

資料(Data)

熱中症リスク把握を目指した神奈川県内の WBGT (wet-bulb globe temperature : 暑さ指数) の分布推計方法の検討

田澤 慧 (環境情報部)

A study of methods for estimating WBGT(wet-bulb globe temperature) distribution in Kanagawa Prefecture to aim at predicting the risk of heatstroke

Satoshi TAZAWA (Environmental Information Division)

キーワード： WBGT, 熱中症, 神奈川県, 気候変動

1 はじめに

人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには、疑う余地はなく、2011～2020年の世界の平均気温は、産業革命以降、すでに1.09℃高くなったと推定されている¹⁾。さらに、都市化が進む神奈川県では、地球温暖化の影響だけでなく、ヒートアイランド現象²⁾によって、横浜地方気象台において100年あたり1.9℃の気温の上昇が観測されている³⁾。今後、温室効果ガスの排出抑制などの緩和策が進んだとしても、少なくとも今世紀半ばまでは、気温上昇が続く見込みである⁴⁾ことから、緩和策だけでなく、気候変動に備えるための適応策にも、これまで以上に取り組んでいく必要がある。

私たちの生活の様々な場面で、気候変動の影響が予測されているが、都市化が進み多くの人口を抱える神奈川県においては、熱中症が緊急性のある重大な課題の一つである。2018年には県内で4,710人の熱中症による救急搬送者が発生し、過去最高を記録した⁴⁾。さらに、21世紀末には、熱中症による緊急搬送者数が、現在の2倍以上になることも予測されている⁵⁾。

熱中症のリスクを示す指標の一つである湿球黒球温度 (wet-bulb globe temperature, 以下 WBGT という。) は、環境省と気象庁が2021年から全国で発出している「熱中症警戒アラート」の基準になる等、我が国で広く活用されており、屋外での WBGT は次式により定義される。

$$WBGT = 0.7 \times Tw + 0.2 \times Tg + 0.1 \times Ta \quad (\text{式 1})$$

ここで Tw は湿球温度(℃), Tg は黒球温度(℃),

Ta は乾球温度(℃) である。

WBGT の算出に必要な黒球温度と湿球温度は、通常の気象要素として、気象庁等によって観測されていないため、WBGT の測定地点は限られている(気象庁や環境省などの国の機関が、継続的に黒球温度を用いて WBGT を測定している地点は、神奈川県内に設定されていない)。そのため、環境省は、小野らが提案する通常観測気象要素(乾球温度、相対湿度、全天日射量、風速の4要素)から WBGT を推計する次式による方法⁶⁾を用いて、全国の WBGT 推計値を算出し、熱中症予防情報サイトにおいて暑さ指数として情報提供している。

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

ここで、Ta は乾球温度(℃), RH は相対湿度(%), SR は全天日射量(kW/m²), WS は風速(m/s) である。

しかし、同サイトで提供されている神奈川県内の WBGT は、気象庁の観測所がある5地点(横浜、海老名、辻堂、小田原、三浦)のみと少なく、熱中症リスクの詳細な分析や把握のためには、十分とは言えない。

そこで、本検討では、神奈川県内の熱中症リスクを分析・把握するための準備として、既存の気象観測値や推計方法を組み合わせることにより、限られた既存の気象観測要素から WBGT を推計する方法を検討した。

2 方法

2.1 データの収集

本検討では、既存の気象観測データを活用するため、一般環境大気測定局（小田原市役所、相模原市田名）、横須賀市消防局の3地点（以下、それぞれ小田原、相模原、横須賀という。）を対象地点として、乾球温度、相対湿度、風速及び全天日射量の4要素を次の方法によって収集した。

データの収集・解析期間は、2020年8月9日～9月7日の30日間とした。

表1 対象地点の住所及び緯度経度

対象地点名	住所	緯度, 経度
小田原	小田原市荻窪 300	35.2644, 139.1519
相模原	相模原市中央区 田名 4987-6	35.5483, 139.3344
横須賀	横須賀市小川町 11 番地	35.2809, 139.6733

2.1.1 乾球温度、相対湿度、風速

乾球温度、相対湿度及び風速は、既存の観測データを使用した。小田原の乾球温度及び湿度のみ、筆者らが、自然通風筒と温湿度センサー（株式会社ティアンドデイ製温湿度データロガーRTR-507S）を用いて、自ら測定した。

2.1.2 日射量

1) 実測日射量

小田原、相模原、横須賀の3地点において、簡易な日射計（英弘精機株式会社製薄型日射計 ML-02、株式会社ティアンドデイ製おんどとりワイヤレスデータロガー電圧 RTR-505-V）を設置し、全天日射量の10分平均値を測定した。

2) 気象衛星解析日射量

現地での測定によらず、各地点の日射量を得るために、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 JAXA が提供している静止気象衛星ひまわり標準データから作成された日射量（以下、気象衛星解析日射量という。）を利用した^{7,8)}。分野横断型プロダクト提供システム (P-Tree) を通じて、空間解像度 1 km、時間解像度 10 分のデータのうち、対象3地点の最近接の観測地点における日射量データを収集した。

3) 気象庁数値予報 GPV

現地での測定によらず、各地点の日射量を得るために、気象庁のメソ数値予報モデル格子点デー

タ（格子間隔：5 km）（以下、数値予報 GPV という。）から、対象3地点の最近接の格子点における日射量を取得した。解析にあたっては、各予報時刻から次の予報時刻までの4時間分の予報値を取り出して用いた。

2.2 WBGT の算出

収集したデータは、地点又は要素ごとに時間間隔が異なっているため、WBGT の算出には、1時間値を用いることとした。

乾球温度、相対湿度、風速は正時の測定値を、全天日射量は正時の前後 30 分間の平均値を用いて、小野らの WBGT 推計方法(式2)により WBGT 推計値を求め、比較した。なお、日射量の測定方法の違いによる WBGT の差異を比較するため、日の出から日没まで間（実測日射量 > 0）を解析対象とした。

3 結果

3.1 実測日射量と気象衛星解析日射量の比較

実測日射量と気象衛星解析日射量の1時間平均値の比較を図1に示す。その際、雲による陰りの影響を確認するため、(式3)～(式5)を用いて、快晴時の理論日射量を算出し、実測日射量/理論日射量比によって、場合分けを行った。なお、理論日射量の算出にあたって、大気透過率 P は 0.75 で一定とした。

$$J_H = J_D \cdot \sin h + J_s \quad (\text{式 3})$$

$$J_D = J_0 \cdot P \left(\frac{1}{\sin h} \right) \quad (\text{式 4}) \text{ Boguer の式}$$

$$J_s = 0.5 \cdot J_0 \cdot \sin h \cdot \frac{1 - P \left(\frac{1}{\sin h} \right)}{1 - 1.4 \ln P} \quad (\text{式 5}) \text{ Berlage の式}$$

ここで、 J_H は全天日射量 (W/m^2)、 J_D は法線面直達日射量 (W/m^2)、 J_s は水平面天空日射量 (W/m^2)、 J_0 は太陽定数 (W/m^2)、 h は太陽高度 (deg)、 P は大気透過率 (-) をそれぞれ示す。なお、太陽高度 h は長谷川による略算式⁹⁾を用いて求めた。

図1に示すとおり、小田原、相模原及び横須賀のいずれの地点においても、実測日射量と気象衛星解析日射量の間で、良好な直線性が得られ、よく一致することが分かった（相関係数は 0.95 以上）。

なお、同様に、時間解像度 10 分のデータに関し

実測日射量/理論日射量比 : ● 0～ ● 0.2～ ● 0.4～ ● 0.6～ ● 0.8～

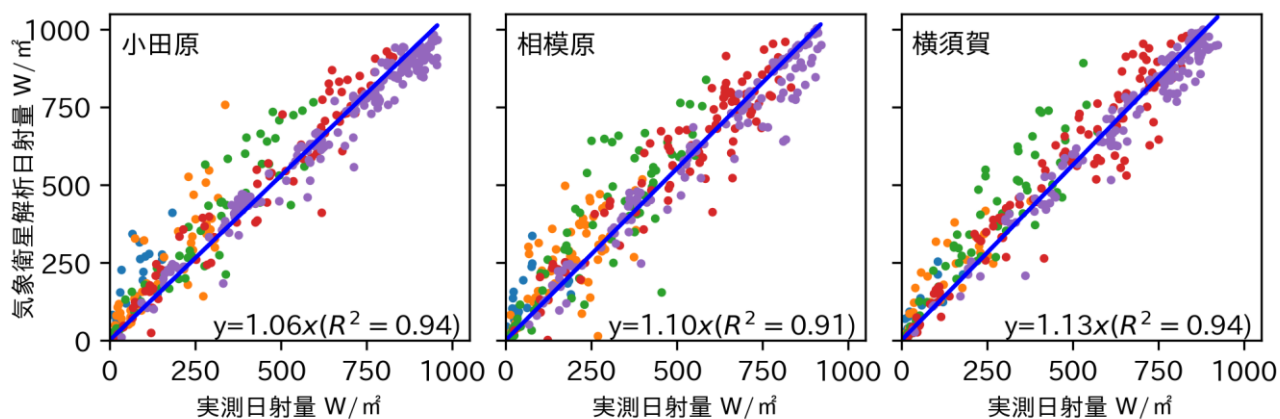


図1 実測日射量と気象衛星解析日射量（1時間平均値）の比較

実測日射量/理論日射量比 : ● 0～ ● 0.2～ ● 0.4～ ● 0.6～ ● 0.8～

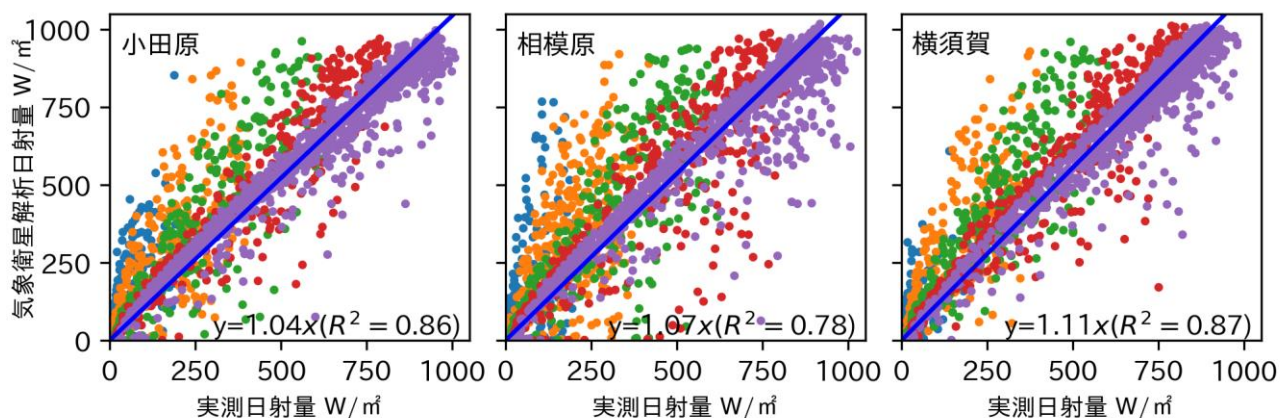


図2 実測日射量と気象衛星解析日射量（10分値）の比較

て、実測日射量と気象衛星解析日射量を比較したところ、図2に示すように、1時間平均値と比べ、ばらつきが大きくなった。特に、実測日射量/理論日射量比が低い時、すなわち雲による陰りの影響がある場合には、実測日射量よりも気象衛星解析日射量の方が大きくなる傾向が見られた。

この傾向は、1時間平均をすることで緩和することから、測定間隔の違い（実測日射量は10分平均値、気象衛星解析日射量は10分間隔の瞬時値）が影響していると考えられる。

また、実測日射量の測定地点と気象衛星解析日射量の取得地点の距離の影響を確認するため、距離と相関係数との関係を確認した。その結果、表2に示すように、距離と相関係数との間には、特に傾向はみられなかったことから、気象衛星解析日射量が提供されている1 km メッシュの範囲においては、距離の影響は小さいと考えられる。

表2 収集データの位置関係

地点名	相関係数 R		①までの距離(km)
	10分値	1時間値	
小田原	0.94	0.97	0.48
相模原	0.90	0.96	0.43
横須賀	0.94	0.97	0.29

①：気象衛星解析日射量の最近接地点

3. 2 実測日射量と数値予報 GPV 日射量の比較

実測日射量と数値予報 GPV 日射量の1時間値を比較した。前節での比較と同様に、雲による陰りの影響を検証するため、実測日射量/理論日射量比で場合分けを行ったうえで、図示した。なお、数値予報 GPV 日射量は、前1時間の平均値であることから、実測日射量も、前1時間の平均値を

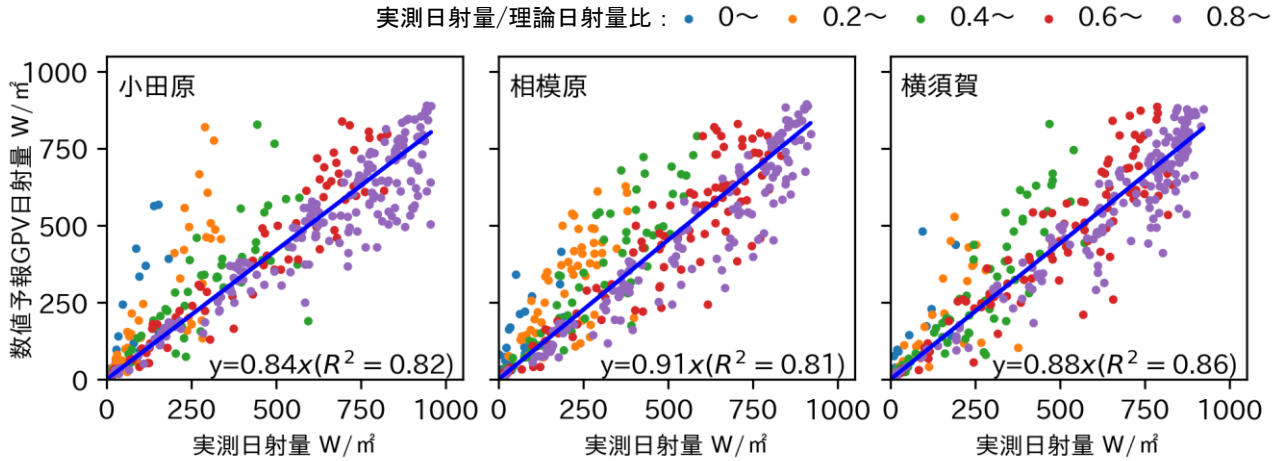


図3 実測日射量（1時間平均値）と数値予報 GPV 日射量の比較

求めて比較した。

図3及び表3に示すように、実測日射量と数値予報 GPV 日射量は、相関係数が 0.91~0.93 となり、いずれの地点でも、気象衛星解析日射量よりもばらつきが大きかった。また、実測日射量と比べ、数値予報 GPV 日射量の方が低めの値を示した。これらは、数値予報 GPV の空間解像度が 5km メッシュと荒いためや、各格子点のデータが空間的な平均値であるためと考えられる。

なお、前節と同様に、実測日射量の測定地点と気象衛星解析日射量の最近接格子点の距離の影響を確認したところ、距離と相関係数の間には、特に傾向はみられなかった（表3）。

響を確認したところ、距離と相関係数の間には、特に傾向はみられなかった（表3）。

3.3 WBGT の比較

前節までの比較の結果から、実測日射量によりよく一致した気象衛星解析日射量を用いて、小野らの WBGT 推計方法（式2）によって WBGT を算出した場合と、実測日射量を用いて算出した場合とを比較した。

小野らの WBGT 推計方法は、WBGT 推計値に対する全天日射量の寄与度が、乾球温度や相対湿度に比べて低いことから、図4に示すように、WBGT 推計値は、いずれの地点においても、気象衛星解析日射量を用いた場合と実測日射量を用いた場合とでよく一致した（相関係数 0.98~0.99）。

実測日射量を用いた場合と気象衛星解析日射量を用いた場合の WBGT の差は、図5に示すように、9割以上の時間で、±1℃以内に収まることから、熱中症リスクを分析・把握に十分活用可能と考えられる。

表3 収集データの位置関係

地点名	相関係数 R	②までの距離(km)
小田原	0.91	2.91
相模原	0.91	1.96
横須賀	0.93	2.49

②：数値予報 GPV 日射量の最近接格子点

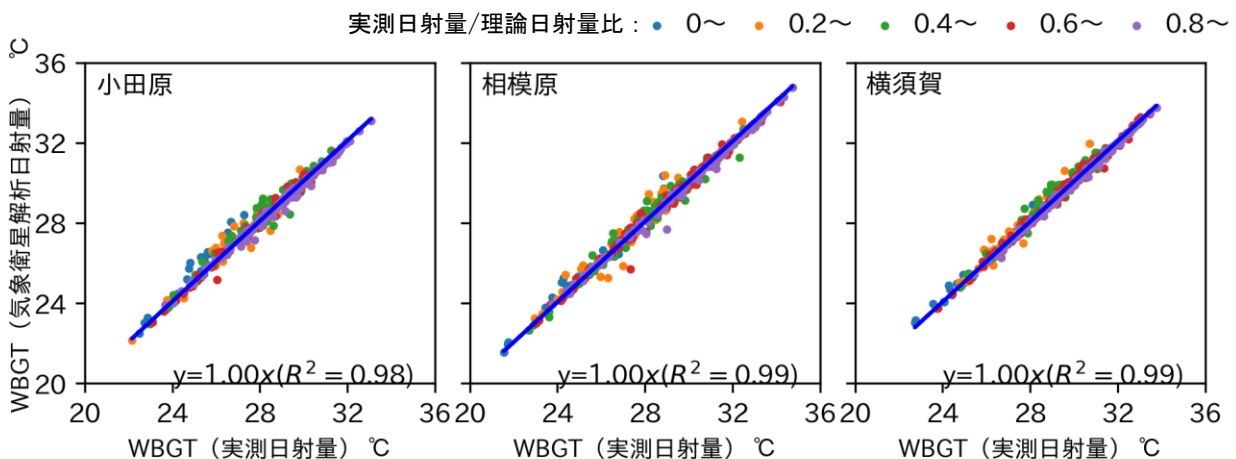


図4 実測日射量と気象衛星解析日射量から求めた WBGT の比較

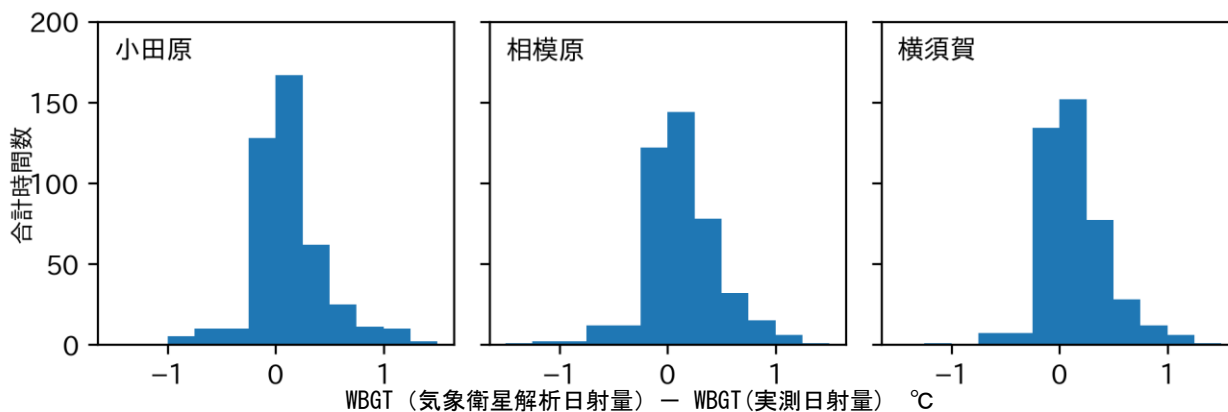


図5 WBGT (気象衛星解析日射量) と WBGT(実測日射量)の差の比較

まとめ

本検討では、神奈川県内の熱中症リスクを分析・把握する準備として、既存の気象観測データを活用し、WBGTを算出する際に必要となる日射量について、気象衛星解析日射量及び数値予報GPV日射量と実測日射量との比較を行った。

その結果、気象衛星解析日射量が実測日射量とよく一致し、WBGTの算出に十分使えることが分かった。

検討の結果、市町消防本部や一般環境大気測定局などで一般的に測定されている気象要素である気温、相対湿度及び風速に加えて、気象衛星解析日射量を用いることにより、追加の測定をすることなく、WBGTを推計できることが確認された。

謝辞

本論文にて使用した「ひまわり8号から作成した日射量に関する研究プロダクト」は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の分野横断型プロダクト提供サービス(P-Tree)より提供を受けました。

気象庁数値予報GPVは京都大学生存圏研究所が運営する生存圏データベースによって収集・配布されたものを利用しました。(http://database.rish.kyoto-u.ac.jp)

参考文献

- 1) 気象庁: IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳 (文部科学省及び気象庁) ,4-7, 気象庁 (2021)
- 2) 気象庁: 都市化率と平均気温等の長期変化傾向, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/himr_1-1-1.html#ex1 (参照: 2021.9)
- 3) 東京管区気象台: 気候変化レポート 2018 -

- 関東甲信・北陸・東海地方-, 4751, 東京管区気象台 (2019)
- 4) 消防庁: 熱中症情報, <https://www.fdma.go.jp/diaster/heatstroke/post3.html> (参照: 2021.9)
- 5) S-8 温暖化影響・適応研究プロジェクトチーム: S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 地球温暖化「日本への影響」-新たなシナリオに基づく総合的影響評価予測と適応策-, 31-40, 国立環境研究所 (2014)
- 6) 小野雅司, 登内道彦: 通常観測気象要素を用いた WBGT (湿球黒球温度) の推定, 日本気象学会雑誌, 50(4), 147-157(2014)
- 7) 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 JAXA: https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html, JAXA (参照: 2021.9)
- 8) R.Frouin, H.Murakami: Estimating photosynthetically available radiation at the ocean surface from ADEOS-II global imager data, J. Oceanography, 63, 493-503(2007)
- 9) 長谷川工: 日の出・日の入りの計算 (天体の出没時刻の求め方), 70-80, 地人書館(1999)