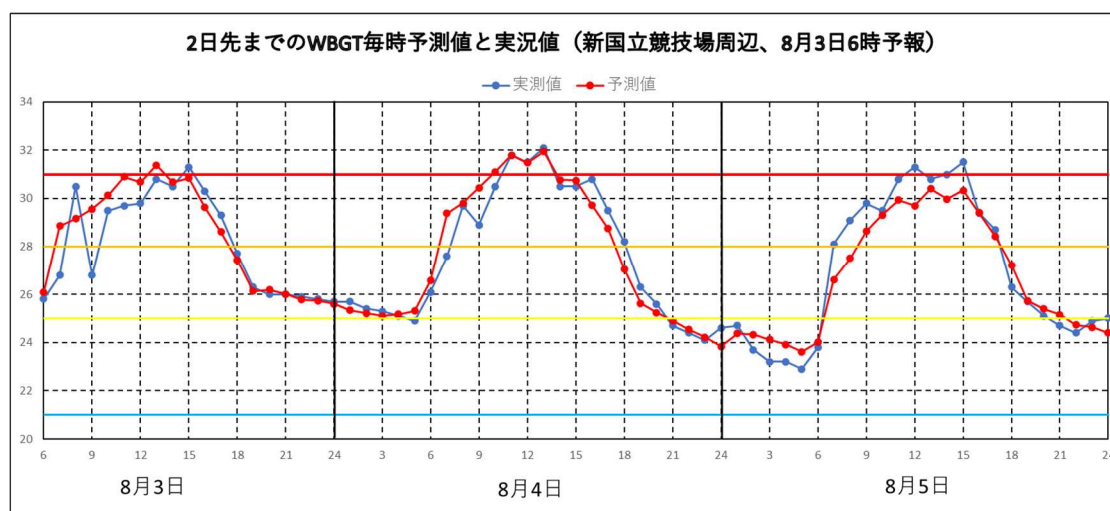


図 5-5 会場周辺 WBGT 予測

8 月 3 日朝 6 時作成予測値（上：新国立競技場周辺、下：埼玉スタジアム 2002 周辺）

○日最高 WBGT 値の予測結果について

次に、2021 年 7 月 1 日～9 月 15 日の業務期間の、各地区の日最高 WBGT 値の予測結果を示す。図 5-6(a)～(q)は、当日朝 6 時の時点で計算された各日の WBGT 予測値の最高値と対応する観測値の最高値のグラフである。オリンピック・パラリンピック開催期間を褐色ハッチで示した。

期間中に予測された日最高 WBGT 値はこの期間の実況 WBGT 最高値の日々の変動をおおむね正確に表現できている。日最高 WBGT 値の予測精度を定量的に把握するため、期間中の統計的な誤差の大きさを、バイアス（誤差の平均値）RMSE（誤差の 2 乗の平均値の平方根）の 2 つの指標で評価し、各グラフに付記した。

バイアス値を見ると、ほとんどの地点で、0 に近い小さな値となっており、逐次バイアス修正法によるバイアス補正処理がよく機能していたことがわかる。RMSE については、地域ごとにばらつきはあるものの、1.0 度～1.8 度程度であった。

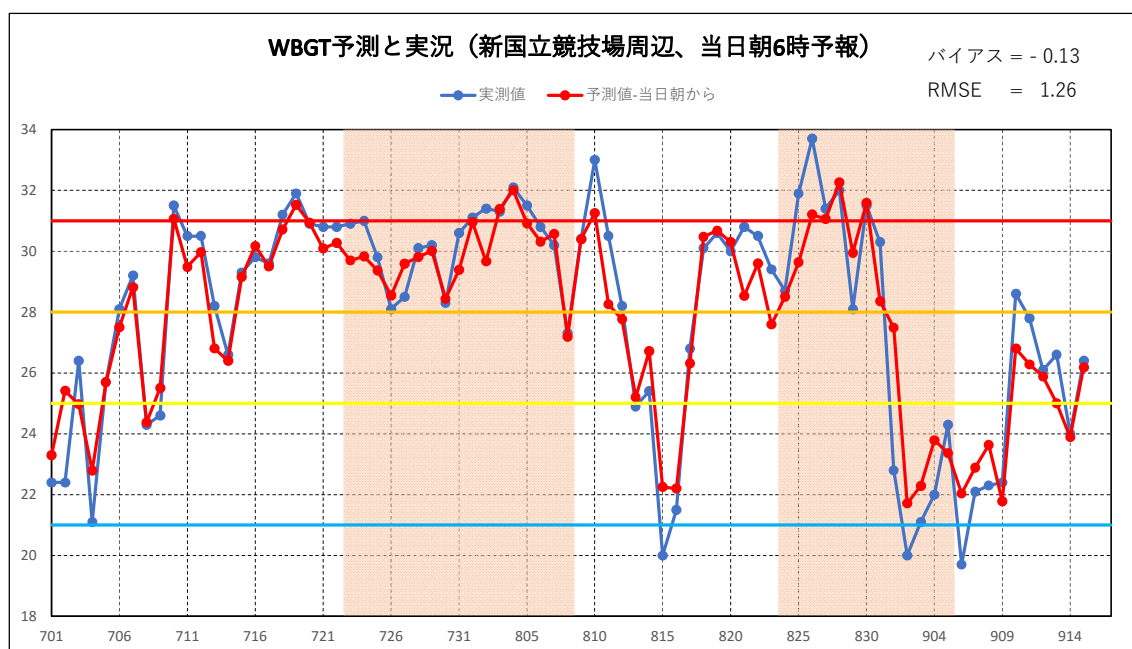


図 5-6(a) 日最高 WBGT 予測の検証結果（新国立競技場周辺）

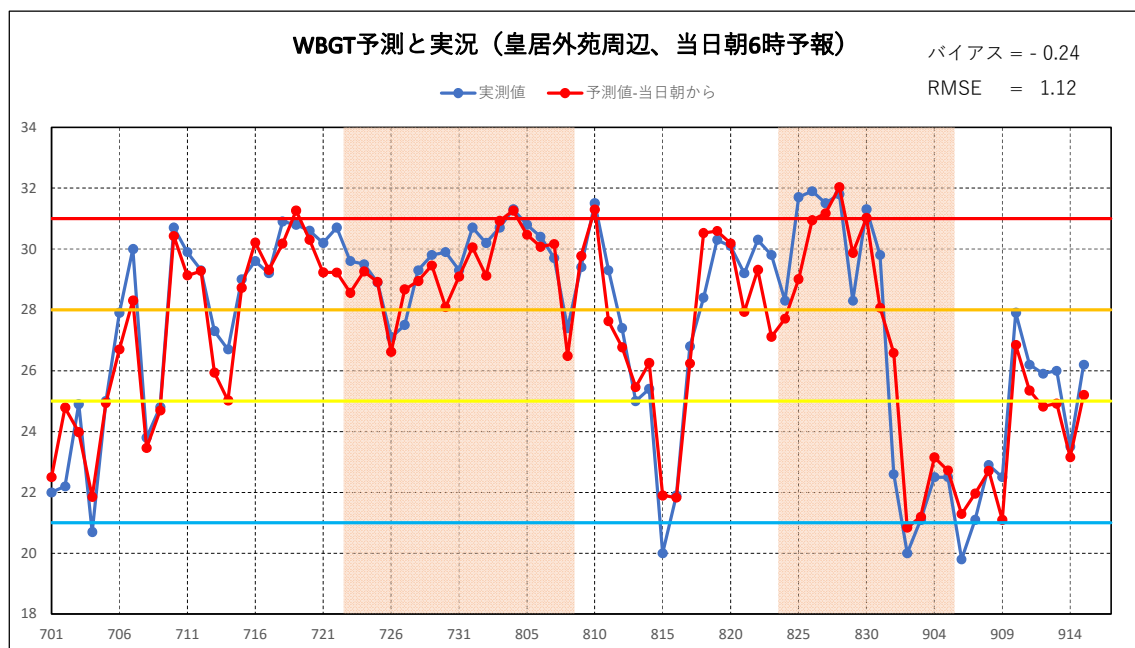


図 5-6(b) 日最高 WBGT 予測の検証結果（皇居外苑周辺）

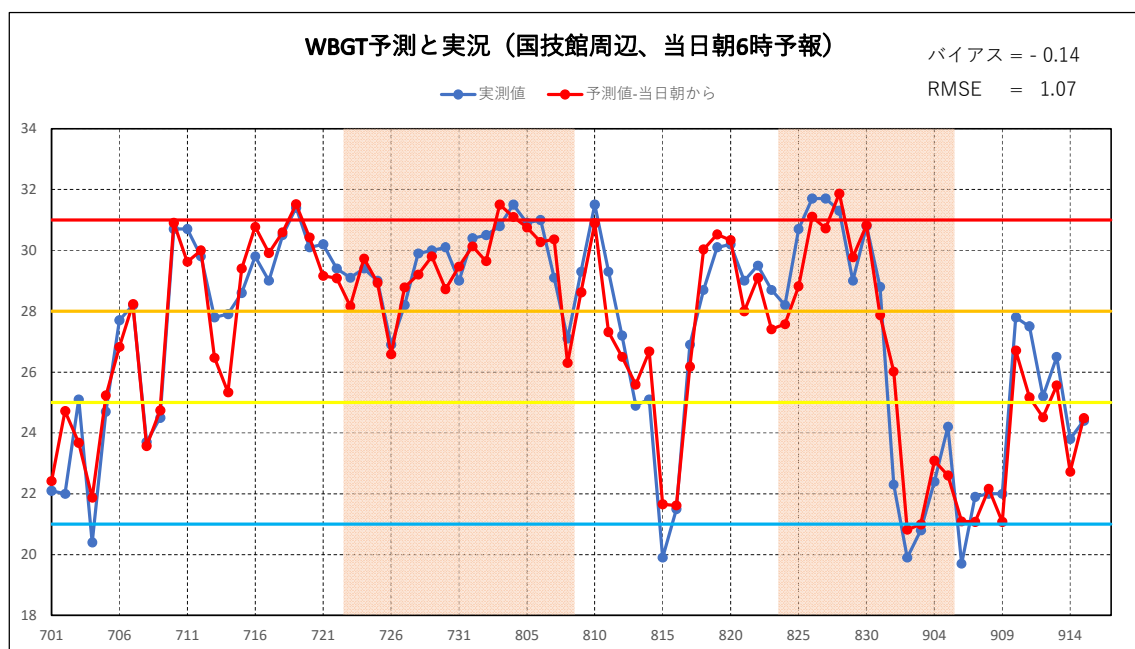


図 5-6(c) 日最高 WBGT 予測の検証結果（国技館周辺）

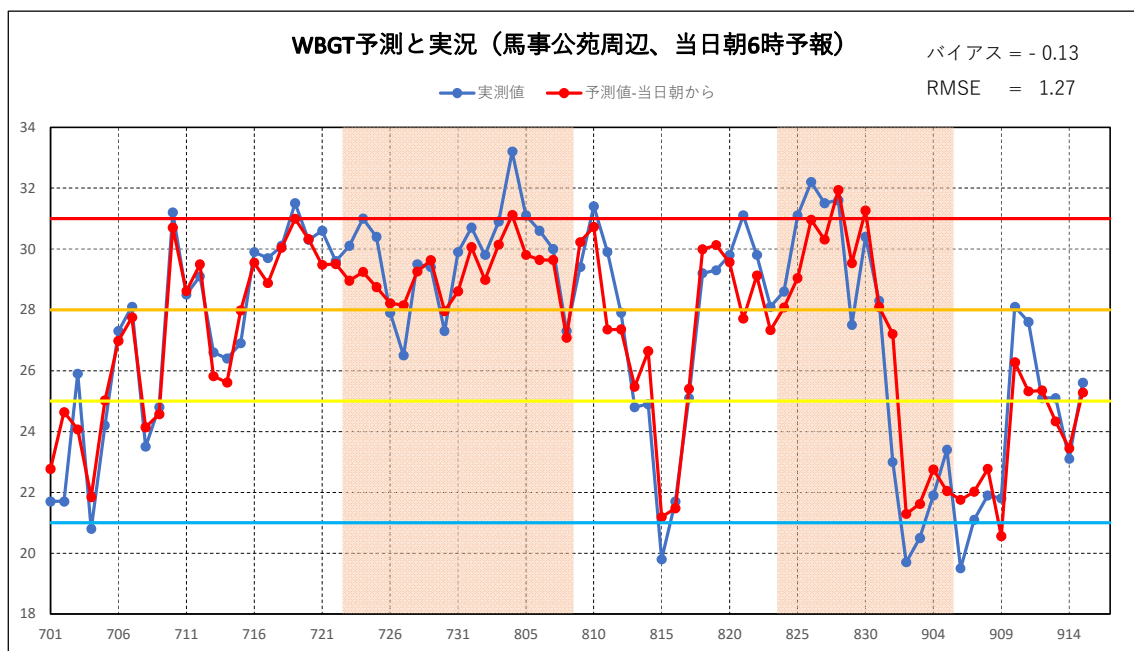


図 5-6(d) 日最高 WBGT 予測の検証結果（馬事公苑周辺）

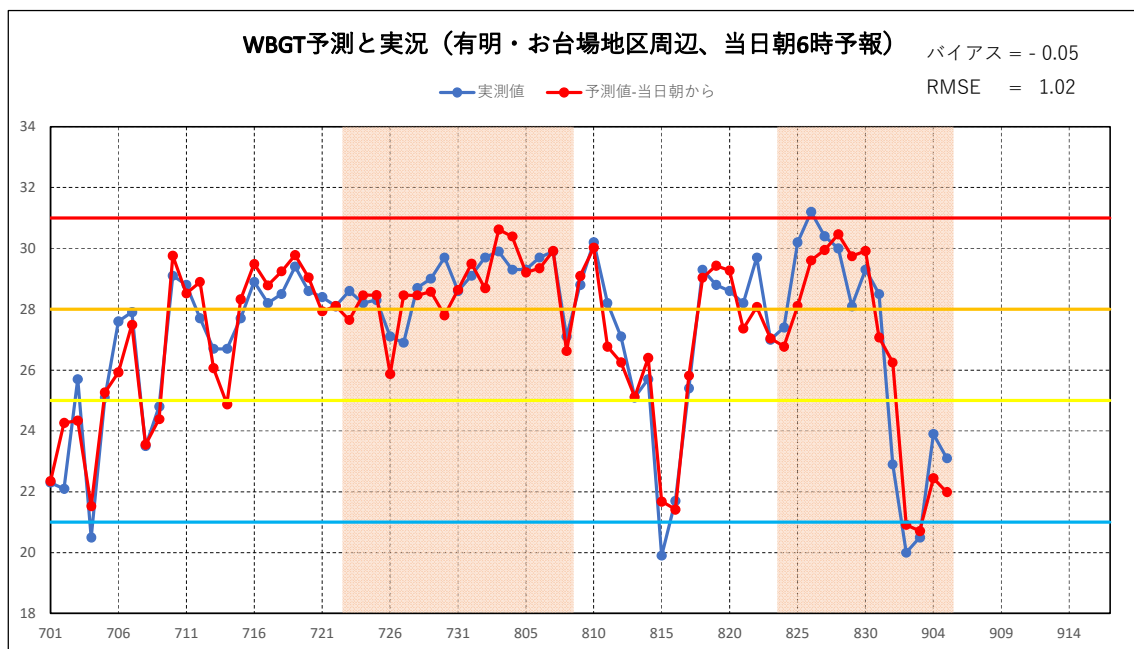


図 5-6(e) 日最高 WBGT 予測の検証結果（有明・お台場地区周辺）

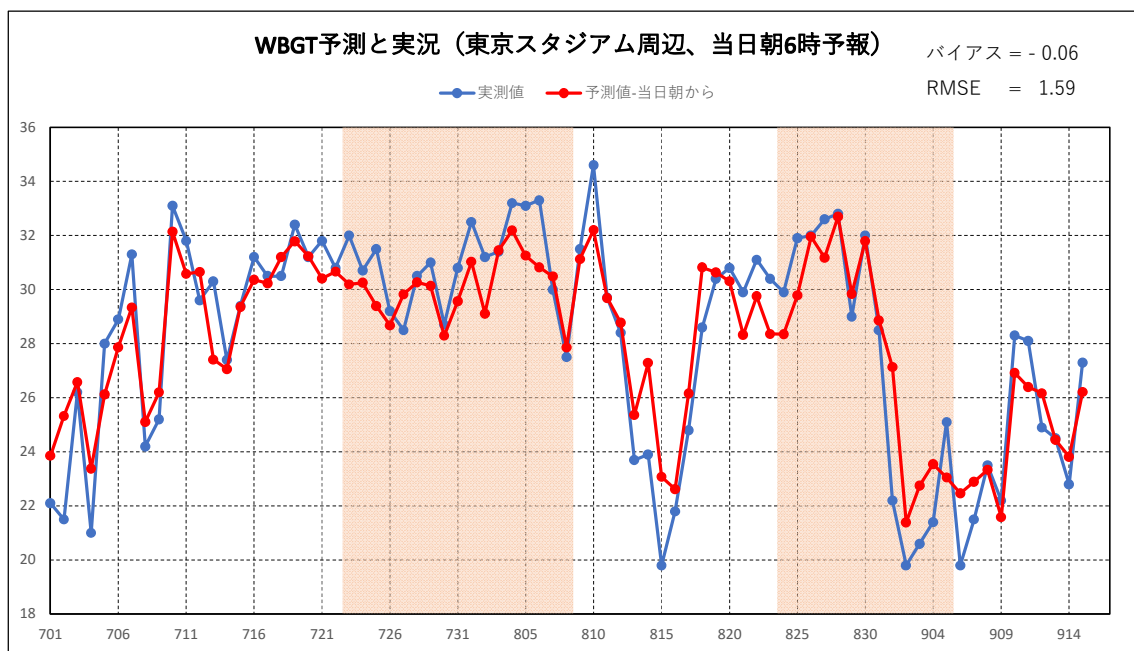


図 5-6(f) 日最高 WBGT 予測の検証結果（東京スタジアム周辺）

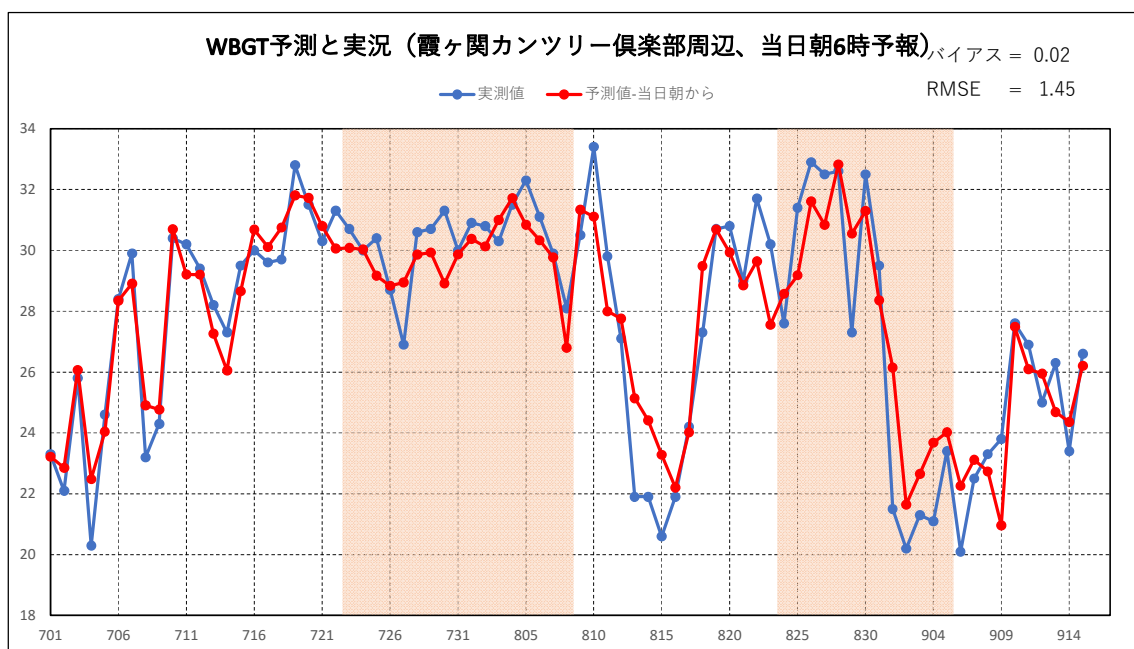


図 5-6(g) 日最高 WBGT 予測の検証結果（霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺）

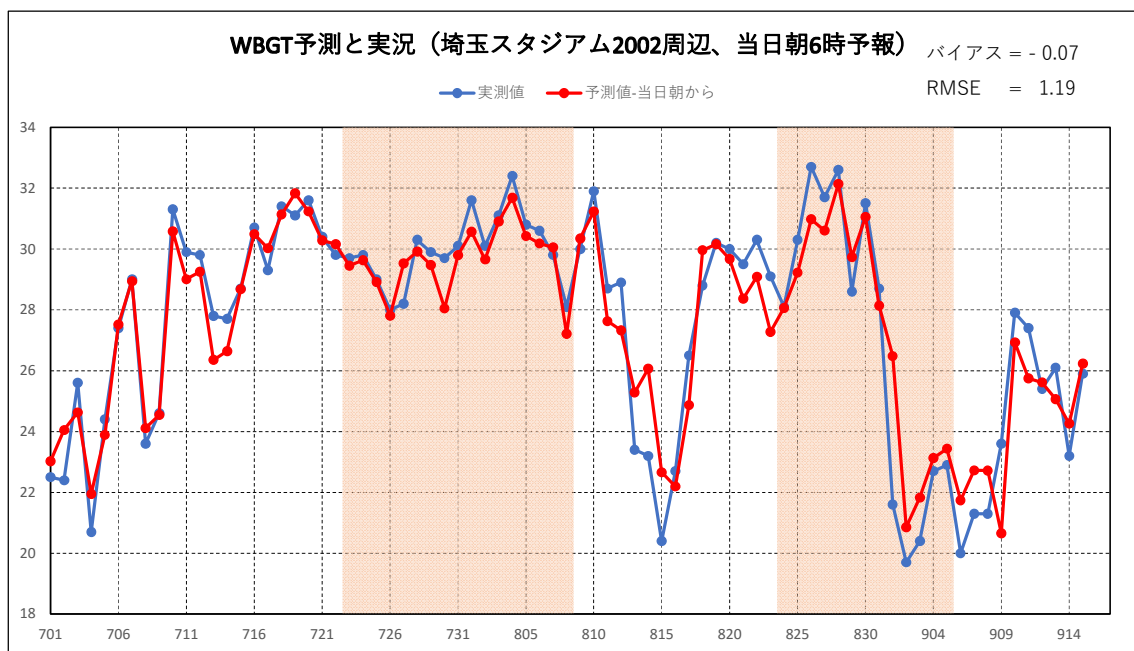


図 5-6(h) 日最高 WBGT 予測の検証結果（埼玉スタジアム 2002 周辺）

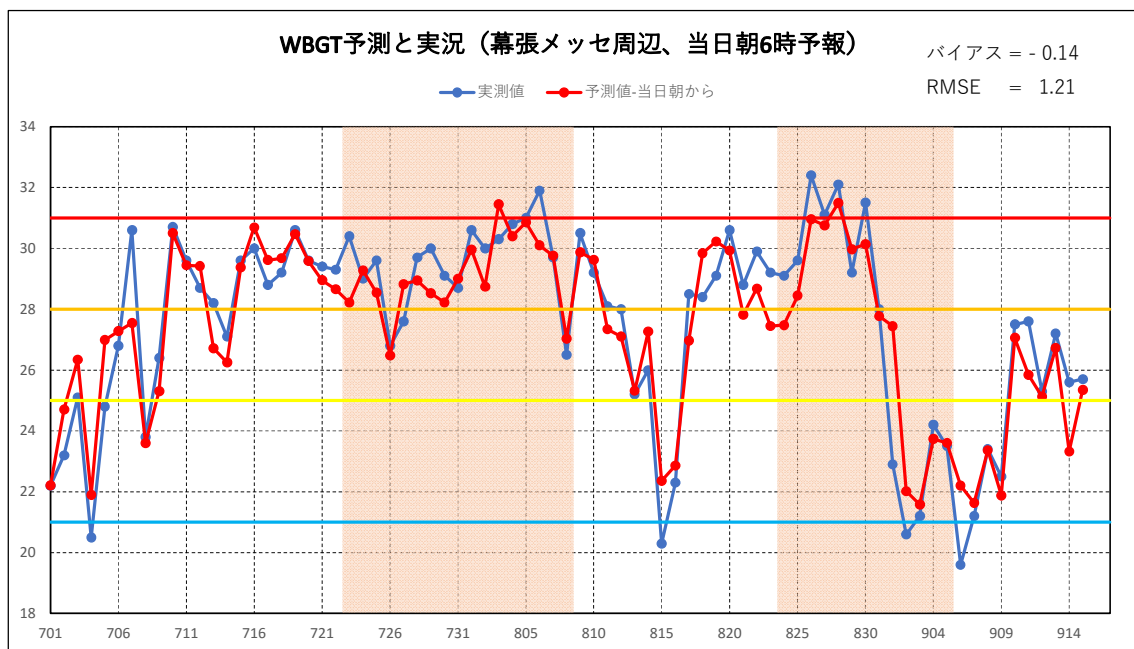


図 5-6(i) 日最高 WBGT 予測の検証結果（幕張メッセ周辺）

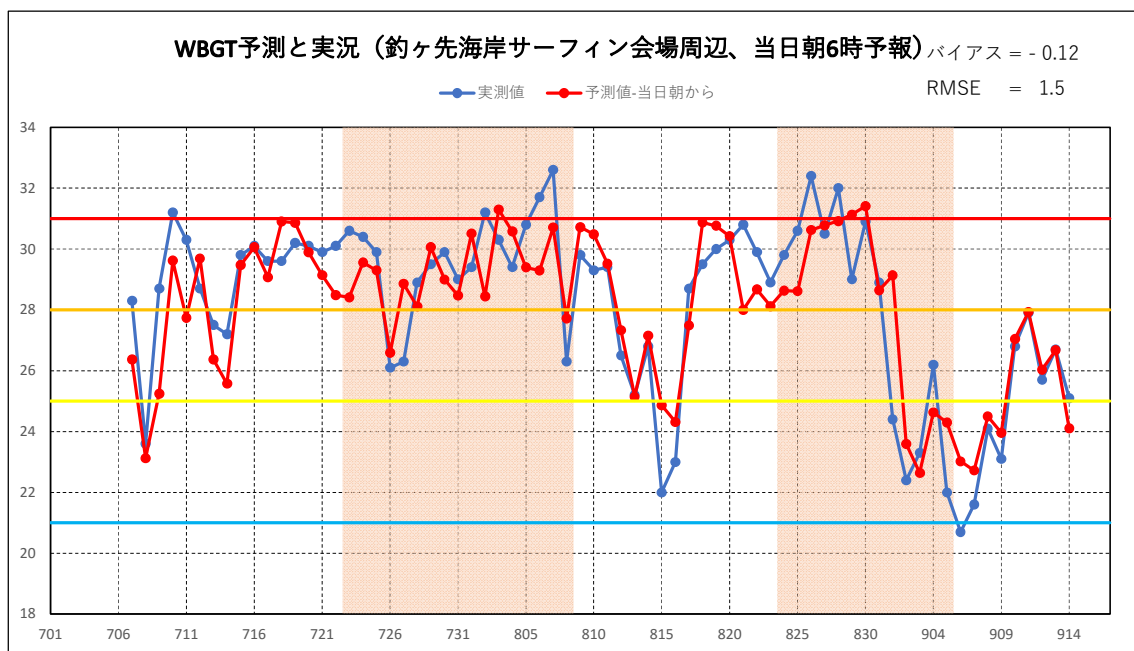


図 5-6(j) 日最高 WBGT 予測の検証結果（釣ヶ先海岸サーフィン会場周辺）

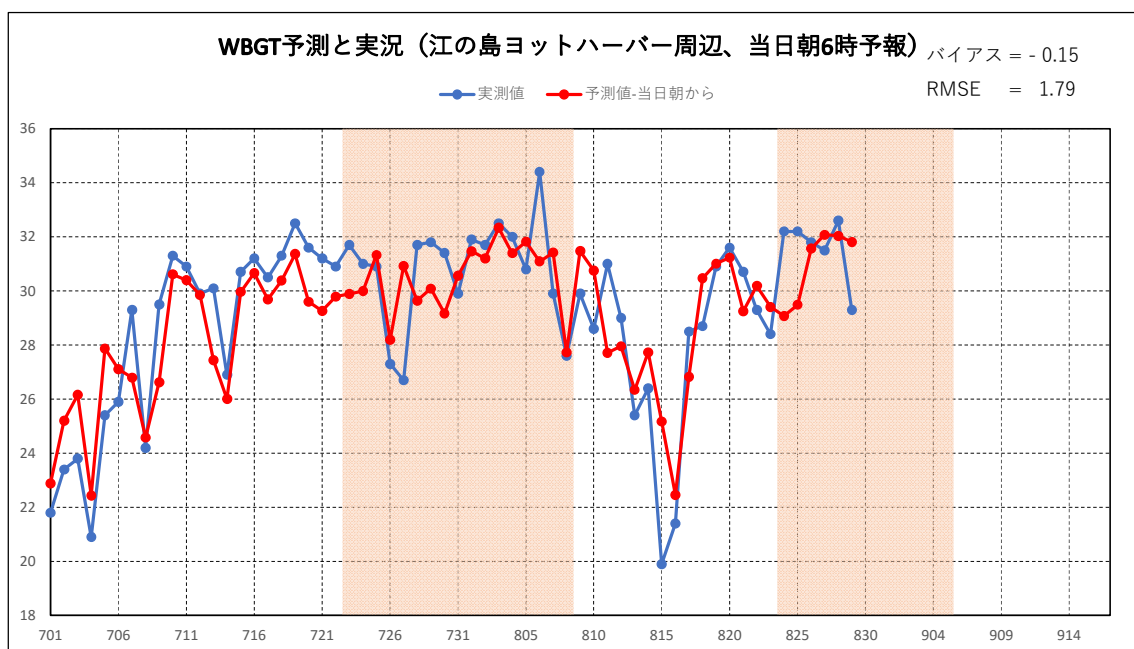


図 5-6(k) 日最高 WBGT 予測の検証結果（江の島ヨットハーバー周辺）

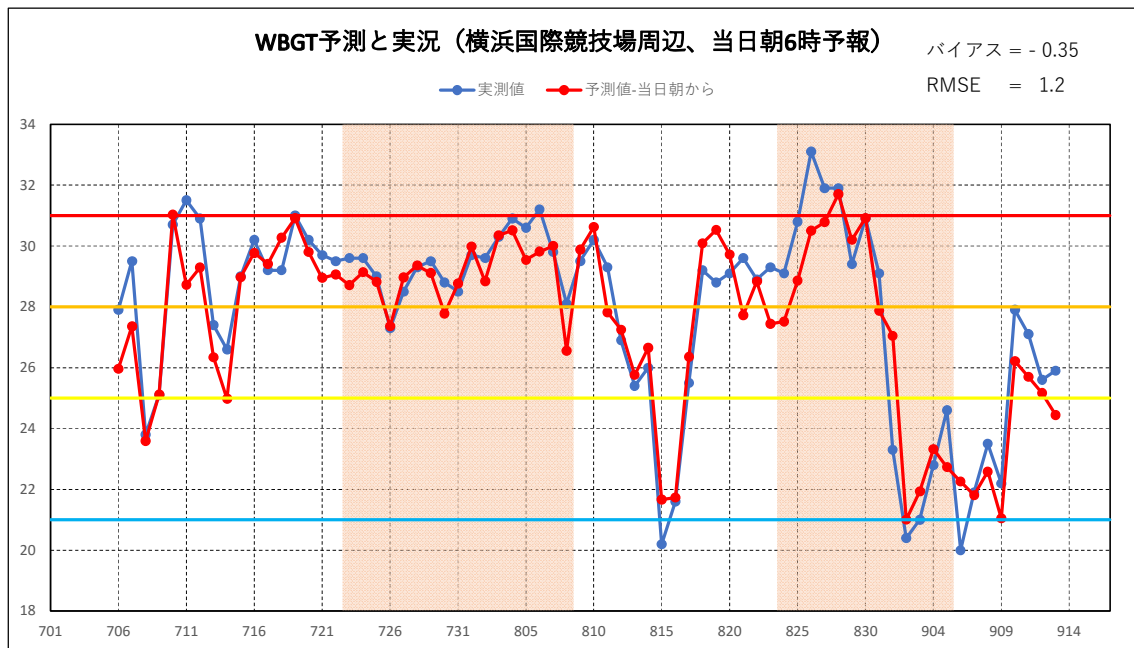


図 5-6(l) 日最高 WBGT 予測の検証結果（横浜国際競技場周辺）

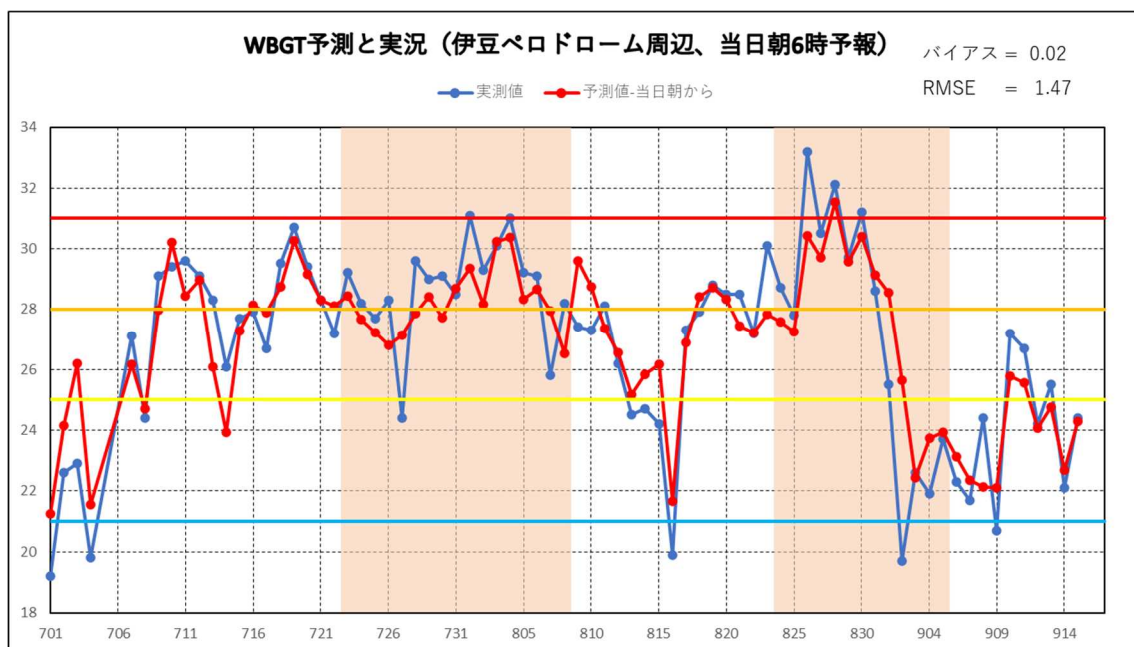


図 5-6(m) 日最高 WBGT 予測の検証結果（伊豆ペドロローム周辺）

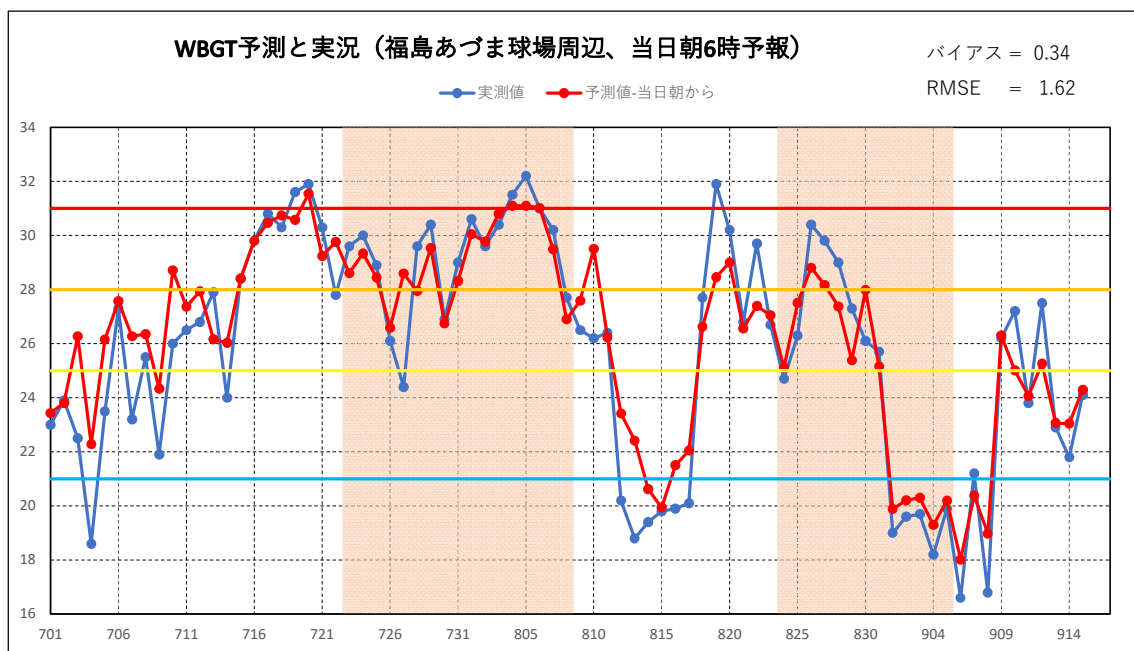


図 5-6(n) 日最高 WBGT 予測の検証結果（福島あづま球場周辺）

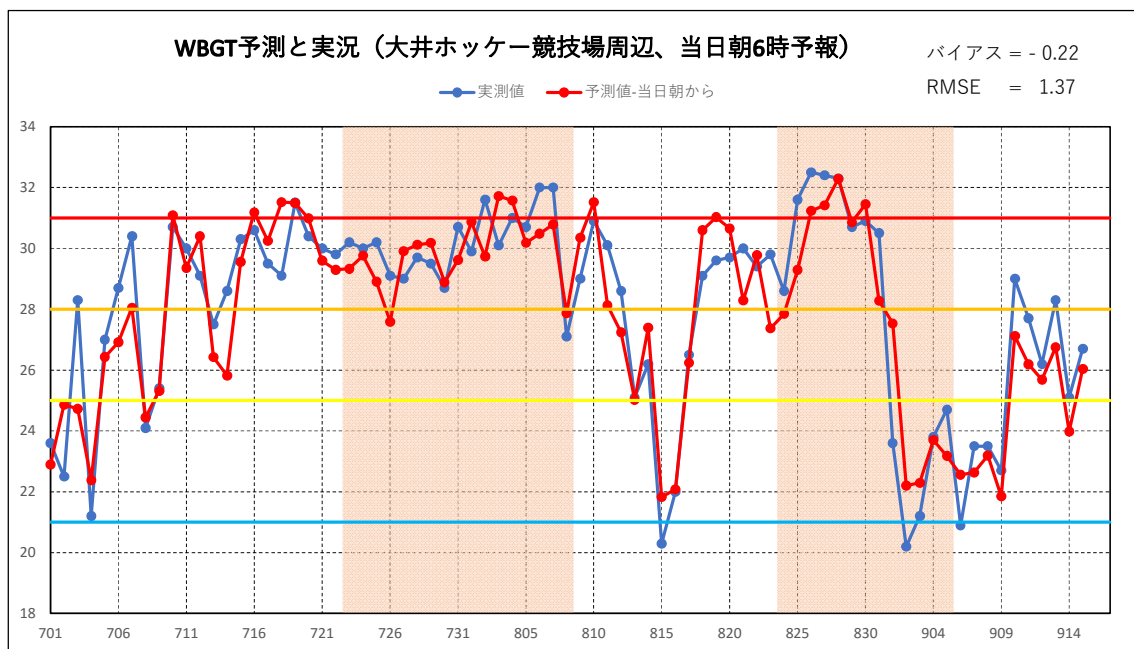


図 5-6(o) 日最高 WBGT 予測の検証結果（大井ホッケー競技場周辺）

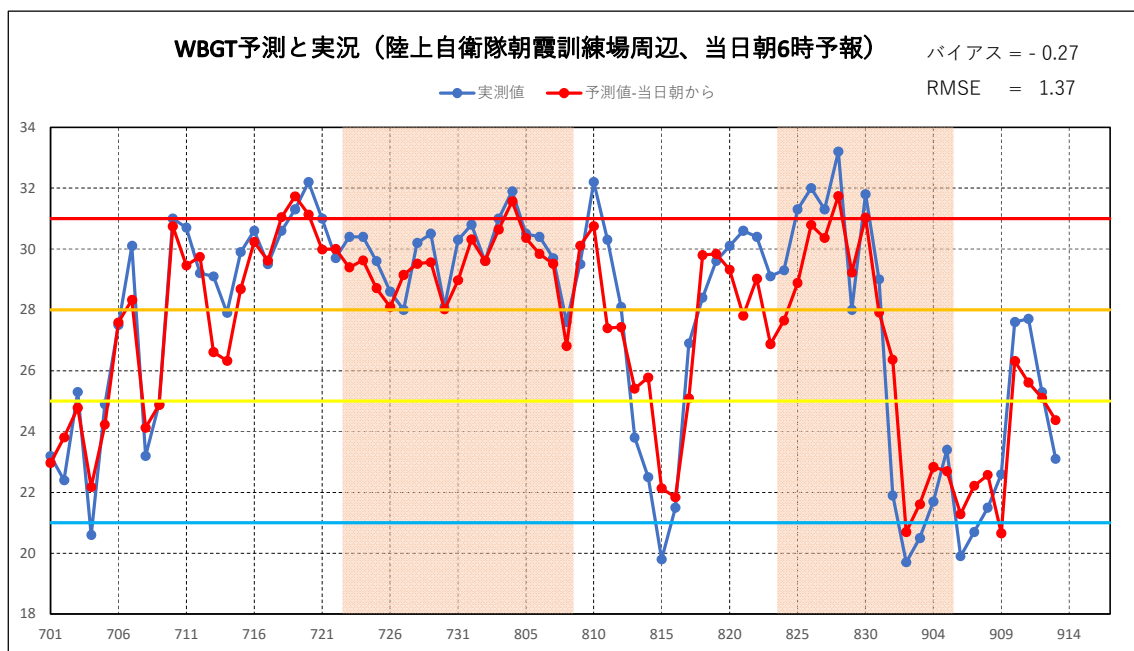


図 5-6(p) 日最高 WBGT 予測の検証結果（陸上自衛隊朝霞訓練場周辺）

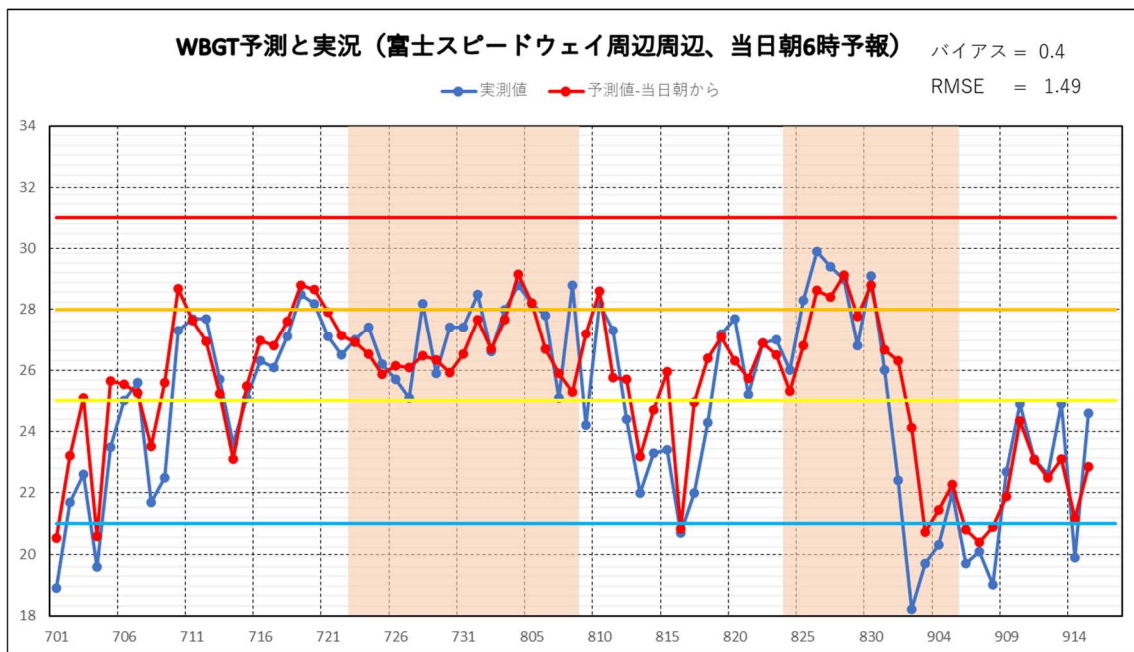


図 5-6(q) 日最高 WBGT 予測の検証結果（富士スピードウェイ周辺）

○予測時間の長さによる WBGT 予測精度の相違

本業務では、2 日先までの、WBGT 予測を提供するため、今夏の期間、毎時に 2 日先までの予測情報を作成した。予測期間が長くなる場合の精度への影響を試みる。

図 5-7 は、新国立競技場周辺の各日の日最高 WBGT について、当日 6 時作成の予測（同図、上段）、前日朝 6 時作成の予測（中段）、前々日朝 6 時作成の予測（下段）を示したグラフである。

当日朝からの予測や前日からの予測は、予測時間が長くなると誤差が大きくなる傾向はあるものの（当日朝からの予測では $RMSE=1.26$ に対し、前日朝からの予測では $RMSE=1.59$ ）、日最高 WBGT 値を概ね良く表現できている。

より予測時間が長い、前々日朝からの予測になると、日最高値が高い場合も低い場合も予測値の表現は不十分であり、統計的誤差も前 2 者に比してかなり大きい（ $RMSE=2.44$ ）。

前々日からの予測では、バイアス値が小さくない正の値（ $+0.58$ ）となっているが、これは主に WBGT 実況値が低かった日に対する予測値が、不正確でかなり高めだったことが、大きく影響している。

これらの前半の 2 予測期間（当日と前日予測）と 3 番目の前々日からの予測の相違は、前半はきめ細かな予測可能なメソ数値予報、最後の前々日からの予測の場合は空間分解能の低い全球数値予報と、2 つの異なった数値予報を用いていることが反映していると考えられる。

このように、WBGT 予測情報は、予測時間の長さにより、精度が低下する傾向があるので、予測情報を利用する際は、その時点で利用可能な最新の予測情報を活用すべきである。

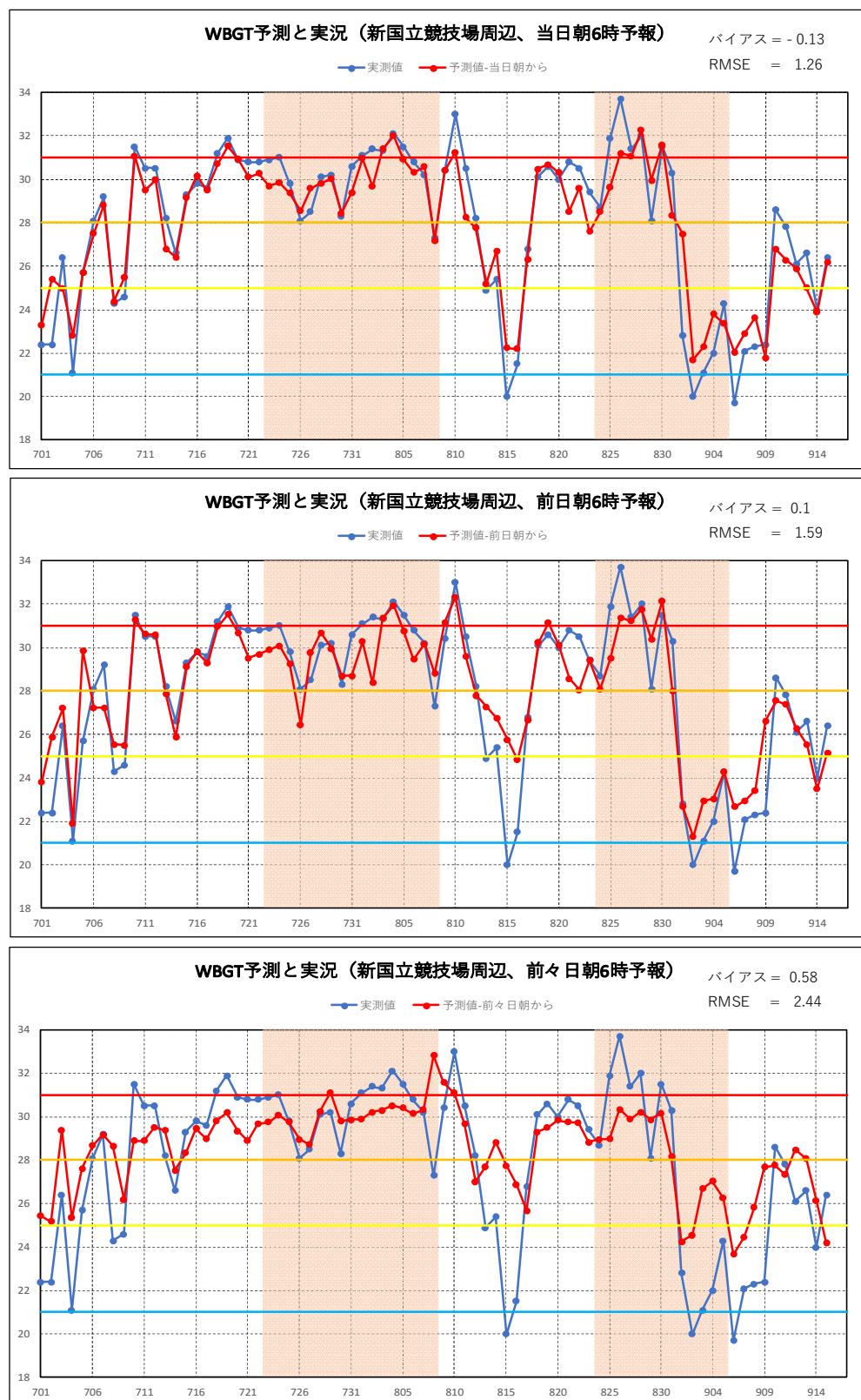


図 5-7 日最高 WBGT 予測の検証（予測期間の長さへの依存性、新国立競技場周辺）
 （上段：当日朝からの予測、中段：前日朝からの予測、下段：前々日朝からの予測）

表 5-2 に、全 17 地点について、当日、前日、前々日からの統計的な予測誤差について、まとめた。

表に示されたように、バイアス値については、当日朝予報と前日朝予報で、福島あづま球場周辺を除き極めて小さな値であり、前々日朝予報では、1 度未満だが小さくない正值であった。

RMSE については、当日予報では、1 度～1.8 度程度と高精度、前日予報では 1.3～2.0 度程度、前々日朝予報 1.8～2.5 度程度と予測時間が長くなるにつれて、誤差が大きくなる傾向は、すべての地点で共通である。

表 5-2 各地区の日最高 WBGT 予測精度の検証結果一覧表

No	測定地区	当日朝予報		前日朝予報		前々日朝予報	
		バイアス	RMSE	バイアス	RMSE	バイアス	RMSE
1	新国立競技場周辺	-0.13	1.26	0.10	1.59	0.58	2.44
2	皇居外苑周辺	-0.24	1.12	0.08	1.49	0.47	2.26
3	国技館周辺	-0.14	1.07	0.13	1.39	0.52	2.18
4	馬事公苑周辺	-0.13	1.27	0.14	1.64	0.66	2.42
5	有明・お台場地区周辺	-0.05	1.02	0.05	1.34	0.31	1.75
6	東京スタジアム周辺	-0.06	1.59	0.25	2.02	0.76	2.76
7	霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	0.02	1.45	0.16	1.74	0.60	2.32
8	埼玉スタジアム2002周辺	-0.07	1.19	0.17	1.42	0.58	2.14
9	幕張メッセ周辺	-0.14	1.21	0.00	1.51	0.28	2.11
10	釣ヶ先海岸サーフィン会場周辺	-0.12	1.50	0.00	1.87	0.22	2.05
11	江の島ヨットハーバー周辺	-0.15	1.79	-0.03	2.09	0.03	2.51
12	横浜国際競技場周辺	-0.35	1.20	-0.18	1.47	0.10	1.94
13	伊豆ベロドローム周辺	0.02	1.47	0.25	2.04	0.60	2.28
14	福島あづま球場周辺	0.34	1.62	0.53	2.24	0.65	2.23
15	大井ホッケー競技場周辺	-0.22	1.37	-0.02	1.67	0.37	2.19
16	陸上自衛隊朝霞訓練場周辺	-0.27	1.37	0.01	1.66	0.44	2.27
17	富士スピードウェイ周辺	0.40	1.49	0.55	1.63	0.73	1.77

(3) WBGT 予測実施のまとめ

オリパラ大会期間の WBGT 予測情報を、各会場周辺の地点で、良好な精度で作成・提供した。

気象庁の 2 つの数値予報モデルの予測値を基盤的予測データとし、これを本業務で実施した現地の WBGT 観測で逐次補正することで、精度向上が実現できた。

5. 3 リアルタイムモニターによる即時的なデータ提供

(1) 携帯型による即時的な情報提供

オリンピック・パラリンピック 15 会場では、携帯型を用いたリアルタイムモニタリングを実施した（詳細は第 3 章参照）。この測定結果は、オリンピック・パラリンピック組織委員会の各会場担当などの方々が閲覧された。リアルタイムモニターであるので 1 分毎の会場内の WBGT の変動を提供することができた。モニター画面等は第 3 章参照。

(2) リアルタイムモニター利用者の感想

リアルタイムモニターについては、会場内の WBGT をリアルタイムで知ることができるため、オリパラ大会というイベントの運営上、大変有効であるとの感想を各会場の担当者から伺った。

以下組織委委員会から寄せられた、各会場担当者の感想を記載する。

リアルタイムモニターを利用するのメリット

- ・リアルタイムで暑さ指数をモニタリングできたので便利だった。
- ・客観的に会場内の暑さ状況が把握出来るという点は、会場内で従事しているスタッフ管理部分においてとても役に立った。
- ・場所によって暑さの度合いも差があることが把握できたため、危ない箇所には重点的に暑さ対策を施すことが出来た。
- ・競技エリアが広大なため、幅広いエリアで観測することができエリア毎の WBGT 値は参考になった。
- ・モニタリングデータを会場管理部門のホワイトボードへ書き、ミーティング時の周知に活用できた。
- ・会場施設（スタジアム）の特性上、方角により暑さのピーク時が異なることから、リアルタイムに指数を把握することで、効果的にスタッフ等への声掛け・暑さ対策グッズの配布を行うことができた。
- ・場所ごとの WBGT に基づく危険性を視覚的に表すインターフェイスなど、非常に使いやすかった。

改善すべき点

- ・イベント運営中は作業等の兼ね合いから負担となるので、電池交換の頻度を減らせないか。