### 6 2020年の情報提供に向けての調査開発

### 6. 1 WRFモデルによる関東南部の暑熱分布の推定

#### (1) 調査目的

オリンピック・パラリンピックは東京周辺の関東南部を中心に数多くの会場で競技が開催される。観客や競技主催者の暑熱対策のためには各会場に観測機材を展開して実測を行うことが精度の良い情報を提供する観点では適切であるが、実際には難しいことから、天気予報などのために観測されている既存の気象観測データから、数値予報モデルの利用により暑熱環境の詳細な分布の推定が可能であるかについて調査した。

#### (2) 調査実施内容

- ・ 実施 筑波大学計算科学研究センター 日下研究室(日下教授、Lidia 研究員)
- ・ 利用した数値予報モデル WRFモデル\*1
- ・ 利用した計算機 筑波大学の計算機システム
- 解析内容

暑かった日の関東南部の詳細な暑熱環境について、気象庁数値予報モデル初期値を 境界条件に用いて、各時刻での気温などの分布を求める。

• 解析対象日

2018年7月18日~19日、 2018年7月22日~23日

・ 解析領域及び分解能

3 つの分解能でネスティング\*2 (図 6-1)

D01 領域:中部~南東北、4.5 km格子

100×100 格子

D02 領域: 関東、1.5 km格子

154×154 格子

D03 領域: 南関東、0.5 km (500m)

226×226 格子

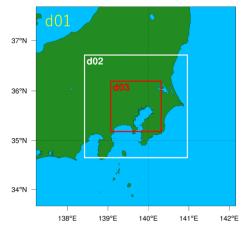


図 6-1 推定に用いた WRF モデル に適用した DO1~DO3 の領域

D03 領域が東京周辺を含めオリンピック・パラリンピックの多くの会場を含む、解析対象領域。

<sup>\*&</sup>lt;sup>1</sup> 米国大気研究センター(NCAR)と米国海洋大気庁予測センター(NCEP)で開発された学術研究と天気予報の両方に対応した数値気象モデル

<sup>\*&</sup>lt;sup>2</sup> 格子間隔の大きい気象モデルの値を用いて、内側に設定したより格子間隔の小さい別の気象モデルの解析、予報などを行うことを指す

- 境界条件等で利用した外部データ Meso-scale model (MSM) \*3 NCEP Final Analysis dataset\*4
- ・ 地表面条件の特徴 土地利用について 2016年の東京及び 周辺の状況を利用。

Urban Fraction (都市化度) を 0.01-0.55 (低)、0.55-0.85 (中)、0.85-1.00 (高) として設定した (図 6-2)。

そのほかの地表面等の情報は一定と した(表 6-1)。

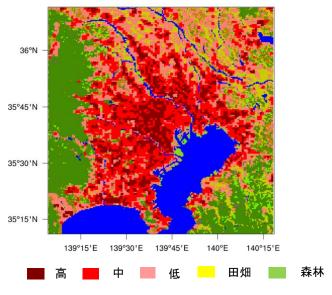


図 6-2 モデルの土地利用条件

表 6-1 モデルの地表面条件設定値

Case		Present case	
Land use category	31 Low fraction	32 Medium fraction	33 High fraction
Building height (m)	7.0	7.0	7.0
AH (W m <sup>-2</sup> )	37.0	37.0	37.0
Urban fraction (%)	45	69	92
Heat capacity of roof (J m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	1.46 x 10 <sup>6</sup>	1.46 x 10 <sup>6</sup>	1.46 x 10 <sup>6</sup>
Heat capacity of building wall (J m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	1.71 x 10 <sup>6</sup>	1.71 x 10 <sup>6</sup>	1.71 x 10 <sup>6</sup>
Heat capacity of road (J m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	1.94 x 10 <sup>6</sup>	1.94 x 10 <sup>6</sup>	1.94 x 10 <sup>6</sup>
Thermal conductivity of roof (J m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.81	0.81	0.81
Thermal conductivity of building wall (J m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1.02	1.02	1.02
Thermal conductivity of road (J m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.75	0.75	0.75

出力要素、出力時間間隔 気温、WBGT (その他算出要素) 1 分値

<sup>\*3</sup> 気象庁:初期値及び境界条件として利用

<sup>\*4</sup> 米国、国立環境予測センター (NOAA: 米国海洋大気庁の下部組織): モデル地表面等の境界条件に利用

#### • 精度評価

- ① 気象庁がアメダス観測点で測定している気温について、解析した気温と比較する。
- ② 本業務で測定している 14 地区の標準型データと、気温及び WBGT の解析結果とを比較する。

この精度評価により、今後この手法をもちいて、既存の WBGT 情報提供地点(気象庁アメダス観測点)及び本業務で測定している 14 地区以外のオリンピック・パラリンピック会場周辺の WBGT を推定する場合の可能性を検討する。

## (3) 解析結果1 (アメダス観測点での比較)

解析結果について、予防情報サイトで情報提供をしているアメダス観測点での気温の実 測値との比較を行った(図 6-3)。比較は都市化度の違う、練馬(都市化度:高)、東京(都 市化度:中)、鳩山(都市化度:低)の3地点で行った。

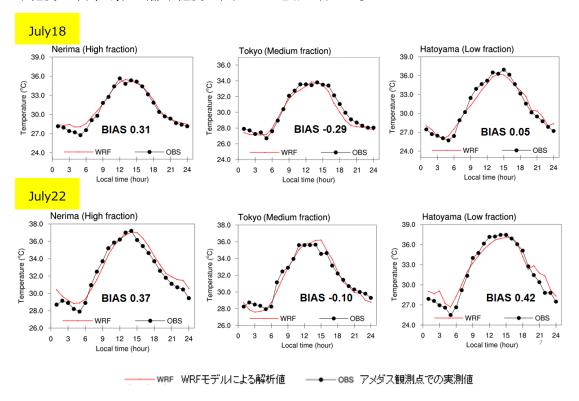


図 6-3 アメダス地点での解析結果と実測値の比較 (気温)

各地点での比較結果からは解析結果が、日中の高温を含め、概ね 1 日の気温の変動を的確に表現しており、解析結果の精度が確認できる。

## (4) 解析結果2 (14地区での気温の日変化の解析)

本業務で測定している 14 地区および、予防情報サイトで「東京」としてデータを公開している、小石川植物園の計 15 か所(表  $6\cdot2$ )のうち、モデルの解析対象エリアから外れる、⑩釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺、⑬伊豆ベロドローム周辺、⑭福島あづま球場周辺を除く 12 か所について比較した。

表 6-2 解析結果の比較のために用いた測定箇所

No	地区名称	住所
1	新国立競技場周辺	東京都新宿区
2	皇居外苑周辺	東京都千代田区
3	国技館周辺	東京都墨田区
4	馬事公苑周辺	東京都世田谷区
5	有明 ·お台場地区周辺	東京都江東区
6	東京スタジアム周辺	東京都調布市
7	霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	埼玉県川越市
8	埼玉スタジアム2002周辺	埼玉県さいたま市緑区
9	幕張メッセ周辺	千葉県千葉市美浜区
10	釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺	千葉県長生郡一宮町
11	江の島ヨットハーバー周辺	神奈川県藤沢市
12	横浜国際総合競技場周辺	神奈川県横浜市港北区
13	伊豆ベロドローム周辺	静岡県伊豆市
14	福島あづま球場周辺	福島県福島市
15	東京	東京都文京区

7月18日の時刻別気温の変化の状況を図6-4にまとめた。

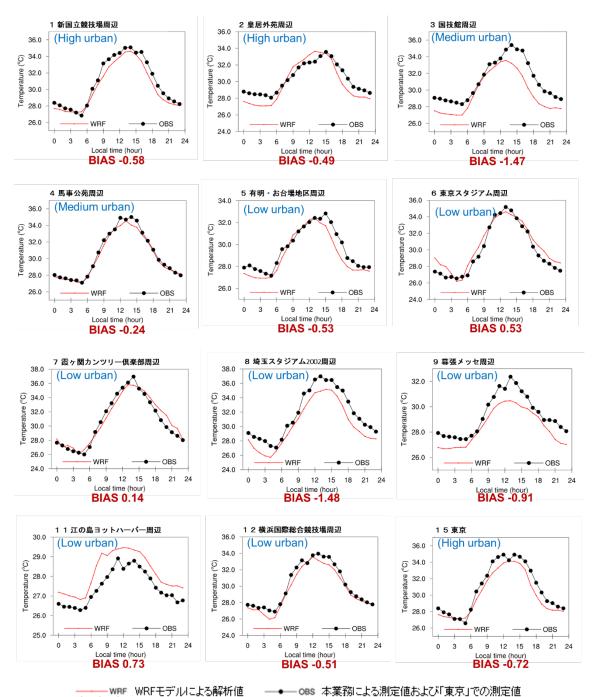


図 6-4 2018 年 7 月 18 日の各地区の気温変化の比較

海岸沿いの地区(幕張メッセ周辺、江の島ョットハーバー周辺、有明・お台場地区周辺)などでは誤差が大きくなり、最大2℃程度ある。

- (5) 解析結果3 (14地区でのWBGTの日変化の解析)
- (4) と同様の 12 カ所について、解析から求めた WBGT (図 6-5 右) と 測定値 (図 6-5 左) とを 7 月 18 日 $\sim$ 19 日について比較する。

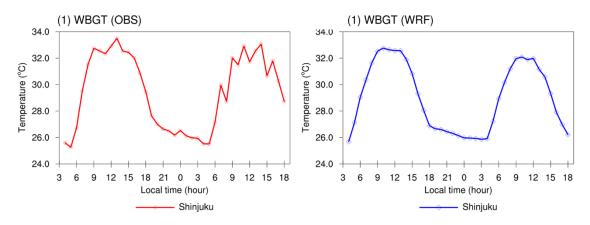


図 6-5(a) 新国立競技場周辺の WBGT 時刻別変化

新国立競技場周辺では、日中のピーク値、夜間のピーク値もほぼ同じ程度となっている。

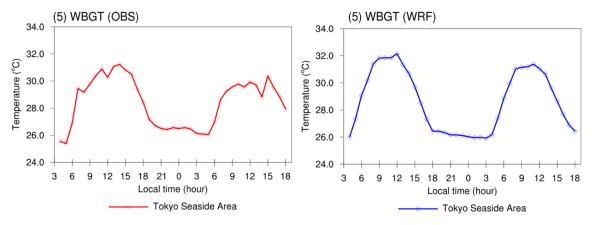


図 6-5(b) 有明・お台場地区周辺の WBGT 時刻別変化

図 6-4 に示した気温では、午後の時間帯モデルによる解析値の方が実測値より低く出ていたが、WBGTではモデルによる解析値の方が若干高めに出ている。

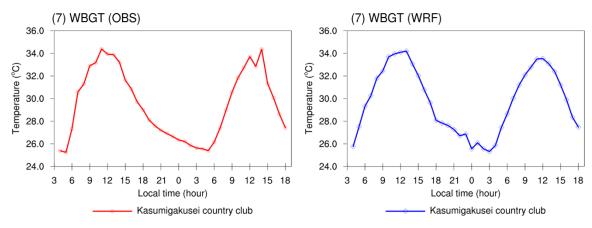


図 6-5(c) 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺の WBGT 時刻別変化

WBGTでは、モデルによる解析値が実測値と同程度かやや低めに出ている。

以上3か所で見る限り、全体としては日変化を良く表現しているが、気温とWBGTでは、特に日中の高温に関しては、わずかに逆の傾向を示している場合もある。

### (6) 全地区の誤差の状況のまとめ

調査対象の 4 日間の各地区における毎正時値から求めた日最高気温、日最低気温、日最 高 WBGT について表 6-3(a),(b),(c)にまとめた。

毎正時値最高気温	18日		19	19日		22日		23日		差:WRF-実測)		
地区名称	実測	WRF	実測	WRF	実測	WRF	実測	WRF	差の平均	差の最大	差の最小	
新国立競技場周辺	35.4	35.3	35.2	34.0	36.4	36.7	39.0	36.5	- 0.9	0.3	- 2.5	
皇居外苑周辺	34.5	34.3	33.1	32.8	34.1	36.2	36.7	36.4	0.3	2.1	- 0.3	
国技館周辺	36.2	34.2	35.3	32.9	35.4	36.0	38.2	36.5	- 1.4	0.6	-2.4	
馬事公苑周辺	35.3	35.1	34.9	34.0	36.3	36.5	39.7	36.2	- 1.1	0.2	- 3.5	
有明 ·お台場地区周辺	33.5	33.2	32.6	31.8	33.4	34.9	35.2	35.3	0.1	1.5	- 0.8	
東京スタジアム周辺	35.5	35.0	34.9	34.2	35.6	36.1	38.5	36.5	- 0.7	0.5	-2.0	
霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	37.3	36.4	36.6	35.6	37.4	37.4	39.5	37.1	- 1.1	0.0	-2.4	
埼玉スタジアム2002周辺	38.0	35.7	36.6	34.7	37.7	37.1	39.3	36.9	- 1.8	- 0.6	-2.4	
幕張メッセ周辺	32.4	30.7	32.3	30.4	32.6	32.5	37.0	34.7	- 1.5	- 0.1	-2.3	
江の島ヨットハーバー周辺	28.9	29.7	28.7	29.3	29.7	31.1	31.4	33.8	1.3	2.4	0.6	
横浜国際総合競技場周辺	34.8	33.9	33.9	33.2	35.6	35.4	38.0	35.5	- 1.1	- 0.2	- 2.5	
東京	35.4	34.9	35.4	33.4	35.6	36.6	38.1	36.7	- 0.7	1.0	-2.0	

表 6-3(a) 毎正時値から求めた日最高気温の測定値と WRF による推定値

表 6-3(b) 毎正時値から求めた日最低気温の測定値と WRF による推定値

毎正時値最低気温	18	日	19	日	22	日	23	日	差	:WRF-実	測)
地区名称	実測	WRF	実測	WRF	実測	WRF	実測	WRF	差の平均	差の最大	差の最小
新国立競技場周辺	27.0	27.3	26.7	27.2	26.4	28.1	30.0	28.5	0.3	1.7	- 1.5
皇居外苑周辺	28.3	27.0	27.8	27.2	28.2	27.8	30.3	28.3	- 1.1	- 0.4	-2.0
国技館周辺	28.7	26.9	27.9	27.1	29.1	26.6	30.3	28.2	- 1.8	- 0.8	- 2.5
馬事公苑周辺	27.1	27.0	27.1	27.1	27.3	26.7	29.2	28.8	- 0.3	0.0	- 0.6
有明 ·お台場地区周辺	27.1	26.9	27.3	27.1	27.5	26.2	30.0	27.8	- 1.0	- 0.2	-2.2
東京スタジアム周辺	26.8	26.3	26.3	26.4	26.3	26.7	26.6	28.9	0.6	2.3	- 0.5
霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	26.3	26.5	26.1	26.2	25.9	26.0	26.1	26.4	0.2	0.3	0.1
埼玉スタジアム2002周辺	27.2	26.2	27.0	25.8	26.8	26.2	27.8	26.0	- 1.2	- 0.6	-1.8
幕張メッセ周辺	27.4	26.8	27.4	26.8	27.9	27.0	28.3	25.8	- 1.2	- 0.6	- 2.5
江の島ヨットハーバー周辺	26.3	27.0	26.3	26.8	26.9	27.5	26.9	26.5	0.4	0.7	-0.4
横浜国際総合競技場周辺	27.0	26.7	26.8	25.4	26.9	25.4	27.4	28.7	- 0.5	1.3	- 1.5
東京	26.7	27.1	26.4	27.2	26.8	27.4	29.0	28.4	0.3	0.8	- 0.6

表 6-3(c) 毎正時値から求めた日最高 WBGT の測定値と WRF による推定値

毎正時値最高W BGT	18	日	19	日	22	日	23	日	差	:WRF-実	測)
地区名称	実測	WRF	実測	WRF	実測	WRF	実測	WRF	差の平均	差の最大	差の最小
新国立競技場周辺	33.5	32.6	33.1	32.0	34.0	34.0	34.2	33.2	- 0.8	0.0	- 1.1
皇居外苑周辺	31.6	32.3	30.9	31.2	31.3	33.4	32.3	33.0	0.9	2.1	0.3
国技館周辺	33.3	32.5	32.8	31.9	32.3	33.7	33.3	33.5	0.0	1.4	- 0.9
馬事公苑周辺	32.8	33.1	32.9	32.0	33.3	33.9	35.4	33.7	- 0.4	0.6	-1.7
有明 ·お台場地区周辺	31.2	32.2	30.4	31.4	30.7	33.0	31.9	32.6	1.3	2.3	0.7
東京スタジアム周辺	34.3	33.8	33.6	32.8	33.0	34.1	34.7	33.7	- 0.3	1.1	-1.0
霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	34.4	34.2	34.4	33.5	35.5	34.6	35.8	33.6	- 1.1	- 0.2	-2.2
埼玉スタジアム2002周辺	33.9	33.1	33.8	32.0	33.7	34.7	33.8	34.0	- 0.3	1.0	- 1.8
幕張メッセ周辺	31.9	30.7	31.4	30.8	31.9	32.1	33.7	32.9	- 0.6	0.2	-1.2
江の島ヨットハーバー周辺	29.5	31.1	28.9	30.4	30.1	31.6	31.0	32.2	1.5	1.6	1.2
横浜国際総合競技場周辺	33.2	33.0	32.0	32.2	33.5	33.8	33.6	32.8	- 0.1	0.3	- 0.8
東京	33.4	32.8	34.2	32.1	33.8	33.8	34.1	33.5	- 0.8	0.0	-2.1

毎正時値から求めた日最高気温、日最低気温、日最高 WBGT の差はいずれも平均値では  $2^{\circ}$  以内の誤差に収まっており、一定の精度が確認される。ただし、差が  $2^{\circ}$  を超える場合もある。すべての最高・最低値(各要素 12 地区 $\times 4$  日間: 48 個)について、実測値と推定値の相関を図 6-6(a),(b),(c)に示す。

#### 日最高気温 推定値(℃)

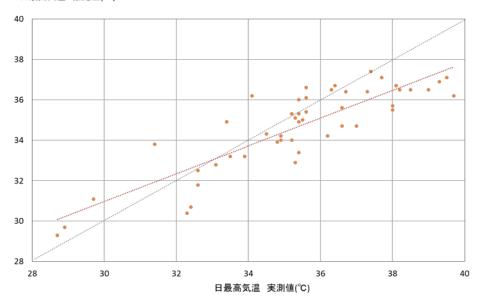


図 6-6(a) 毎正時値から求めた日最高気温の分布(赤点線は回帰直線)

概ね、実測値の高低に即して、推定値も分布している。実測値が高温の場合には、推定値がやや低くなる傾向がある。

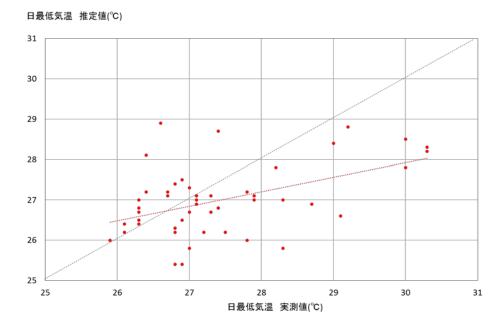


図 6-6(b) 毎正時値から求めた日最低気温の分布(赤点線は回帰直線)

毎正時値から求めた日最高気温に比べて、推定値の実測値との相関が低く、特に高温の場合に差が大きくなる。実際には夜間も十分に気温が下がらない状況でも、モデルでは気温が順調に低下しているなどの状況が推測される。

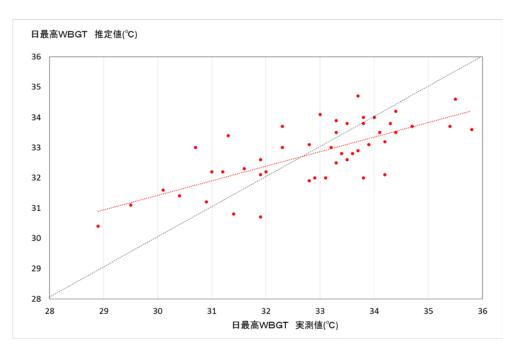


図 6-6(c) 毎正時値から求めた日最高 WBGT の分布 (赤点線は回帰直線)

毎正時値から求めた日最高 WBGT では実測値に応じて高低の分布となっているが、実測が高温の場合には低めに、実測が低温の場合には高めになっている。

### (7) モデルで推定された暑熱分布

前項での解析から、WBGT の日最高値の測定値と推定値の平均的な誤差は 2℃以内に収まるものの、高温の場合に少し低く推定される可能性が示された。

モデルで推定された結果を活用するには、その地点を含む平面的な暑熱環境、例えば WBGT の分布を見ていくことが適当と思われる。

その観点で、モデルで推定された WBGT の分布と実測地点での WBGT 分布について、7月22日を例として一日の変化を 3 時間毎に追ってみていく (図 6-7(a)-(h))。なお、各分布図では WBGT1℃ごとに着色しているが、1 日を通じてみる場合には前提として WBGTが大きく変動することから、各時刻のデータに沿って、塗り分けの値を変更しているので、注意が必要。

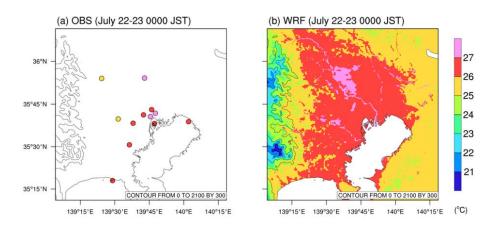


図 6-7(a) 7月22日0時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

WBGT が高い領域が東京湾周辺から埼玉県北部に広がっており、WBGT27℃以上の領域が埼玉県南部に見られる。

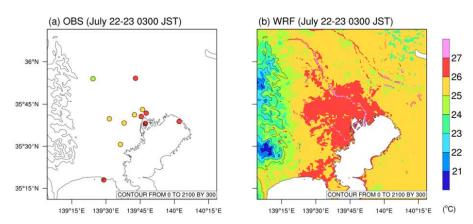


図 6-7(b) 7月22日3時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

3 時は、一般的に夜間で最も気温が下がる時間帯である。今回の推定では、WBGT27℃以上の領域はほぼ無くなっている。0 時には埼玉県北部に延びていた WBGT が高い領域がなくなり、東京 23 区とその周辺が WBGT26℃以上を維持している。

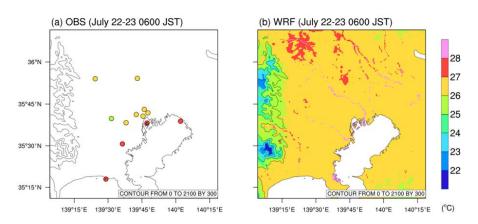


図 6-7(c) 7月22日6時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

6 時には、日差しがすでにあり、WBGT26 $^{\circ}$ C以上が推定領域のほぼ全域に広がっている。特に埼玉県北部では、WBGT27 $^{\circ}$ C以上の領域が表れている。このように、日の出時刻(7月22日東京での日の出時刻4時41分)を過ぎると、全領域でWBGTの上昇がみられる。

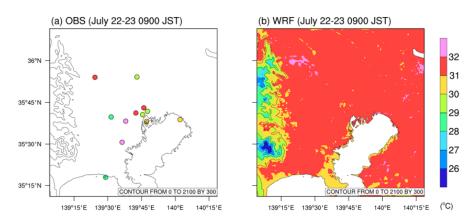


図 6-7(d) 7月22日9時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

9時には、広い範囲でWBGT31 $^{\circ}$ C以上と解析されている。ただし、測定地点での実測値は東京南部から神奈川にかけて(馬事公苑周辺、横浜国際総合競技場周辺)は  $32^{\circ}$ C以上となった一方、内陸の東京スタジアム周辺は  $30^{\circ}$ C以下であり、モデルの推定結果に多少の誤差が含まれると思われる。

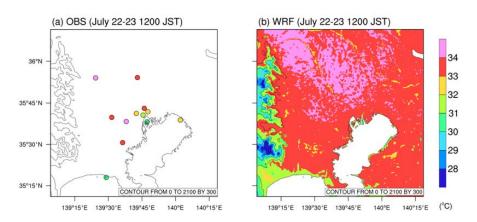


図 6-7(e) 7月22日12時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

12 時には、ほぼ全域で WBGT33℃以上に上昇し、埼玉県付近では 34℃を超える地域が現れている。ただし、沿岸部では内陸ほどの上昇はみられない。東京のお台場地区や神奈川県の相模湾周辺では内陸部より低く、実測値も同様の傾向を示している。

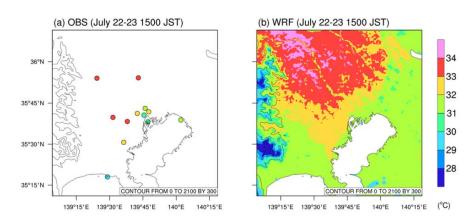


図 6-7(f) 7月22日15時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

15 時には、12 時にほぼ全域で見られた WBGT33℃以上の領域は埼玉県を中心とする推定解析領域の北部に残るものの、海岸に近いエリアでは WBGT31℃以上の領域になっている。沿岸部での実測では WBGT30℃を下回っている地区もあるが、分布図には表現されていない。

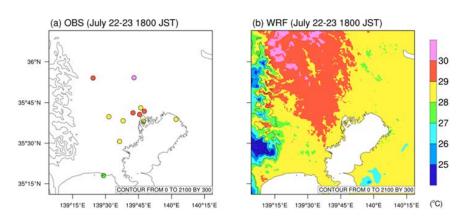


図 6-7(g) 7月22日18時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

18 時には、まだ日差しは残っている(7月22日東京での日の入り時刻18時53分)ものの、全体としてWBGTは低下している。それでも、ほぼ全域でWBGT28 $^{\circ}$ C以上、内陸部では30 $^{\circ}$ C以上の領域もあり、暑熱環境としては厳しい状況となっている。実測との比較では、沿岸部では解析の方が高くなっている。

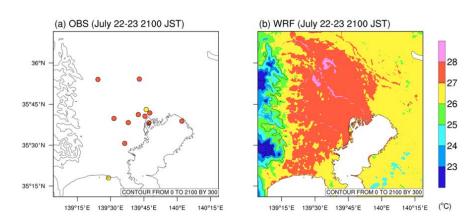


図 6-7(h) 7月22日21時の実測値(左)とモデルで推定されたWBGT(右)

21 時には、ほぼ全域が WBGT28℃以下になり、日中と違って沿岸部と内陸部で大きな差が無くなっている。図 6-7(a)の 0 時に見られた、埼玉県南部の高温域につながる高温域がみられる。

以上の7月22日の3時間毎のWBGT分布図から、

- ・ 夜間は東京 23 区から埼玉県南部が高温の中心だが、日中は東京 23 区から埼玉県 北部に高温域が伸びる。
- ・ 沿岸部では午後から夕方にかけて、相対的に WBGT が低くなる。

などの特徴が把握できる。

#### (8) まとめ

WRF モデルによる関東南部の暑熱分布の推定を、関東南部で晴天が継続し、厳しい暑熱環境となった 2018 年 7 月の 4 日間を対象に行った。

モデルで解析された、気温、WBGT について、予防情報サイトで情報提供している地点の気温と、本業務で測定している 14 地区の気温と WBGT の日変化について調査したところ概ね一致していることが確認された。

それぞれの地区で、各日の最高気温、最低気温、最高 WBGT について測定値と推定値を 比較したところ、日最高気温が最も相関関係が高く、日最低気温では相関関係が低くなった。 日最高 WBGT での評価はその中間で、実測が高い場合に本来よりも低く、実測が低い場合 には本来よりも高く推定された。

関東南部の広域的な WBGT の分布を求めたところ、夜間から日中の高温を経て再び夜間の比較的暑熱環境が緩和される状況について、概ね再現されていた。日中、夜間の高温域の分布、沿岸での暑熱環境が緩和される状況なども概ね適切に表現されていた。

このことから、極端な高温や低温になるようなケースでは十分に推定できないものの、実 測が行われていない地点などの WBGT 推定には十分に利用できるものと思われる。

### 6. 2 環境省熱中症予防情報サイト提供情報の利用の可能性

### (1) 調査目的

本業務で、測定機器を設置して暑熱環境を測定している地区は 14 地区であり、オリンピック及びパラリンピックすべての競技会場(全 43 会場)を網羅してはいない。一方、環境省は予防情報サイトで全国 840 か所の WBGT を提供している。本業務で測定していない競技会場周辺の暑熱環境について、この 840 か所での WBGT でどの程度推定可能かについて、誤差などを評価することで調査した。

### (2) 調査内容

環境省が「平成30年度地域適応コンソーシアム事業 関東地域事業 熱中症リスクの評価手法の整理・構築」で測定した暑熱環境データを用いて、予報情報サイトで提供しているWBGTが、測定を実施していない地点の暑熱環境推定に有効であるか調査するため、予防情報サイトで提供している最寄り地点のデータとの比較を行った。

### ○ 測定地点 (図 6-8 参照)

- ① 市民会館うらわ(さいたま市浦和区仲町 2-10-22): 商業地
- ② 日進支所(さいたま市北区日進町2丁目965):住宅地
- ③ 見沼自然公園 (さいたま市緑区大字南部領辻字〆切地内):緑地

#### 〇 比較対象地点

地点名:「さいたま」: 大久保浄水場 (さいたま市桜区大字宿 618)



図 6-8 3か所測定地点と「さいたま」との距離

#### ○ 測定期間

2018年7月24日~8月20日(1分間隔での測定)

## 〇 比較方法

- ・「さいたま」は1時間間隔での測定のため、比較には正時値を使用する
- ・7月29日の湿度データは異常値の可能性があるため、使用しない

## ○ 測定手法含む WBGT 算出方法

測定地点①~③

表 6-4 測定要素

測定地点	測定項目						
	気温、相対湿度、風向・風速						
日進支所	4 成分放射収支量						
	黒球温度						
市民会館うらわ、	気温						
別民会館りられ、	相対湿度、風向・風速、全天日射量						
允佰日然公園	黒球温度						

表 6-5 測定機器

測定項目	測定機器	測定方法
気温	近藤式強制通風筒 +Pt 温度計(日進支所、 見沼自然公園) ステンレス強制通風筒 +Pt 温度計(市民会館う らわ)	15 秒毎スキャン 1 分毎瞬時値、1 分毎平均値、 10 分毎瞬時値、10 分毎平均値
黒球温度	おんどとり	1分瞬時値のみ
相対湿度	自然通風シェルター +相対湿度計 風向風速センサー	15 秒毎スキャン 1 分毎瞬時値、1 分毎平均値、 10 分毎瞬時値、10 分毎平均値 0.25 秒毎スキャン、1 秒移動平均値 →15 秒毎スキャン 1 分毎平均値、10 分毎平均値
4 成分 放射収支量	埼玉県所有測器 (NR01&CR1000)	10 秒毎スキャン 1 分毎瞬時値、1 分毎平均値、 10 分毎瞬時値、10 分毎平均値 (日射量は1 分毎積算値、10 分毎積算値)
全天日射量	日射計	15 秒毎スキャン 1 分毎積算値、10 分毎積算値

測定された気温、湿度、黒球温度から WBGT 算出する。

・比較対象地点:観測項目(降水量、気温、風向、風速、日照時間:気象庁による 観測)から気温、日照時間データと気象庁解析資料を用いて WBGT を算出する。

#### (3) 調査結果

### a) 測定地点の WBGT 変動

測定地点及び比較対象地点の WBGT の変動を図 6-9 にまとめた。

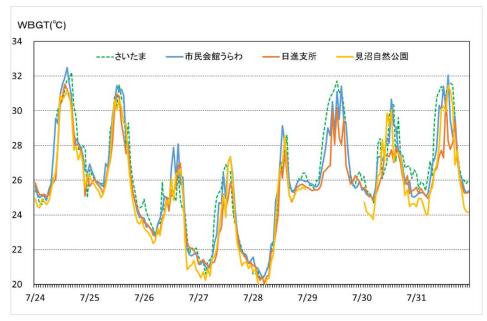


図 6-9 測定点①~③及び比較対象地点での WBGT

図 6-9 から、日々の暑熱環境の変動について概ね 4 か所とも同様の変動を示していることが分かる。ただし、日中の最も WBGT が高くなる状況では、数 $\mathbb{C}$ 差がある。

### b) 地点間の WBGT の相関について

比較対象地点である「さいたま」のデータを用いることで、どの程度、調査地点①~③の WBGT を推定できるかということを、「さいたま」に対する分布図を作成し求めた。

#### 各測定地点 WBGT(℃)

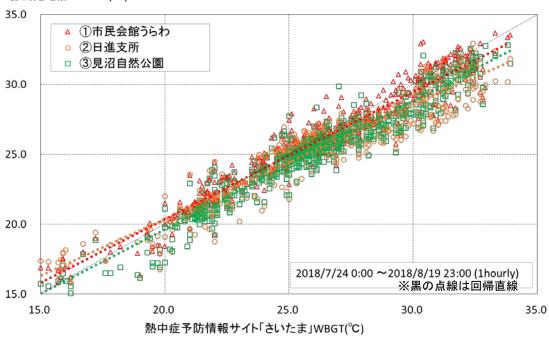


図 6-10 「さいたま」に対する測定点①~③の WBGT の分布

3地点ともに、「さいたま」に対する相関は高い。

「さいたま」のWBGTが高い場合には、各測定点のWBGTは低くなる傾向がある。ただし、このことからは、必ずしも測定点①~③が「さいたま」に比べて、暑熱環境が良好とは言えない。「さいたま」のWBGTの推定には、気温、日照時間のみが実測値として利用可能であって、湿球温度推定に関連する水蒸気量が推定値であることに留意する必要がある。

また、回帰直線からは、市民会館うらわではその差は小さいが、見沼自然公園では2℃程度の差になっている。この差の違いは、各地点の都市化などの状況も影響するが、見沼自然公園は、他の地点に比べて「さいたま」への距離が2倍程度あることも影響している可能性がある。

地点間の相関については、測定点① $\sim$ ③、「さいたま」に加えて本業務での測定地点である、埼玉スタジアム 2002 周辺の 5 か所についての相関を、相互の相関係数、平均誤差 $^{*1}$ 、RMSE $^{*2}$ で評価した。

95

<sup>\*1</sup> 個々の誤差を平均したもの。誤差の系統的な偏りを示す。

<sup>\*2</sup> 個々の誤差を一旦2乗してから平均して、平方根をとったもの。誤差の標準的な大きさを示す。

表 6-6 (a) 各地点の WGBT の相関係数

相互の相関係数	さいたま	①市民会館 うらわ	②日進支所	③見沼自然 公園	埼玉スタジア ム2002周辺
さいたま		0.967	0.949	0.964	0.970
①市民会館うらわ			0.964	0.980	0.969
②日進支所				0.970	0.956
③見沼自然公園					0.974
埼玉スタジアム2002周辺					

## 表 6-6 (b) 各地点の WGBT の平均誤差

相互の平均誤差	さいたま	①市民会館 うらわ	②日進支所	③見沼自然 公園	埼玉スタジア ム2002周辺
さいたま		0.200	0.807	0.870	0.562
①市民会館うらわ			0.607	0.686	0.362
②日進支所				0.083	- 0.245
③見沼自然公園					- 0.327
埼玉スタジアム2002周辺					

## 表 6-6 (c) 各地点の WGBT の RMSE

相互のRMSE	さいたま	①市民会館 うらわ	②日進支所	③見沼自然 公園	埼玉スタジア ム2002周辺
さいたま		0.958	1.226	0.998	0.902
①市民会館うらわ			0.957	0.718	0.887
②日進支所				0.901	1.077
③見沼自然公園					0.815
埼玉スタジアム2002周辺					

相関係数はほぼ 0.95 以上と高く、平均誤差も最大 0.87 (「さいたま」と③見沼自然公園)。 このため、相互の変動から他の地点の変動を推定することは妥当と思われる。

## (4) まとめ

- 環境省は全国 840 地点について、気象庁観測と解析結果から求めた WBGT を提供している。
- さいたま市内の3地点(市民会館うらわ、日進支所、見沼自然公園)での測定結果から求めたWBGTについて、環境省の情報提供の最寄り地点「さいたま」で提供しているWBGTとの比較を行った。
- 7月24日~8月19日までの、毎正時データで比較したところ、日中の高温時に、最大1°C程度の差を生じることがあるが、概ね同一の変動を示している。
- 地点間の相互の関連性について、相関係数は少なくとも 0.95 程度あり、平均誤差も 1℃以内となっている。

以上から、利用目的にもよるが、市内各地の暑熱環境については、予防情報サイトに掲載 の値で参照可能と考えられる。

### 6. 3 同一地区内の日なた・日蔭などの測定結果の活用法検討

### (1) 具体的な調査方法

各地区で、概ね晴天が続いた 10 日間(\*1)を選択し、午前 6 時から午後 21 時までを 3 時間ごとの 5 つの時間帯に分け、日照の強さ(\*2)に応じた、WGBT 差(\*3)を求めて、その傾向、地区ごとの特性の有無を調査した。

## (\*1)7月14日(土)~23日(月)

ただし、伊豆ベロドドーム周辺・福島あづま球場周辺は7月29日(日)~8月7日(火) (測定地区近傍のアメダスの日照時間から判断)

- (\*2) 日射の強さを、標準型による Tg (黒球温度) Ta(気温) で表現する
- (\*3) WBGT 差については、 $\triangle$ WBGT=WBGT(携帯型) -WBGT (標準型) とする  $\triangle$ WBGT は標準と併設の携帯型の差、携帯型相互の WBGT 差で構成する

#### (2) 日射の強さに対する△WBGT の分布例

霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺における日射の強さに応じた、 $\triangle$ WBGT の分布を図 6-11 に示す。

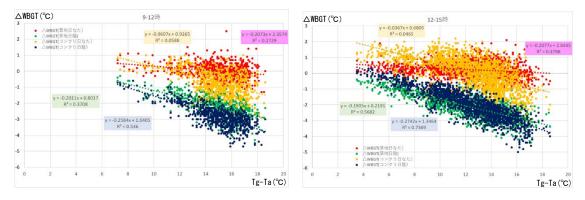


図 6-11 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺での 9 時~12 時、12 時~15 時の標準型の Tg-Ta に対する ΔWBGT の分布

図 6-11 では、日陰の2 地点(草地日陰、コンクリ日陰)については、標準型でのTg-Taが強くなる、すなわち日射が強くなるほど負の値が大きくなる、(WBGT が低くなる)という特性を表している。

標準型と草地日なたは同一地点での観測であるが、値が一致していない。

### (2) △WBGT の構成

△WBGTについて、図 6-12に示すように構成されていると仮定する。

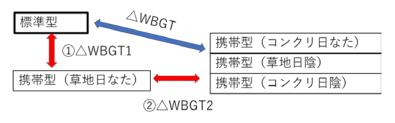


図 6-12 △WBGT の設定

求めたい $\triangle$ WBGT は、 $\triangle$ WBGT1+ $\triangle$ WBGT2 で構成されている。

## ① △WBGT1 について

同一地点での測定である「標準型」と「携帯型(草地日なた)」の差。携帯型の持つ、固有の特性による誤差が求まると想定される。地区間の差は本来想定しにくい。日射が強いとき、あるいは、夜間放射冷却の黒球温度等への影響による差が想定される。

→各地区間、設定時刻間での差の有無をチェックする。

△WBGT=WBGT(携帯型(草地日なた))-WBGT(標準型)

#### ② △WBGT2 について

同一地区の携帯型間の差。各地区の測定機器設置環境の影響が大きいものと思われる。 地区ごとに携帯型草地日なたを基準にして、コンクリ日なた、草地日陰、コンクリ日陰の 相関を分析する。

△WBGT2=WBGT(携帯型(コンクリ日なた))-WBGT(携帯型(草地日なた))

△WBGT2=WBGT(携帯型(草地日陰))-WBGT(携帯型(草地日なた))

△WBGT2=WBGT(携帯型(コンクリ日陰))-WBGT(携帯型(草地日なた))

 $\triangle$ WBGT1または $\triangle$ WBGT2=傾き a $\times$  (Tg-Ta)+切片 b として、全地区について $\triangle$ WBGT1、 $\triangle$ WBGT2の傾き a、切片 b を求めた。

## (3) △WBGT1 について

標準型と併設した携帯型(草地日なた)の相関関係

表 6-7(a) ΔWBGT1 について傾き a

SLOPE(傾き)	06時~09時	09時~12時	12時~15時	15時~18時	18時~21時	平均
新国立競技場周辺	-0.0103	-0.0346	-0.0258	0.0159	-0.0041	-0.0118
皇居外苑周辺	0.0043	-0.0029	-0.0190	0.0126	-0.0082	-0.0026
国技館周辺	0.0221	0.0341	-0.0258	0.0119	-0.0044	0.0076
馬事公苑周辺	-0.0221	-0.0441	-0.0412	0.0370	-0.0083	-0.0157
有明・お台場地区周辺	0.0058	-0.0048	-0.0275	0.0355	-0.0054	0.0007
東京スタジアム周辺	0.0184	-0.0087	-0.0083	0.0087	-0.0021	0.0016
霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	-0.0187	-0.0569	-0.0367	0.0277	-0.0053	-0.0180
埼玉スタジアム2002周辺	-0.0228	-0.0246	-0.0460	0.0167	-0.0036	-0.0161
幕張メッセ周辺	0.0021	-0.0343	-0.0348	0.0001	-0.0042	-0.0142
釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺	-0.0124	-0.0310	-0.0268	0.0289	0.0015	-0.0080
江の島ヨットハーバー周辺	-0.0262	-0.0139	-0.0298	0.0175	-0.0584	-0.0222
横浜総合国際競技場周辺	-0.0561	-0.0059	-0.0291	-0.0168	-0.0097	-0.0235
伊豆ベロドローム周辺	-0.0056	0.0050	-0.0399	0.0025	0.0012	-0.0073
福島あづま球場周辺	-0.0048	-0.0238	-0.0299	-0.0023	0.0041	-0.0113
最大	0.0221	0.0341	-0.0083	0.0370	0.0041	0.0076
最小	-0.0561	-0.0569	-0.0460	-0.0168	-0.0584	-0.0235
平均	-0.0090	-0.0176	-0.0300	0.0140	-0.0076	-0.0101

# 表 6-7(b) △WBGT1 について切片 b

INTERCEPT(切片)	06時~09時	09時~12時	12時~15時	15時~18時	18時~21時	平均
新国立競技場周辺	0.3335	0.5995	0.6267	0.2599	0.3014	0.4242
皇居外苑周辺	0.3868	0.4278	0.5944	0.3907	0.3985	0.4396
国技館周辺	0.4173	0.4882	0.7004	0.4192	0.4225	0.4895
馬事公苑周辺	0.4951	0.6860	0.6625	0.3265	0.3854	0.5111
有明・お台場地区周辺	0.4023	0.5249	0.7474	0.3387	0.3812	0.4789
東京スタジアム周辺	0.2608	0.2071	0.2716	0.2243	0.2439	0.2415
霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	0.4242	0.8883	0.6805	0.1797	0.2264	0.4798
埼玉スタジアム2002周辺	0.5822	0.3679	0.6146	0.3636	0.3838	0.4624
幕張メッセ周辺	0.3958	0.4960	0.7505	0.2585	0.3665	0.4535
釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺	0.3069	0.3835	0.5273	-0.3881	0.1750	0.2009
江の島ヨットハーバー周辺	0.5146	0.3959	0.5793	0.1737	0.2825	0.3892
横浜総合国際競技場周辺	0.5822	0.3679	0.6146	0.3636	0.3838	0.4624
伊豆ベロドローム周辺	0.2623	0.0922	0.7283	0.3914	0.3778	0.3704
福島あづま球場周辺	0.2511	0.2994	0.3610	0.2884	0.2872	0.2974
最大	0.5822	0.8883	0.7505	0.4192	0.4225	0.5111
最小	0.2511	0.0922	0.2716	-0.3881	0.1750	0.2009
平均	0.4011	0.4446	0.6042	0.2564	0.3297	0.4072

## 上記表から

- 〇 a は極めて小さく、a が最大値でも 0.03 程度。 Tg-Ta が 20°Cでも補正量は 0.6°C程度。 平均では 0.01 程度  $\Rightarrow$  a = 0 とする。
- b については、地域間の差は小さいが、設定時間帯の差がみられる。

### (4) △WBGT2 について

同一測定地点に設置した機器であっても時間帯によってどのように違うのか、また、同じ時刻であっても測定地区によってどのように違いがあるかについて調査した。

### (a) 時刻による違い

 $\triangle$ WBGT2 について霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺のデータからそれぞれの傾き、切片をもとに、測定地点ごとに適用する場合の回帰直線は図 6-13(a) $\sim$ (c)になる。

表 6-8 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺での標準型 Tg-Ta に対する△WBGT2 の回帰直線係数

コンクリ日なた	06時~09時	09時~12時	12時~15時	15時~18時	18時~21時
SLOPE(傾き)	- 0.09	-0.17	- 0.17	- 0.03	0.00
INTERCEPT(切片)	0.22	1.78	1.97	0.66	0.26
STEYX(標準誤差)	0.54	0.83	0.79	0.47	0.11
草地日陰	06時~09時	09時~12時	12時~15時	15時~18時	18時~21時
SLOPE(傾き)	-0.12	- 0.14	- 0.15	- 0.24	- 0.01
INTERCEPT(切片)	- 0.34	0.04	- 0.47	0.08	0.13
STEYX(標準誤差)	0.35	0.88	0.54	0.22	0.09
コンクリ日陰	06時~09時	09時~12時	12時~15時	15時~18時	18時~21時
SLOPE(傾き)	- 0.19	- 0.18	- 0.24	- 0.23	- 0.02
INTERCEPT(切片)	- 0.12	0.73	0.66	0.66	0.48
STEYX(標準誤差)	0.40	2.27	0.55	0.34	0.13

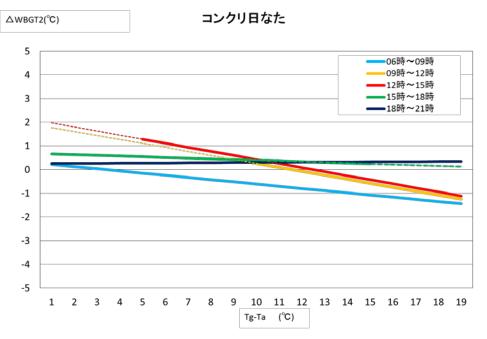


図 6-13(a) 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺での△WBGT2 補正式を用いたコンクリ日なた の回帰直線

Tg-Ta がとりうる値には、時間帯によって下限上限があり、換算式は設定できるが実際には換算の対象にはならない。この範囲は点線で示した。(b)、(c)も同様

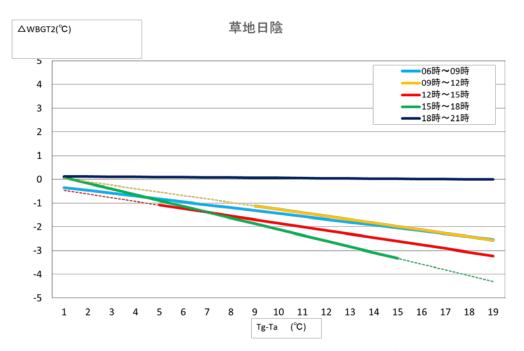


図 6-13(b) 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺での草地日陰の回帰直線

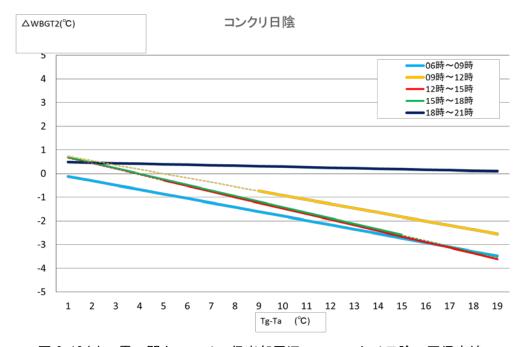


図 6-13(c) 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺でのコンクリ日陰の回帰直線

コンクリ日なた、コンクリ日陰、草地日陰ともに 18 時~21 時では、傾きが小さく $\triangle$  WBGT2 がほぼ 0 で推移している。太陽が沈み、日射の影響が無くなったことによると考えられる。コンクリ日なたでは 09 時~12 時、12 時~15 時の時間帯はよく似た回帰直線になるが、その他の時間帯は異なる。

以上から、同一地区、同一地点の測定結果であっても時刻により回帰直線が異なる。

### (b) 地区による違い

△WBGT2 の回帰直線は、各地区によって一定ではない。

1日の中で一般的に最も暑くなると思われる 12 時~15 時について、各地区のコンクリ日なた、草地日陰、コンクリ日陰の $\triangle$ WBGT2 分布を図 6-14(a)~(c)にまとめた。

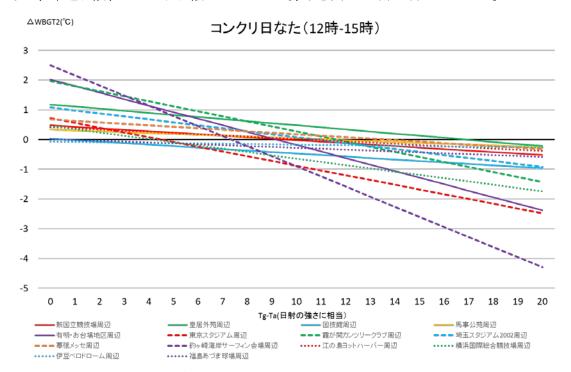


図 6-14(a) 各地区の 12 時~15 時のコンクリ日なたの回帰直線

日射が強くなると、草地日なたよりも WBGT が小さくなる傾向が全地区に共通してみられる。ただし、その程度には違いがある。特に釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺では日射が強くなるにつれて大きな差になっている。

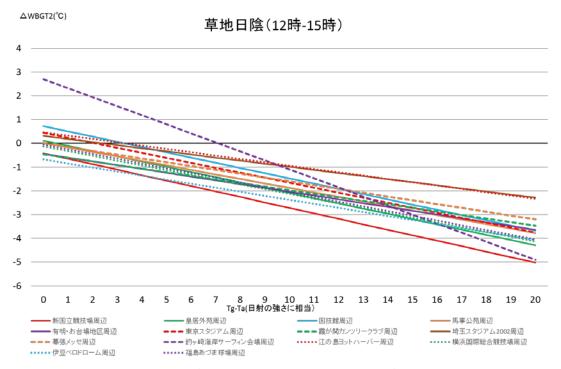


図 6-14(b) 各地区の 12 時~15 時の草地日陰の回帰直線

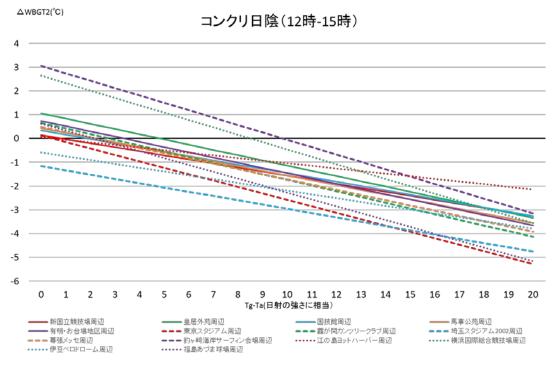


図 6-14(b) 各地区の 12 時~15 時のコンクリ日陰の回帰直線

コンクリ日陰、草地日陰では、各地区ともに傾きが負の値となっており、日射が強くなるにつれて、 $\triangle$ WBGT2 は負の値をとるようになり、その絶対値は大きくなる。Tg-Ta が同じ値でも、地区により $\triangle$ WBGT2 の大きさは異なる。

以上から、同じ日なたであっても、コンクリと草地では日射が強い時にはその暑熱環境に 差がある場合がある。日陰では、日射が強くなるにつれて、相対的に暑熱環境が緩和されて いるが、その程度については地区によって異なっている。

このため、標準型をベースとして「日なた」「日陰」の WBGT を推定するためには、携帯型での測定結果をどのように適用するか、地区間の差異などをどのように考慮するか等について検討が必要である。

以降に、各地区の回帰直線の係数をまとめる。

### 表 6-9 各地区での△WBGT2 の回帰直線係数

新国立競技場周辺
----------

新国 7 競技場周辺					
コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.14	-0.04	<u>- 0.05</u>	-0.01	- <u>0.02</u>
INTERCEPT(切片)	-0.25	0.31	0.48	0.08	0.36
STEYX(標準誤差)	0.62	0.50	0.46	0.35	0.17
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.23	-0.18	-0.23	-0.27	-0.04
INTERCEPT(切片)	-0.34	-0.37	-0.42	0.11	0.29
STEYX(標準誤差)	0.37	1.08	0.48	0.32	0.25
コンクリ日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.10	-0.15	-0.17	-0.20	- 0.02
INTERCEPT(切片)	0.84	0.97	0.14	0.44	0.46
STEYX(標準誤差)	0.72	1.71	0.41	0.29	0.15

皇居外苑周辺

コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
コンノリロなた	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	0.13	-0.05	-0.07	0.05	0.00
INTERCEPT(切片)	0.19	0.79	1.18	0.23	0.16
STEYX(標準誤差)	0.33	0.46	0.51	0.40	0.15
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
早地口法	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.22	-0.18	-0.22	-0.22	-0.01
INTERCEPT(切片)	0.12	-0.10	0.11	0.15	0.15
STEYX(標準誤差)	0.18	0.68	0.28	0.20	0.14
コンクリ日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
コングリロ法	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.01	-0.17	-0.22	-0.17	0.00
INTERCEPT(切片)	0.26	0.94	1.06	0.62	0.25
STEYX(標準誤差)	0.26	1.18	0.45	0.33	0.16
古地口かた (単独)	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
草地日なた(単独)	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	0.42	-0.16	-0.04	0.05	0.00
INTERCEPT(切片)	0.18	2.27	0.76	-0.13	0.10

#### 国技館周辺

	10.004	I A A RAL	I A A DA	I A F N.	14 A 114
コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
1 / / / I / A / C	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	0.23	-0.19	-0.05	-0.17	0.00
INTERCEPT(切片)	1.26	1.57	0.03	0.11	0.07
STEYX(標準誤差)	0.89	0.73	0.44	0.42	0.10
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
早地口法	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.19	-0.17	-0.22	-0.18	0.01
INTERCEPT(切片)	-0.10	-0.06	0.72	0.49	0.01
STEYX(標準誤差)	0.19	0.86	0.74	0.77	0.14
コンクリ日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
コンノリロ陰	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	0.08	-0.18	-0.18	-0.21	0.00
INTERCEPT(切片)	0.36	0.77	0.34	0.21	0.09
STEYX(標準誤差)	0.64	1.41	0.41	0.28	0.10
古山口 +、+ (田 Xh)	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
草地日なた(単独)	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.11	-0.16	-0.13	-0.20	0.00
INTERCEPT(切片)	-0.01	0.13	-0.21	-0.03	-0.08
STEYX(標準誤差)	-0.01	0.13	0.51	0.28	0.11

#### 馬事公苑周辺

馬事公卯周辺					
コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.08	-0.06	-0.03	-0.07	0.00
JNTERCEPT(切片)	0.38	0.42	0.34	0.79	0.19
STEYX(標準誤差)	0.35	0.49	0.30	0.37	0.07
草地日陰	0.55 06時~ 09時	0.43 09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	-0.18	-0.14	-0.19	-0.17	0.00
INTERCEPT(切片)	-0.08	-0.22	-0.02	0.26	0.19
STEYX(標準誤差)	0.32	0.92		0.20	0.09
コンクリ日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.24	-0.20	-0.20	-0.19	-0.03
INTERCEPT(切片)	0.12	0.77	0.44	0.35	0.31
STEYX(標準誤差)	0.32	1.86	0.43	0.23	0.10

有明 ·お台場地区周辺

	23					
コンクリ日なた	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時	
SLOPE(傾き)	-0.10	- 0.23	- 0.22	0.09	-0.01	
INTERCEPT(切片)	0.72	2.08	2.02	0.35	0.37	J
STEYX(標準誤差)	0.53	0.61	0.59	0.36	0.11	
草地日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時	1
SLOPE(傾き)	- 0.20	-0.20	-0.16	-0.21	-0.02	٥
INTERCEPT(切片)	0.08	0.01	- 0.44	0.04	0.05	ΙŪ
STEYX(標準誤差)	0.28	0.57	0.24	0.16	0.12	
コンクリ日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時	
SLOPE(傾き)	-0.21	- 0.32	- 0.22	- 0.14	- 0.02	3
INTERCEPT(切片)	-0.01	2.09	0.74	0.20	0.29	L
STEYX(標準誤差)	0.46	1.34	0.40	0.22	0.12	[

東京スタジアム周辺

コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.20	-0.20	-0.16	-0.17	-0.02
INTERCEPT(切片)	2.11	2.28	0.72	0.34	0.46
STEYX(標準誤差)	0.96	0.88	0.73	0.34	0.20
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.20	-0.22	-0.21	-0.19	-0.01
INTERCEPT(切片)	-0.03	0.41	0.44	0.40	0.23
STEYX(標準誤差)	0.15	0.96	0.48	0.35	0.11
コンクリ日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	- 0.35	- 0.26	- 0.27	- 0.28	- 0.03
INTERCEPT(切片)	0.36	0.69	0.12	0.38	0.50
STEYX(標準誤差)	0.24	1.85	0.55	0.31	0.24

霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺

霞ヶ宮カンツリー倶楽部周辺							
コンクリ日なた	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時		
SLOPE(傾き)	- 0.09	- 0.17	-0.17	- 0.03	0.00		
INTERCEPT(切片)	0.22	1.78	1.97	0.66	0.26		
STEYX(標準誤差)	0.54	0.83	0.79	0.47	0.11		
草地日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時		
SLOPE(傾き)	- 0.12	- 0.14	-0.15	- 0.24	- 0.01		
INTERCEPT(切片)	- 0.34	0.04	- 0.47	0.08	0.13		
STEYX(標準誤差)	0.35	0.88	0.54	0.22	0.09		
コンクリ日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時		
SLOPE(傾き)	- 0.19	- 0.18	- 0.24	- 0.23	- 0.02		
INTERCEPT(切片)	-0.12	0.73	0.66	0.69	0.48		
STEYX(標準誤差)	0.40	2.27	0.55	0.34	0.13		

埼玉スタジアム2002周辺

コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	- 0.03	- 0.09	-0.10	-0.11	- 0.02
JNTERCEPT(切片)	0.27	0.80	1.08	0.32	0.26
STEYX(標準誤差)	0.61	0.64	0.58	0.56	0.21
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	0.00	-0.14	-0.13	-0.16	0.00
INTERCEPT(切片)	0.08	<u>1.08</u>	<u>0.31</u>	0.54	0.07
STEYX(標準誤差)	0.79	1.00	0.67	0.43	0.12
コンクリ日陰		09時~ 12時		15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	- 0.26	-0.16	- 0.18	- 0.28	- 0.05
INTERCEPT(切片)	0.36	0 <u>.46</u>	<u>- 1.16</u>	<u>0.30</u>	0.46
STEYX(標準誤差)	0.41	1.91	0.66	0.43	0.27

幕張メッセ周辺

春饭メッセ同辺					
コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
コングリロなた	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.02	-0.09	-0.05	-0.06	0.02
INTERCEPT(切片)	-0.18	1.02	0.68	0.67	0.17
STEYX(標準誤差)	0.46	0.54	0.50	0.41	0.16
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
字地口法 	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.19	-0.17	-0.16	-0.19	0.01
INTERCEPT(切片)	-0.10	0.38	0.00	0.23	0.17
STEYX(標準誤差)	0.21	0.69	0.31	0.22	0.10
コンクリ日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
コングリロ陰	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.20	-0.40	-0.22	-0.24	0.00
INTERCEPT(切片)	0.14	2.92	0.48	0.54	0.42
STEYX(標準誤差)	0.30	1.40	0.40	0.30	0.17
草地日なた(単独)	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
早地口なた(単独)	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	0.09	-0.14	0.04	-0.22	-0.01
INTERCEPT(切片)	-0.22	2.69	-0.60	0.10	0.04
STEYX(標準誤差)	-0.22	2.69	1.06	0.50	0.26

釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺

コンクリ日なた	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	-0.14	-0.36	- 0.34	-0.12	- 0.01
INTERCEPT(切片)	0.36	2.86	2.50	0.93	- 0.02
STEYX(標準誤差)	1.04	1.13	1.02	0.71	0.44
草地日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き) INTERCEPT(切片)	-0.16 0.20	-0.36 2.78	0.38 2.70	-0.19 1.26	0.01 0.10
STEYX(標準誤差)	0.34	0.72	0.65	0.54	0.11
コンクリ日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	- 0.23	- 0.34	- 0.31	- 0.03	0.02
INTERCEPT(切片)	1.26	4.15	3.05	1.52	0.31
STEYX(標準誤差)	0.82	2.88	0.94	0.52	0.58

江の島ヨットハーバー周辺	江の	島ヨッ	トハーバー	周辺
--------------	----	-----	-------	----

コンクリ日なた	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	- 0.01	-0.17	- 0.04	- 0.01	- 0.03
INTERCEPT(切片)	0.02	1.76	0.42	0.27	0.03
STEYX(標準誤差)	0.46	0.46	0.43	0.39	0.08
草地日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	-0.13	- 0.13	-0.14	- 0.07	-0.06
INTERCEPT(切片)	0.51	0.28	0.46	0.23	0.15
STEYX(標準誤差)	0.65	0.34	0.29	0.29	0.09
コンクリ日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き) INTERCEPT(切片)	-0.17 -0.18	-0.14 0.16	-0.11 0.06	-0.08 0.10	-0.07 0.09
STFYX(煙淮迴差)	0.41	0.26	0.33	0.28	0.11

#### 横浜総合国際競技場周辺

コンクリ日なた	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	0.01	- 0.08	-0.11	- 0.06	0.00
INTERCEPT(切片)	- 0.33	0.05	0.46	0.03	0.01
STEYX(標準誤差)	0.57	0.62	0.41	0.27	0.09
草地日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	-0.17	-0.14	-0.20	- 0.19	- 0.01
INTERCEPT(切片) STEYX(標準誤差)	-0.10 0.32	0.64. 0.89	-0.13 0.29	0.03	0.00
コンクリ日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時
SLOPE(傾き)	- 0.05	-0.12	-0.31	0.04	0.01
INTERCEPT(切片)	0.78	0.60	2.64	0.64	0.38
STEYX(標準誤差)	0.79	1.75	0.81	0.48	0.15

### 伊豆ベロドローム周辺

コンクリ日なた	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時	15時~ 18時	18時~ 21時	
SLOPE(傾き)	- 0.08	- 0.08	-0.01	- 0.05	0.01	
INTERCEPT(切片)	0.05	0.43	- 0.07	0.52	0.17	
STEYX(標準誤差)	0.31	0.51	0.52	0.43	0.13	
草地日陰	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~	
平地口层	09時	12時	15時	18時	21時	
SLOPE(傾き)	-0.20	-0.20	- Ω.17	Ω.2Ω.	- 0.01	
INTERCEPT(切片)	-Ω.11	- 0.07	- 0.68	0.00	0.04	
STEYX(標準誤差)	0.39	0.92	0.37	0.29	0.21	
->. 6.U.D.PA	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~	
コンクリ日陰	09時	12時	15時	18時	21時	
SLOPE(傾き)	-0.26	-0.25	-0.16	-0.24	-0.01	
INTERCEPT(切片)	0.10	0.99	- 0.59	0.41	0.30	
STEYX(標準誤差)	0.39	1.89	0.59	0.44	0.21	

#### 富皀あづま球場周辺

福島あつま球場周辺					
コンクリ日なた	06時~	09時~	12時~	15時~	18時~
	09時	12時	15時	18時	21時
SLOPE(傾き)	-0.03	-0.02	-0.03	-0.08	-0.01
JNTERCEPT(切片)	-0.77	0.00	0.02	0.13	0.15
STEYX(標準誤差)	1.00	0.38	0.40	0.37	0.13
草地日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時		18時~ 21時
SLOPE(傾き)	-0.19	-0.14	-0.20	-0.22	0.00
INTERCEPT(切片)	0.58	-0.14	-0.05	0.03	0.02
STEYX(標準誤差)	0.94	0.78	0.49	0.29	0.13
コンクリ日陰	06時~ 09時	09時~ 12時	12時~ 15時		18時~ 21時
SLOPE(傾き)	- 0.26	-0.23	-0.29	-0.29	-0.01
INTERCEPT(切片)	0.75	0.94	0.63	0.48	0.52
STFYX(標準誤差)	0.39	1.80	0.54	0.33	0.29

### 6. 4 ISO準拠による自然湿球温度を用いた場合のWBGT推定結果

#### (1) 概要

日本では、WBGT の算出など暑熱環境の把握に際して電子式の温度計・湿度計が広く使用されているが、海外ではあまり使用されていない等、日本の気象観測の標準と、海外の標準は異なっている。海外の方に向けた情報提供のため、各測定地区の測定データを使用して、ISO7243 に準拠した(ISO7243:Annex-D を使用して湿度を自然湿球温度に換算した)WBGT を算出する。

#### (2)背景

WBGT は気温・気流・湿度・輻射を考慮し温熱環境を総合的に評価した指標で、日本スポーツ協会の「熱中症予防運動指針」、日本生気象学会の「日常生活における熱中症予防指針」などで活動指標として広く利用されている。また、ISO7243:2017[Ergonomics of the thermal environment - Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index]では、伝統的な観測方法(\*)による WBGT により、労働者の暑熱ストレス指標を示している。

#### (\*) 伝統的な観測方法

- ・湿球温度は、温度計の感部を湿らせたガーゼで覆い、常時湿らせた状態で測定する。
- ・湿球温度は自然な対流下で(自然通風で)測定する。
- ・湿球温度は直射日光を受ける状態で測定する。

これらの方法で測定した湿球温度を「自然湿球温度」という。

本業務での測定は電子式 WBGT 計を使用しており、湿球温度は湿度等の観測値から算出している。海外を含む各機関からの問い合わせに対応するためには、測定機器や測定方法、換算方法の違いによる WBGT を比較し、その差異を把握しておくことが必要である。

図 6-15 のような ISO7243:2017 に準拠した WBGT 測定を行える機器 (以下「ISO 型測定機器」という。) がある。





図 6-15 ISO 型測定機 (センサーは左から黒球温度、自然湿球温度、気温)

ISO 型測定機器を各測定地区に設置すれば、直接 ISO に準拠した WBGT 値を得ることができるが、実際には機材のメンテナンスなどの課題\*1があり実施は難しい。

このため、ISO7243 Annex-D に電子式の相対湿度センサーの測定値から自然湿球温度  $\sim$ の換算式 (式(6.1) $\sim$ (6.2)) が掲載されている。

$$4.18 \times v^{0.444}(T_a - T_{nw}) + 10^{-8} \times [(T_r + 273)^4 - (T_{nw} + 273)^4]$$
$$-77.1 \times v^{0.421}[p_{as}(T_{nw}) - RH \times p_{as}(T_a)] = 0$$
  $\sharp (6.1)$ 

ここに、 $T_{nw}$ :自然湿球温度( $\mathbb{C}$ )、 $T_a$ :気温( $\mathbb{C}$ )、 $T_r$ :平均放射温度( $\mathbb{C}$ )

v:風速(m/s)、RH:相対湿度、

pas(Ta):気温 Ta における飽和水蒸気圧(kPa)

pas(Tnw):温度 Tnw における飽和水蒸気圧(kPa)

なお、平均放射温度:Trは、以下の式により求める。

$$Tr = \left[ (T_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 \times v^{0.6}}{\varepsilon_g \times d^{0.4}} (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273$$
  $\stackrel{\text{R}}{=} (6.2)$ 

ここに、 $T_r$ :平均放射温度( $\mathbb{C}$ )、 $T_g$ :黒球温度( $\mathbb{C}$ )、d:黒球の直径( $\mathbb{m}$ )、

v:風速(m/s)、Ta:気温(℃)、εg:黒球の放射率

以降 ISO7243 Annex-D の式(6.1)~(6.2)により換算した自然湿球温度及びその自然湿球温度から算出した WBGT は「ISO 換算」と表記する。

なお、湿球温度をどのように求めても、WBGT は式(6.3)により求める。

式(6.3)

WBGT =  $0.7 \times T_w + 0.2 \times T_{g(0.15)} + 0.1 \times T_a$ 

ここに、 $T_w$ :湿球温度 $(\mathbb{C})$ 、 $T_{g(0.15)}$ :直径 150mm 黒球温度 $(\mathbb{C})$ 、 $T_a$ :気温 $(\mathbb{C})$ 

本業務での測定は、150mm 黒球温度計と、自然通風シェルターに格納した電子式の湿度 センサー・温度センサーを使用している。

109

<sup>\*1</sup> 湿球温度計の感部を常に湿らせたガーゼで覆うために、水の供給が必要。

#### (3) 野外実験での実測による比較

平成29年度業務で野外実験を行いISO型測定機器で測定・算出したWBGTと、本業務の標準型と同じ方法(以下「自然通風型」という。)で測定・算出したWBGTとを比較した。

本業務の標準型では湿球温度は、電子式の相対湿度センサーの値、気温等と、Iribarne I.V. and W.L. Godson(1981)による換算方法\*2を用いて算出している。以降 Iribarne の式により換算した湿球温度及びその湿球温度から算出した WBGT を「Iribarne 換算」と表記する。

比較の結果、気温については、日射が強い場合に、ISO型がやや高くなる傾向(気温のシェルターが小さく温まりやすいことによる)が見られるが、おおむね良好な関係にあった。自然通風型で測定した湿球温度(Iribarne 換算)と ISO型で測定した自然湿球温度は、日射の強い場合に、自然湿球温度にくらべて湿球温度が  $2\sim3$ <sup> $\circ$ </sup> 程度低くなった。WBGT は、湿球温度の影響で日射が強い場合には ISO型が自然通風型に比べて 2<sup> $\circ$ </sup> 程度の高くなる傾向が見られた。風速の違いによる影響は明確ではなかった。(図 6-16)

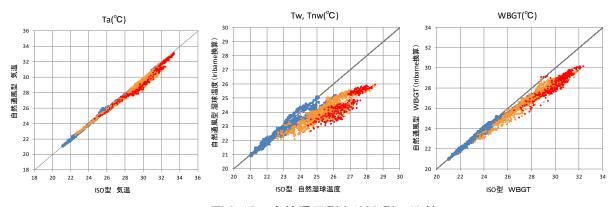


図 6-16 自然通風型と ISO 型の比較

左: 気温、中:湿球温度、右:WBGT 横軸: ISO 型、縦軸: 自然通風型

#### (4)調査内容と結果

今年度の各地区の標準型測定データを用いて、ISO7243 Annex-D を用いて WBGT を算出 (以下「ISO-WBGT」という。) し、これまでの本報告で報告してきた標準型による WBGT (以下「気象 WBGT」という。) との差異を示す。

なお、本業務の 14 地区では風速を測定していないため、風速を 0.5 m/s と仮定して ISO 換算を行った。

測定は1分間隔であるが、比較検証は10分間隔の値を用いる。毎日の同じ時刻(10分刻みで144個)のISO-WBGTと気象WBGTについて、その平均値と、熱中症リスクに対す

\_

<sup>\*2</sup> Iribarne による換算方法については本節の最後に記載した

る有効な情報として最高値を求めて、算出方式の違いによる WBGT の特徴を調査した。 各地区の、調査期間  $(7/1\sim9/15)$  全期間での 10 分毎の ISO-WBGT と気象 WBGT の平均値、最高値の一日の変化を図  $6-17(a)\sim(n)$ に示す。

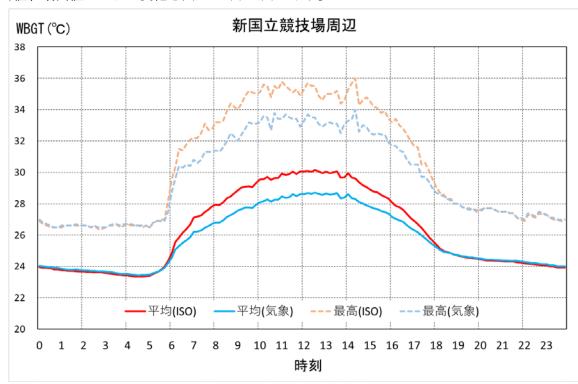


図 6-17(a) 新国立競技場周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

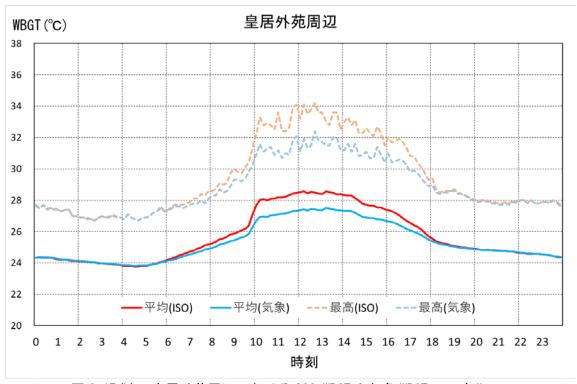


図 6-17(b) 皇居外苑周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

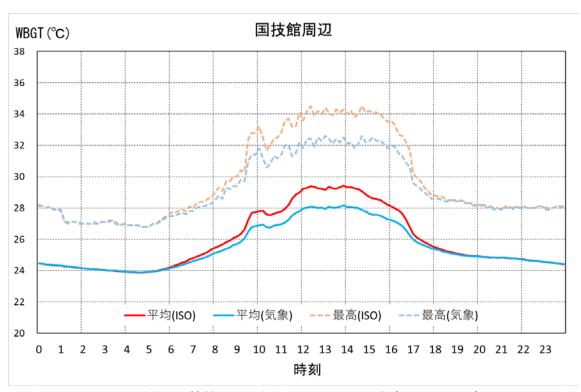


図 6-17(c) 国技館周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

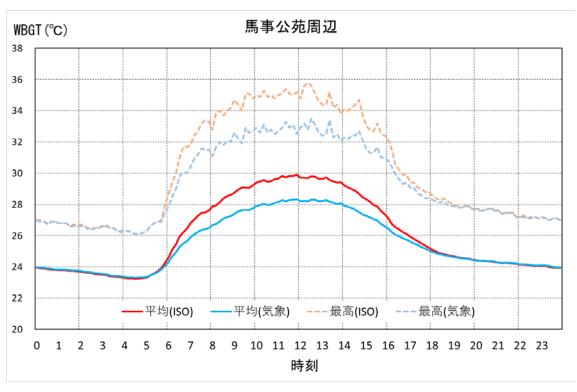


図 6-17(d) 馬事公苑周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

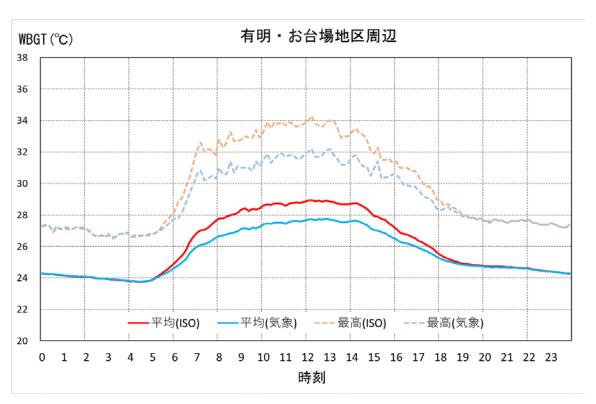


図 6-17(e) 有明・お台場地区周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

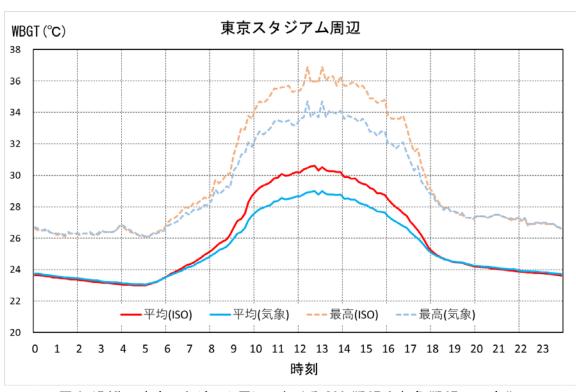


図 6-17(f) 東京スタジアム周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

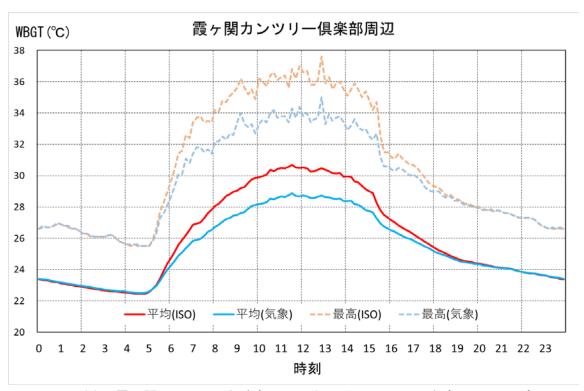


図 6-17(g) 霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

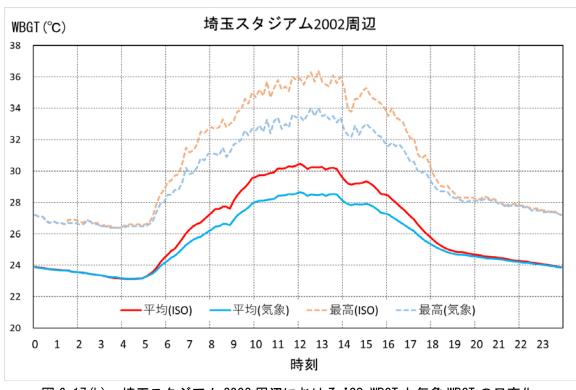


図 6-17(h) 埼玉スタジアム 2002 周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

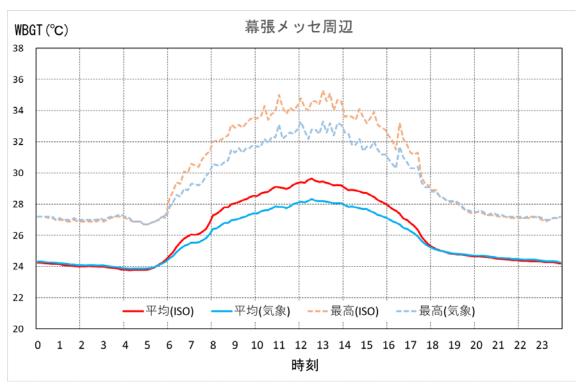


図 6-17(i) 幕張メッセ周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

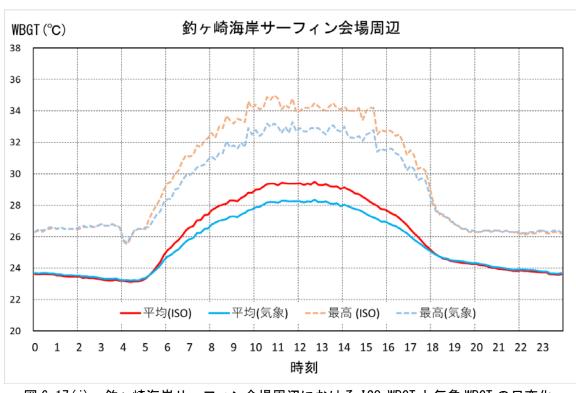


図 6-17(j) 釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

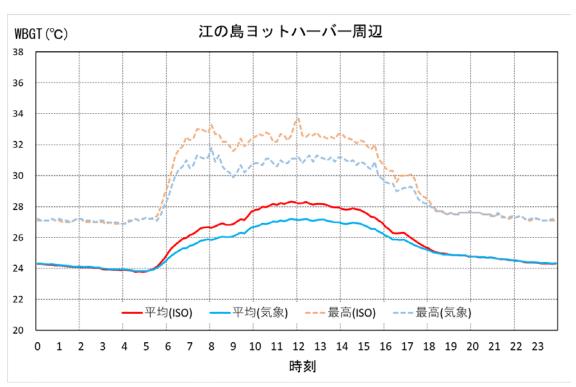


図 6-17(k) 江の島ヨットハーバー周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

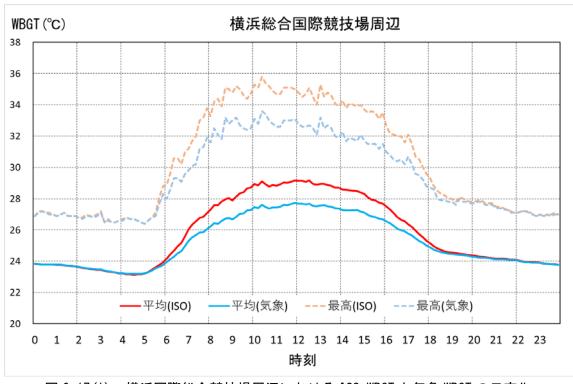


図 6-17(I) 横浜国際総合競技場周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

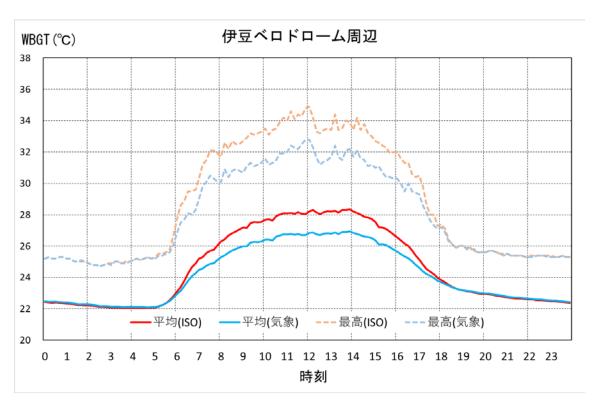


図 6-17(m) 伊豆ベロドローム周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

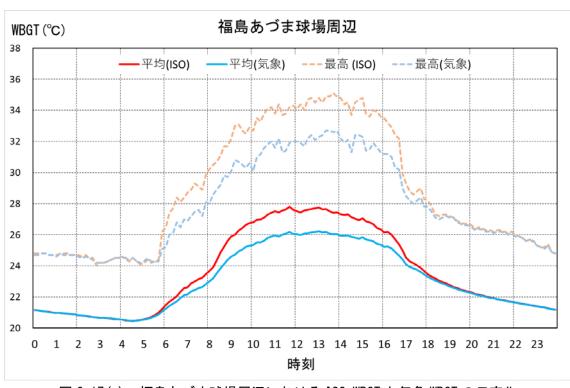


図 6-17(n) 福島あづま球場周辺における ISO-WBGT と気象 WBGT の日変化

各地区での調査結果からは、日射の強い日中に ISO-WBGT は気象 WBGT に比べて最大 2℃程度高くなっていて、昨年度屋外実験で得られた結論におおむね沿った結果になっている。

ただし、その差は地域差があり、平均値での差は、江の島ョットハーバー周辺、有明・お台場地区周辺、釣ヶ崎海岸サーフィン会場など沿岸部では1℃前後と小さくなっている。この原因については、沿岸部と内陸部での日中の気象情報(湿度の違い)などについてより詳細に調査が必要ある。

(参考)

Iribarne J. V. and W. L. Godson (1981) による湿球温度算出方法

Iribarne J. V. and W. L. Godson(1981)による湿球温度の算出では、式(ア) $\sim$ (エ)により、気温( $T_a$ )、露点温度( $T_d$ )、気圧(p)を用いて、湿球温度( $T_w$ )を求める。

 $T_{\mathbf{w}}$ の一次推定値  $T_{\mathbf{w}(1)}$ を、以下の式により求める。

$$T_{w(1)} = (T_a \times f \times p + T_d \times s) / (f \times p + s)$$
 (式ア) ここに、 $s = (e_s - e_d) / (T_a - T_d)$   $e_s = \exp(C_0 - C_1 \times T_a - C_2 / T_a)$   $e_d = \exp(C_0 - C_1 \times T_d - C_2 / T_d)$   $C_0 = 26.66082$ 、 $C_1 = 0.0091379024$ 、 $C_2 = 6106.396$   $f = 0.0006355(K^{-1}) = C_p / (L \times \epsilon)$ 、 $C_p = 1004$  (JK-1Kg-1)  $L = 2.54 \times 10^6$  (JKg-1)、 $\epsilon = 0.622$ 

次に、二次推定値 Tw(2)を、以下の補正式により求める。

$$T_{w(2)} = T_{w(1)} - d_e / d_{er}$$
 (式イ)  
ここに、 $d_e = f \times p \times (T_a - T_w) - (e_w - e_d)$   
 $d_{er} = e_w \times (C_1 - C_2 / T_w^2) - f \times p$ 

この補正を三次補正値まで繰り返すことで、0.1<sup>°</sup>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  $T_d(\mathbb{C})$  が求められていない場合については、乾球温度を  $T_a(\mathbb{C})$ 、相対湿度をH(%)としたときの水蒸気圧 e の関係式、

$$H(\%) = e/e_s \times 100$$
 (式ウ)   
ここに、 $e = 6.1078 \times 10$  ( $(Td \times A)/(Td + B)$ )   
 $e_s = 6.1078 \times 10$  ( $(Ta \times A)/(Ta + B)$ )   
 $A = 7.5$ 、 $B = 237.3$  (水)   
 $A = 9.5$ 、 $B = 265.5$  (氷)

をT<sub>d</sub>について解いた次式により求める。

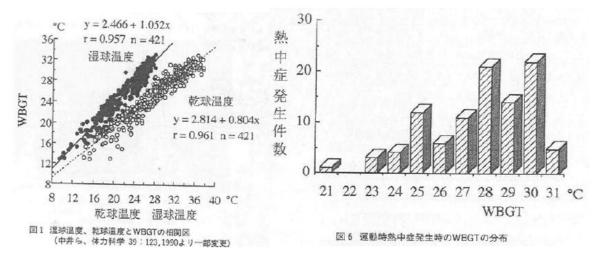
$$T_d = (-C_2 - C_3) / C_4$$
 (式エ) ここに、 $C_1 = log_{10} (H/100)$ 、 $C_2 = (T_a \times A \times B) / (B + T_a)$   $C_3 = C_1 \times B$ 、 $C_4 = C_1 - A \times B / (B + T_a)$ 

## 日本における WBGT=日本スポーツ協会の基準=

日本スポーツ協会では、1994 年のガイドラインで、WBGT21,25,28,31℃を基準とした指針を示している。このガイドラインのとりまとめに関わった中井京都女子大学名誉教授から関連文献を頂き分析を行った。

この基準は、中井名誉教授を中心に、海外におけるスポーツの基準等を調査し、湿球温度および WBGT と活動指針の素案を作成。その上で、学校管理下における死亡事故について、フィールドにおける WBGT と乾球温度・湿球温度の関係式を作成し(図アの左図)、関係式と最寄り気象台の観測値から運動時熱中症発生時の WBGT 分布を統計し(図アの右図)、委員会において WBGT21,25,28,31℃を決めたと推定される。フィールド観測データについては、湿球温度計に日射が当たっているもの当たっていないものが混在しており、気象台の観測データは日射を遮った強制通風での観測値であることから、この際に計算されたWBGT は気象 WBGT に近かったと推定される。

中井名誉教授の乾球温度または湿球温度から WBGT を求める換算式は、同ガイドラインに掲載され、広く利用されている。



図ア 湿球温度、乾球温度とWBGT の相関図(左) 運動時熱中症発生時のWBGT の分布(右)

(中井京都女子大学名誉教授提供)

中井名誉教授からは、体側の反応もあるので、WBGT1℃にそれほどこだわる必要はなく、 現在のままの気象 WBGT でも差し支えないのではないかとの意見であった。

また、生気象学会の基準は、日本スポーツ協会の基準を参考に、それを一般生活に適用したもので、指針の策定時には、数値基準の生気象的な検討は行ってない。

#### 6. 5 各地区での WBGT 予測手法の開発

オリンピック・パラリンピック開催時に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に必要な WBGT 予測手法の検討を進めている。

### (1) WBGT 予測手法の概要

WBGT 予測の手法は、WBGT の計算に必要な気象要素(Ta,Tw,Tg)を求め、式(6.3) により WBGT 予測値を求めることである。

基本的には気象庁数値予報資料から気象要素 (Ta,Tw,Tg) を求めて算出する。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ことが想定されるため、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、精度向上を図る。処理の概要を、図 6-18 に示す。

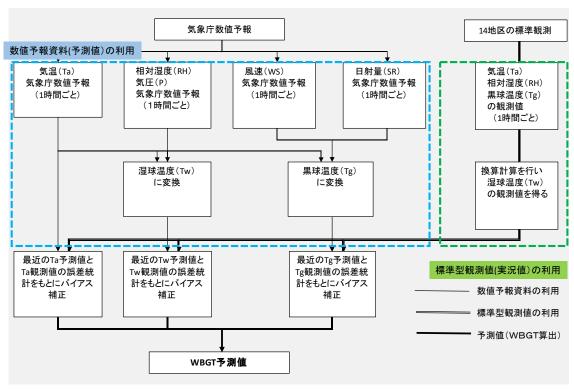


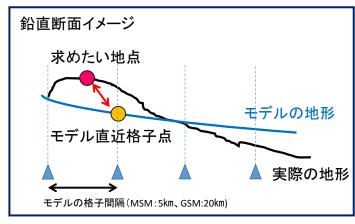
図 6-18 WBGT 予測手法の概要

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)と各地区の測定から得られる気象要素(Ta,Tw,Tg)を比較することで、予測誤差を求めることができる。予測の対象の前日~数週間前の補正値を統計処理し、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予測値とする。この手法で得られる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。

○数値予報結果からのオリパラ地点の気象要素の推定について

気象庁から提供される数値予報資料から特定地点の予測値を推定する概念を図 6-19 に示す。



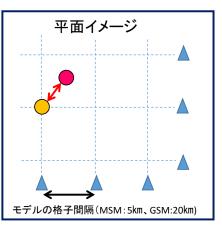


図 6-19 数値予報結果から特定地点の気象要素を推定する概念図

数値予報結果は、規則正しく並んだ数値予報モデルの格子点で与えられるが、予測値を必要とする地点は、通常、数値予報モデルの格子点とは一致しない。そのため、場所のずれ、標高のずれ、地表面状況の違いなどがあり、直近の格子点でのデータ(A)を何らかの方法で修正して求めたい地点のデータ(B)への変換が必要である。

- ①過去の十分な観測実績があれば、(A)と(B)の関係について統計的に処理をして換算式を 求めることができる。
- ②過去の実績がない場合には、最初に一定の仮定のもとで(A)から(B)を求め、その誤差を 考慮し、次の予報機会に反映させる。これを繰り返すことで徐々に誤差を小さくする。

全国のアメダス観測所については、気象庁が①の処理を行った値(数値予報ガイダンス)を出しており、予防情報サイトで予測値を提供している 840 地点は数値予報ガイダンスを使用している。

より具体的に、オリパラ主要会場周辺等の予測値に適応する手順を図 6-20 に示す。図 6-20 に示したように、オリパラ主要会場周辺等の予測値として、その地点から最も近い格子点の値を使用する。

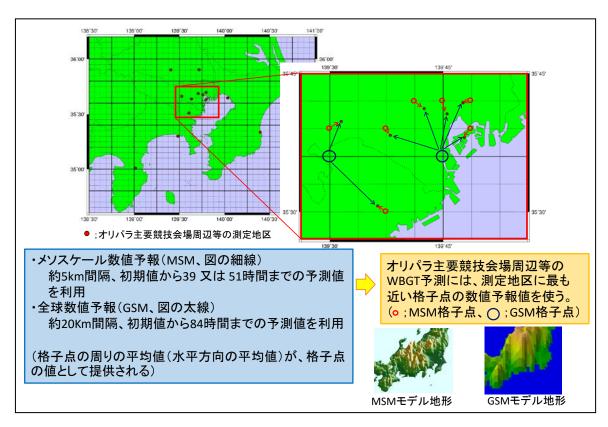


図 6-20 数値予報の格子点配置とオリパラ主要会場周辺等への適用

○WBGT 予測時間と情報作成スケジュールについて

WBGT 予測時間と数値予報の利用の概念図を図 6-21 に示す。また、利用する気象庁の数値予報モデルの一覧を表 6-10 に示す。

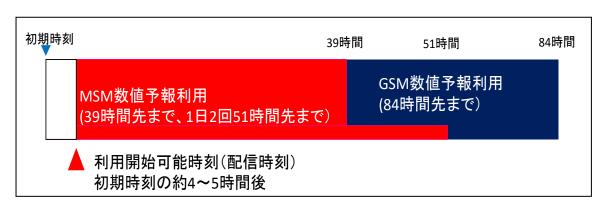


図 6-21 WBGT 予測時間と数値予報の利用の概念図

図中で、数値予報の利用開始可能時刻が初期時刻の 4~5 時間後となっている。その理由は、数値予報モデルの全世界からの同時刻に行われる観測結果を収集し、予測計算が実行されるため、数値予報が配信されるまでに時間がかかるからである。例えば、午前 9 時を初期時刻としたデータを使った予測計算は、午後 1 時頃に実行可能となる。

表 6-10 利用する気象庁の数値予報モデルの一覧表

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 物理量	湿度・降水量・雲量・日   1時間間隔     射量(※1)   87~264時間:   3時間間隔		地球全体	132時間(5.5日間) 予報 (1日3回)				
	気圧面 物理量	高度・風向風速・気温・ 上昇流・湿度	日本域 0~84時間: 3時間間隔 90~264時間: 6時間間隔	全球域6時間間隔	起球主体 20km	264時間(11日間) 予報 (1日1回)			
メソモデル (MSM)	地上 物理量	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	39時間予報 (1日6回)			
	気圧面 物理量	高度・風向風速・気温・ 上昇流・湿度	3時間間隔		5km	51時間予報 (1日2回)※2			
<ul><li>※1 日本域のみ</li><li>※2 平成31年3月から。それまでは39時間予報(1日8回)</li></ul>									

現在計画中の予測情報の予測対象時間と情報作成スケジュール(案)を図 6-22 に示す。

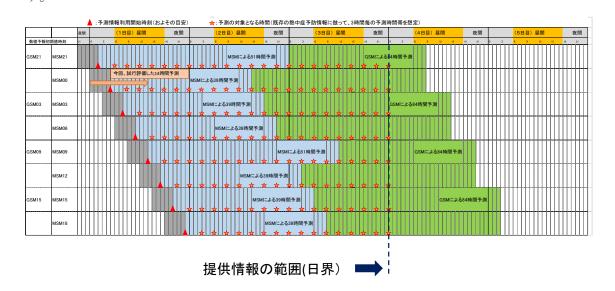


図 6-22 予測対象時間と情報作成スケジュール (案)

図示したスケジュールにより、以下を計画している。

- ・数値予報を反映して 3 時間毎に WBGT 予測情報を更新する。(MSM3 時間毎、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、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する。

#### (2) 14 地区の WBGT 予測技術の開発状況

14 地区の WBGT 予測技術の現在の開発状況は以下のとおりである。

これまでの実施事項としては、

- ・気象庁数値予報モデル (MSM・GSM) を用いた WBGT 予測値を、標準点データで 逐次補正することで、精度向上を図る手法を開発した。
- ・この手法を用いて、2018年夏期( $7/1\sim9/15$ )の期間について、3日前 21 時、前日 0 時及び当日 0 時初期値とするデータを使用して模擬的な予測を作成・評価した。

これまでの模擬予測から得られた成果として、

・暑さがどれだけ続くかや、一時的な気温低下からの回復などの状況については、おお むね予測可能であるが、今日の予測に比べ、明後日の予測は誤差が大きい。

今後の予測精度の改善については、

- ・MSM 初期値時刻当日 0 時を用いて、翌日 15 時までの各時刻の予測結果を対象として 行う。
- ・最終的には明後日までの予測を提供するため、全体的な誤差の状況や、個別要素の効果などを調査して、全体的な誤差の縮小が必要。

以下に、これまで得られた成果の概要を紹介する。

### ○2 日先までの WBGT 予測の試行

2018年夏期の WBGT 模擬予測によって得られた、予測結果と実際の観測結果との対応 (新国立競技場周辺、標準型)を図 6-23 に示す。

この時系列図は、当日、前日の0時および3日前の21時初期値の数値予報を用いて、各日の14時のWBGTの予測を行い、観測値と比較したもので、当日と前日はMSM、前々日はGSMを利用して予測している。

時系列図の予測と観測の対応から、以下のような特徴が見て取れる。

- ・8月20日前後のような、急激なWBGT変化を前々日の段階で予測(把握)できている。
- ・予測時間が短い当日予測は、前日や前々日の予想より、予測と観測の2本の線が近く (誤差が少なく)、精度が高い。

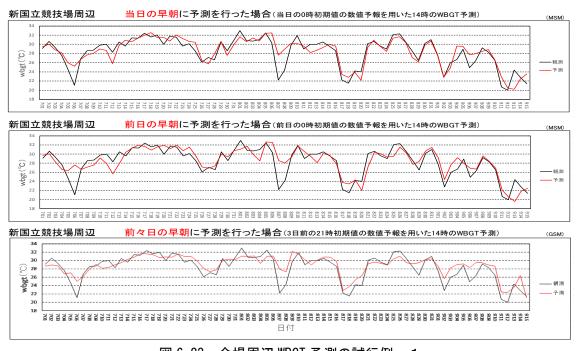


図 6-23 会場周辺 WBGT 予測の試行例ー 1

(2日前、前日、当日に作成される14時の予測と当日の観測)

### ○いくつかの処理手法を用いた WBGT 予測の試行と精度検証

より高精度で、適切な予測情報の提供を目指して、いくつかの処理手法を試行した。 図 6-24 は、当日 0 時初期値の MSM 数値予報を用いて、開発中の手法により 14 時の WBGT を予測した結果と観測値を比較したもの(新国立競技場周辺の例)である。また、表 6-11 は、これらの手法による予測結果の誤差統計を 14 地区についてまとめたものである。

図 6-24 の新国立競技場周辺の時系列グラフを見ると、数値予報による予測値(緑線)は WBGT が高い領域で観測値(黒線)を下回ることが多いが、逐次バイアス補正を適用した予測(青線)では、観測値に近づくように大きく改善されている。Tg のバイアス補正を行わない場合(赤線)は、全要素補正の場合より、わずかに高めの予測となっている。

表 6-11 より、RMSE 等の誤差統計では、全要素バイアス補正の場合が最も誤差が小さいが、Tg バイアス補正無しの場合との差はわずかであった。また、数値予報から作成されたバイアス補正を適用する前の予測では、地区によって平均誤差(ME)が大きく異なるが、バイアス補正後では小さな値にそろっている。

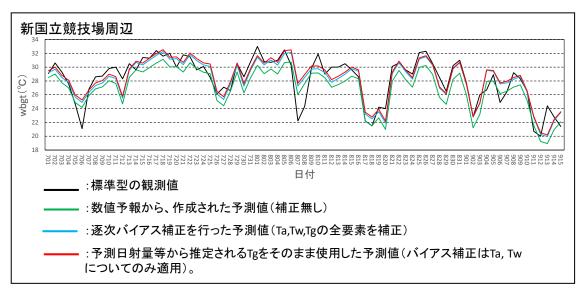


図 6-24 会場周辺 WBGT 予測の試行例-2

(いくつかの手法による当日14時の予測)

## 表 6-11 14 会場周辺 WBGT 予測の誤差統計

(2019年7月1日~9月15日、0時初期値の当日の14時予測)

ME: 平均誤差 RMSE: 二乗平均平方根誤差

		数値予報		全要素バイアス補正		Tgバイアス補正無し	
		ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE
1	新国立競技場周辺	-1.18	1.90	-0.11	1.52	0.15	1.53
2	皇居外苑周辺	0.32	1.48	-0.11	1.47	0.56	1.57
3	国技館周辺	-0.16	1.58	-0.04	1.61	0.32	1.64
4	馬事公苑周辺	-0.96	1.71	-0.15	1.46	0.11	1.45
5	有明・お台場地区周辺	-0.19	1.46	-0.06	1.46	0.55	1.58
6	東京スタジアム周辺	-1.64	2.33	-0.16	1.71	-0.25	1.69
7	霞ヶ関カンツリー倶楽部周辺	-1.26	2.05	-0.24	1.66	-0.03	1.62
8	埼玉スタジアム2002周辺	-0.84	1.73	-0.18	1.52	0.26	1.54
9	幕張メッセ周辺	-0.57	1.69	-0.09	1.63	0.15	1.65
10	釣ヶ崎海岸サーフィン会場周辺	-0.31	1.63	-0.03	1.63	0.15	1.63
11	江の島ヨットハーバー周辺	0.15	1.25	-0.01	1.26	0.44	1.31
12	横浜国際総合競技場周辺	-0.48	1.40	-0.11	1.36	0.26	1.39
13	伊豆ベロドローム周辺	-0.67	1.47	-0.08	1.34	0.15	1.31
14	福島あづま球場周辺	-1.67	2.70	-0.30	2.25	-0.13	2.26
平均		-0.68	1.74	-0.12	1.56	0.19	1.58

WBGT の予測精度を検討する際には、平均的な誤差の大きさとともに、WBGT が高い場合の出現がどの程度正確に再現されるか(リスクが高いことが予測できるか)、という観点から評価することも重要であると考え、WBGT が高くなる 13 時から 15 時におけるWBGT28℃以上(熱中症予防運動指針の「厳重警戒」以上)の予測について、観測との関係を調査した。

図 6-25 左側に観測・予測を WBGT28℃で区分した場合の分割表の概念を示す。同図では、縦軸に予測値が 28℃以上であったか否かを、横軸には予測対象時間に実際に観測された WBGT が 28℃以上であったか否かを並べている。図に示したように、予測と観測の関係には 4 つの組み合わせ(「予測も観測も両方とも 28℃以上(適中)」、「予測では 28℃以上だったが、観測は 28℃未満(空振り)」、「予測では 28℃未満だったが、観測は 28℃以上(見逃し)」、「予測も観測も両方とも 28℃未満」)がある。本報告では、これらのうち、「予測も観測も両方とも 28℃未満」を除く 3 つの組み合わせについて調査した。

この分割表の考え方に基づいて、7月 1日~9月 15日の当日 0 時初期値からの 13,14,15 時の予測値と対応する観測値の関係が、上記のどの分類に属するかを調べ、それぞれの分類 の回数を数えた。例えば、新国立競技場周辺の逐次バイアス修正法による補正後の予測値の 場合、対象期間内の 13,14,15 時の WBGT の観測値が 28  $\mathbb{C}$  以上であったのは、全サンプル 77 日間×3 回=231 回のうち 144 回あったが、このうち予測値でも 28  $\mathbb{C}$  以上であったのは 124 回、28  $\mathbb{C}$  未満の予測値となっていた場合が 20 回であった。一方、予測値が 28  $\mathbb{C}$  以上であったのは 134 回あったが、このうち実際の観測値が 28  $\mathbb{C}$  以上であったのは 124 回、観測 値が 28  $\mathbb{C}$  未満であった場合が 10 回あった。このケースの分割表を図 6-25 右側に示した。

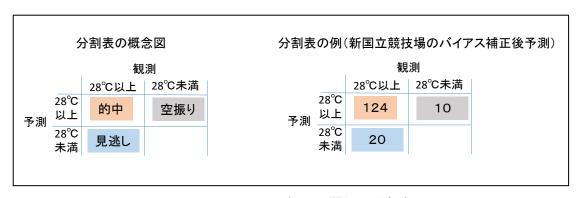


図 6-25 予測と観測の関係の分割表

このように、予測・観測があるしきい値を超すか否かの組み合わせを検証する場合には、 一般的には「適中」がより多く「見逃し」や「空振り」がより少なくなることが望ましい。 ただし、「空振り」については、安全サイドに予測されたと評価することもできる。

図 6-26 は、WBGT28℃をしきい値とした分割表を 14 地区すべてについて作成し、回数を棒グラフにしたものである。最上段の「バイアス補正無し」の予測では、各地区のグラフの中央の「適中」(橙)が最も多い地区が多いものの、見逃し(青)が多い地区が多い。これに対して、中段のバイアス補正後では、「適中」が多くなり「見逃し」が減っており、予測精度の大きな改善がみられる。さらに最下段の Tg のバイアス補正を行わない場合では、「空振り」が少し増えるものの、多くの地区で「適中」がさらに増加、「見逃し」がさらに減少しており、この検証指標で見る限りでは、WBGT 予測としてより適切な値が作成されていると判断できる。なお、福島あづま球場周辺の予測については、見逃し回数がかなり多

い結果となったが、これは7月前半のWBGTが高い日の予測が不十分だったことが影響している。福島あづま球場周辺では、元の数値予報から作成されるWBGT予測に大きな負バイアスがあったが(表6-11参照)、今回の予測では、観測の開始時点(7月1日)のバイアス補正値を0として、その後の実況で逐次補正する処理をしたため、初期の期間(7月前半)では、十分な補正が行えなかった(注)。観測期間の初期から適切なバイアス補正を行うには、逐次補正の初期値として適当な値(例えば、前年度の当該地点の平均的バイアス値など)を与えることも検討する必要がある。

(注) 逐次バイアス修正法において有効なバイアス補正値を得るには、2週間程度の先行期間が必要である。

### 



6.東京スタ 7.霞ヶ関

図 6-26 14 会場周辺の WBGT 予測精度評価

WBGT28℃をしきい値とした分割表に基づく評価

3.国技館 4.馬事公苑

(2019年7月1日~9月15日、当日0時初期値からの13,14,15時についての予測)

# (3) 今後の課題と計画

逐次バイアス修正法による WBGT 予測は、これまで報告した模擬予測の評価により、WBGT 予測情報を提供する上で、有効な処理手法であることが確認できた。

今後は、一日 8 回の数値予報を基盤としつつ観測値を反映して毎時に 2 日先までの予測値を作成する、「予測値自動作成システム」の構築に取り組む。

これと並行して、まだ改良の余地のある WBGT 予測処理手法の開発・改良もすすめ、有効性が確認できた部分から、順次前述の予測値作成システムに組み込んでいく。