

重回帰分析による熱中症の危険予測と部活動の在り方

奈良女子大学附属中等教育学校4年 北村 優季

1. 研究の動機と目的

昨年度の自由研究では、自宅の各部屋における気温や湿度を測定して不快指数を計算することで、どの部屋が最も快適かを調べるとともに、その快適度を高める方法について検討した。その結果、同じ家の中でも部屋の環境や外の天候によって快適度に違いがあること、また、その違いが体感にも大きく影響することが分かった。この研究を通して、気温や湿度などの気象条件と熱中症の結びつきを強く意識するようになった。

2025年の夏も異常に暑く、7月末には兵庫県丹波市で気象庁が認定する日本史上最高の41.2℃を記録した。その一週間後の8月初めには群馬県伊勢崎市で41.8℃を記録し、わずか一週間で記録が塗り替えられた。全国では軒並み35.0℃以上の猛暑日を記録している。各地で熱中症警戒アラートが発表され、熱中症対策を呼びかける報道が頻繁になされているように、熱波による健康被害は深刻な状況となっている。特に、学校での部活動は炎天下での練習や蒸し暑い体育館での活動が中心となるため、熱中症のリスクは非常に高い。

熱中症の発生には、単に気温だけでなく、湿度、日照時間、風速など、様々な気象条件が複雑に関係していると言われているが、どのような気象条件の時に熱中症リスクがどの程度あるのかは感覚的にイメージがしにくい。また、熱中症の危険度を測る指標にはWBGT(湿球黒球温度、Wet-Bulb Globe Temperature)があるが、これは正確な数値を出すためには専用の計測器が必要であり、高校生の私たちが身近に危険を察知することは難しい。報道でよく耳にする熱中症警戒アラートも「○月○日に××県」と発表されるが、その日のどの時間にどの場所が危険なのかは詳細には分からない。そこで、本研究では高校生の私たちが感覚的にイメージしやすく、手軽で複雑になりすぎない新たな指標「熱中症危険指数」を開発することを目的とする。そこで、熱中症による救急搬送者数(以下、熱中症の搬送者数とする)と気象要因との関係性について統計的手法を用いて定量的に分析し、熱中症の搬送者数(予測値)を求めるモデルを構築する。そして、その予測値を区分化し、「熱中症危険指数」を提案する。

重回帰分析における説明変数には簡単に計測できることと、体感から危険を察知しやすいことを重視し、「不快指数」と「天気」の2つを加えたモデルで説明したいと考える。不快指数は気温と湿度が分かれば計算式で求めることができ、不快かどうかは体感でイメージしやすいため手軽で分かりやすい。天気についても、「晴」や「曇り」や「雨」は身近で分かりやすい。多少、モデルの適合度が落ちたとしても、誰もがイメージしやすい変数を用いて危険を察知できる方がよいと考える。その他の変数については、「不快指数」と「天気」に加えてあてはまりがよい要因を探すこととする。なお、気象条件については国土交通省気象庁が公開している日別のデータ、熱中症の搬送者数については総務省消防庁が公開している日別のデータおよび、奈良市消防局から提供いただいた日別のデータを用いて分析を行う。

そして、重回帰分析の結果から導出した熱中症の搬送者数予測モデルに、学校の体育館や武道場で計測した実際のデータを入力して予測値を求めることで熱中症リスクを推測する。最終的に、高校での部活動の在り方について、特に活動時間や場所の工夫といった視点から提案を行いたい。

2. 奈良市における月別の気温と熱中症搬送者数の経年変化

2022年から2024年については5月から9月、2025年は5月から7月における奈良市の平均気温と、熱中症の搬送者数を表1に整理する。平均気温は気象庁のWebページに公開されているデータを、熱中症の搬送者数については奈良市消防局救急課からいただいたデータを用いた。まず、5月から9月における平均気温はどの年も8月が最も暑く、続いて7月、9月、6月、5月の順に高い。各年で見ると、暑さが厳しい7月、8月、9月は年々暑くなる傾向がある。特に9月は調べた3年間で平均気温が2.3度も上昇していて、さらなる温暖化が懸念される。

表 1 奈良市における平均気温と熱中症搬送者数の変化

	5 月		6 月		7 月		8 月		9 月		熱中症の 搬送者数 合計
	熱中症の 搬送者数	平均 気温	熱中症の 搬送者数	平均 気温	熱中症の 搬送者数	平均 気温	熱中症の 搬送者数	平均 気温	熱中症の 搬送者数	平均 気温	
2022 年	13	18.9	68	23.8	101	27.5	72	28.3	12	25.1	266
2023 年	16	19.0	14	22.9	108	27.5	88	28.9	20	26.4	246
2024 年	11	18.6	23	23.3	137	28.9	91	29.2	54	27.4	316
2025 年	8	19.3	75	24.6	153	29.3	—	—	—	—	236
平均	12	19.0	45	23.7	124.8	28.3	83.7	28.8	28.7	26.3	—

熱中症の搬送者数は気温が高くなる 7 月と 8 月に多く、気温が低い 5 月は少ないため、気温と相関があると考えられる。また、誤差はあるが熱中症の搬送者数は年々増加傾向で、2025 年については 7 月末時点で 236 人と 2023 年の 5 月から 9 月における搬送者数の合計に迫る勢いである。8 月と 9 月のデータは得られていないが、この勢いで増えれば過去 4 年間で最も多くなるのではないだろうか。また、平均気温は 8 月が最も高いが、熱中症の搬送者数は 7 月に最も多い。これは、気温などの気象条件の他に暑さへの慣れなどが影響しているのかもしれない。6 月と 9 月は年によってばらつきが大きい、これは梅雨や秋雨、台風の影響で湿度が関係しているのではないかと考える。

3. 重回帰モデルによる熱中症の搬送者数に影響を与える気象要因の分析

3.1 重回帰分析の内容と方法

熱中症の搬送者数の予測モデルを構築するために重回帰分析を行う。目的変数は、奈良県における熱中症による救急搬送者数(1 日あたりの計)で、データは消防庁が公開している日別データ(2022 年から 2024 年の 5 月から 9 月における計 459 件)を用いる。説明変数には「不快指数」と「天気度数(天気を数値化したもの)」を含めて、その他にあてはまりのよい要因を加えることとする。「不快指数」と私が設定した「天気度数」の求め方を(1)と(2)に示す。

(1)説明変数 1:不快指数

不快指数は、暑さや蒸し暑さをどれだけ不快に感じるかを数値化した指標である。気温を $T(^{\circ}\text{C})$ 、湿度を $H(\%)$ として次の式で計算される。また、不快指数の区分を図 1 に示す。

$$\text{不快指数} = 0.81 \times T + 0.01 \times H \times (0.99 \times T - 14.3) + 46.3$$

例えば、気温 35.0°C ・湿度 70.0% の場合、不快指数は 88.9 となり、体感としては「暑くてたまらない」にあてはまる。

$$\text{不快指数} = 0.81 \times 35 + 0.01 \times 70 \times (0.99 \times 35 - 14.3) + 46.3 \doteq 88.9$$

(2)説明変数 2:天気度数

気象庁のデータにおいて「天気」は言葉で表現されているため、分析するためにはそれらを数値化しなければならない。そこで、ルールを設けて数値化し、天気度数を設定した。まず、元のデータでは「晴、雷を伴う」のように「雷を伴う」という言葉が多く見られたが、熱中症と雷との関係は考察しづらいと考えその言葉を削除している。次に、天気がよい時ほど点数が高くなるように、基本スコアとしては晴れが 10 点、曇りが 5 点、雨が 0 点とした。大雨は雨と同等とみなし 0 点とした。天気の表現にある「後」や「時々」、「一時」については、次のとおり計算している。

- ・「A 後 B」は、前(A)も後(B)も、ともに 0.5 ずつの割合とし、 $A \times 0.5 + B \times 0.5$ とする
- ・「A 時々 B」は、前(A)が 0.6、後(B)が 0.4 の割合とし、 $A \times 0.6 + B \times 0.4$ とする
- ・「A 一時 B」は、前(A)が 0.8、後(B)が 0.2 の割合とし、 $A \times 0.8 + B \times 0.2$ とする

不快指数	体感
85～	暑くてたまらない
80～85	暑い
75～80	やや暑い
70～75	暑くない
65～70	快適
60～65	何も感じない
55～60	肌寒い
～55	寒い

図 1 不快指数の区分

なお、A 後一時 B などの表現は、A 後 A 一時 B として考えて計算する。今回取り扱ったデータには 58 種類の天気が見られたが、数値化した天気度数の一覧を表2に示す。

表 2 天気度数と計算方法の一覧

番号	天気の表現	計算方法	天気度数
1	晴	晴 \times 1.0	10
2	晴後一時曇	晴 \times 0.5+(晴 \times 0.8+曇 \times 0.2) \times 0.5	9.5
3	晴後時々曇	晴 \times 0.5+(晴 \times 0.6+曇 \times 0.4) \times 0.5	9
4	晴後一時雨	晴 \times 0.5+(晴 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5	9
5	晴一時曇	晴 \times 0.8+曇 \times 0.2	9
6	晴後一時雨一時曇	晴 \times 0.5+(晴 \times 0.6+雨 \times 0.2+曇 \times 0.2) \times 0.5	8.5
7	晴時々曇	晴 \times 0.6+曇 \times 0.4	8
8	晴後時々曇一時雨	晴 \times 0.5+(晴 \times 0.4+曇 \times 0.4+雨 \times 0.2) \times 0.5	8
9	晴一時雨	晴 \times 0.8+雨 \times 0.2	8
10	曇後晴	曇 \times 0.5+晴 \times 0.5	7.5
11	晴後曇	晴 \times 0.5+曇 \times 0.5	7.5
12	曇時々晴	曇 \times 0.6+晴 \times 0.4	7
13	曇一時雨後晴	(曇 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5+晴 \times 0.5	7
14	晴後曇一時雨	晴 \times 0.5+(曇 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5	7
15	曇後晴一時雨	曇 \times 0.5+(晴 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5	6.5
16	晴後曇時々雨	晴 \times 0.5+(曇 \times 0.6+雨 \times 0.4) \times 0.5	6.5
17	晴一時雨後曇	(晴 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5+曇 \times 0.5	6.5
18	曇時々晴一時雨	曇 \times 0.4+晴 \times 0.4+雨 \times 0.2	6
19	曇後時々晴	曇 \times 0.5+(曇 \times 0.6+晴 \times 0.4) \times 0.5	6
20	曇一時晴	曇 \times 0.8+晴 \times 0.2	6
21	晴時々曇一時雨	晴 \times 0.4+曇 \times 0.4+雨 \times 0.2	6
22	晴後雨時々曇	晴 \times 0.5+(雨 \times 0.6+曇 \times 0.4) \times 0.5	6
23	雨時々曇後晴	(雨 \times 0.6+曇 \times 0.4) \times 0.5+晴 \times 0.5	6
24	晴後大雨時々曇	晴 \times 0.5+(大雨 \times 0.6+曇 \times 0.4) \times 0.5	6
25	曇後晴時々雨	曇 \times 0.5+(晴 \times 0.6+雨 \times 0.4) \times 0.5	5.5
26	曇後一時晴	曇 \times 0.5+(曇 \times 0.8+晴 \times 0.2) \times 0.5	5.5
27	晴後雨一時曇	晴 \times 0.5+(雨 \times 0.8+曇 \times 0.2) \times 0.5	5.5
28	曇後一時雨一時晴	曇 \times 0.5+(曇 \times 0.6+雨 \times 0.2+晴 \times 0.2) \times 0.5	5
29	曇一時晴後一時雨	(曇 \times 0.8+晴 \times 0.2) \times 0.5+(曇 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5	5
30	曇	曇 \times 1.0	5
31	晴時々雨一時曇	晴 \times 0.4+雨 \times 0.4+曇 \times 0.2	5
32	曇後時々雨一時晴	曇 \times 0.5+(曇 \times 0.4+雨 \times 0.4+晴 \times 0.2) \times 0.5	4.5
33	曇後一時雨	曇 \times 0.5+(曇 \times 0.8+雨 \times 0.2) \times 0.5	4.5
34	雨時々晴後曇	(雨 \times 0.6+晴 \times 0.4) \times 0.5+曇 \times 0.5	4.5
35	曇時々雨一時晴	曇 \times 0.4+雨 \times 0.4+晴 \times 0.2	4
36	曇後時々雨	曇 \times 0.5+(曇 \times 0.6+雨 \times 0.4) \times 0.5	4
37	曇一時雨	曇 \times 0.8+雨 \times 0.2	4
38	雨時々曇一時晴	雨 \times 0.4+曇 \times 0.4+晴 \times 0.2	4
39	雨後晴時々曇	雨 \times 0.5+(晴 \times 0.6+曇 \times 0.4) \times 0.5	4
40	大雨時々曇一時晴	大雨 \times 0.4+曇 \times 0.4+晴 \times 0.2	4
41	晴時々曇後大雨	(晴 \times 0.6+曇 \times 0.4) \times 0.5+大雨 \times 0.5	4
42	雨後曇時々晴	雨 \times 0.5+(曇 \times 0.6+晴 \times 0.4) \times 0.5	3.5
43	雨一時晴後曇	(雨 \times 0.8+晴 \times 0.2) \times 0.5+曇 \times 0.5	3.5
44	曇時々晴後大雨	(曇 \times 0.6+晴 \times 0.4) \times 0.5+大雨 \times 0.5	3.5
45	大雨後曇時々晴	大雨 \times 0.5+(曇 \times 0.6+晴 \times 0.4) \times 0.5	3.5
46	曇時々晴後雨	(曇 \times 0.6+晴 \times 0.4) \times 0.5+雨 \times 0.5	3.5
47	曇時々雨	曇 \times 0.6+雨 \times 0.4	3
48	曇一時晴後雨	(曇 \times 0.8+晴 \times 0.2) \times 0.5+雨 \times 0.5	3
49	雨後曇一時晴	雨 \times 0.5+(曇 \times 0.8+晴 \times 0.2) \times 0.5	3
50	大雨後曇	大雨 \times 0.5+曇 \times 0.5	2.5
51	雨時々曇	雨 \times 0.6+曇 \times 0.4	2

52	大雨時々曇	大雨×0.6+曇×0.4	2
53	雨後時々曇	雨×0.5+(雨×0.6+曇×0.4)×0.5	1
54	大雨後時々曇	大雨×0.5+(大雨×0.6+曇×0.4)×0.5	1
55	雨後一時曇	雨×0.5+(雨×0.8+曇×0.2)×0.5	0.5
56	大雨後一時曇	大雨×0.5+(大雨×0.8+曇×0.2)×0.5	0.5
57	雨	雨×1.0	0
58	大雨	大雨×1.0	0

外れ値の除外や統計処理は Excel を用いて行う。説明変数に「不快指数」、「天気度数」の 2 変数の他にモデルの適合度としてあてはまりがよいものを検討した結果、最終的に「不快指数」「平均風速」「天気度数×平均気温」の 3 つとした。説明変数のデータは、気象庁が公開している奈良市の日別データにおける平均気温、平均湿度、平均風速、天気昼(06:00-18:00)を用いる。なお、不快指数が 70 より小さい 128 件は熱中症のリスクが低いと考えて分析対象から外すこととする。

3.2 重回帰分析の結果と考察

重回帰分析を行った結果を表3、図 2、図 3、図 4 に示す。外れ値の 7 件を分析対象から外し、観測数は 324 件である。また、説明変数間の相関係数を表4に示す。

モデルの適合度は、重相関 R が 0.7445 で熱中症の搬送者数と説明変数との相関は比較的強い。決定係数 R^2 が 0.5543、補正 R^2 が 0.5501 であり、約 55%の変動を説明できている。説明変数同士の相関係数はいずれも 0.5 未満でありそれぞれが強く関連していないため、重回帰モデルの信頼性は高いといえる(表4)。また、モデル全体の F 値は極めて有意($P < 0.05$)で、全ての説明変数における P-値も極めて小さいので、統計的に意味のある予測ができていると考える。重回帰分析によって導出された回帰式は、次のとおりである。

$$\text{搬送者数(予測値)} = -107.5819 + 1.4946 \times \text{不快指数} - 2.0475 \times \text{平均風速} + 0.0307 \times (\text{天気度数} \times \text{平均気温})$$

目的変数:搬送者数(予測値)

説明変数:不快指数、平均風速、天気度数×平均気温 【交互作用項】

表3 重回帰分析の結果

回帰統計	
重相関 R	0.7445
重決定 R^2	0.5543
補正 R^2	0.5501
標準誤差	5.6566
観測数	324

表4 説明変数間の相関係数

	不快指数	平均風速	天気度数 ×平均気温
不快指数	1		
平均風速	0.1427	1	
天気度数 ×平均気温	0.4366	0.0422	1

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	3	12734.7478	4244.9159	132.663312	7.4739E-56
残差	320	10239.2522	31.9977		
合計	323	22974			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
切片	-107.5819	8.0849	-13.3065	1.85795E-32	-123.4882	-91.6756
不快指数	1.4946	0.1089	13.7184	5.2704E-34	1.2802	1.7089
平均風速	-2.0475	0.5378	-3.8073	0.000168396	-3.1056	-0.9895
天気度数×平均気温	0.0307	0.0044	7.0111	1.40897E-11	0.0221	0.0393

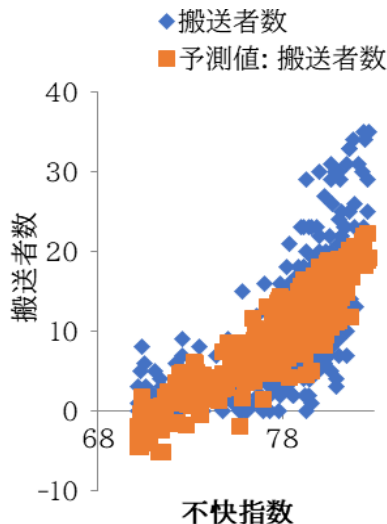


図2 不快指数の観測値グラフ

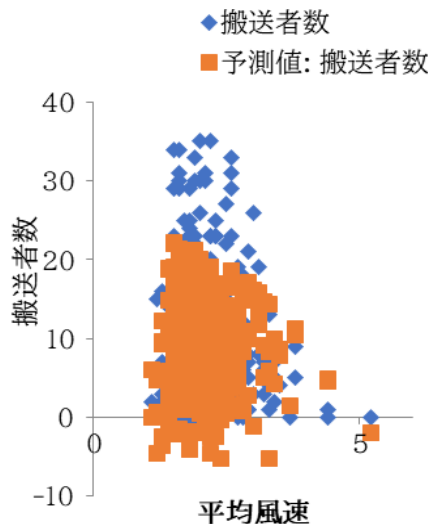


図3 平均風速の観測値グラフ

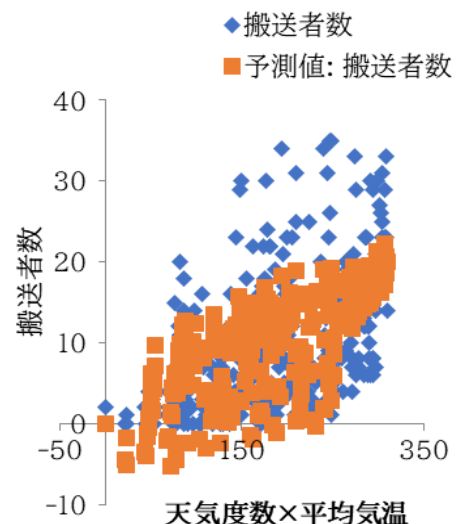


図4 天気度数×平均気温の観測値グラフ

重回帰分析の結果とグラフから、次のことが分かった。

(1)不快指数と熱中症の搬送者数との関係:

- ・正の相関が最も顕著で、不快指数が高まると熱中症の搬送者数が増加する
- ・不快指数が1増加すると、搬送者数は平均で1.49人増加することが分かる

(2)平均風速と熱中症の搬送者数との関係:

- ・グラフでは局所的に予測値と観測値にズレが見られるが、全体的な傾向としては負の相関がみられるので、風が強ければ搬送者数が少なく熱中症リスクが低下すると言える
- ・風速が1.0～2.5m/sあたりで搬送者数が多く、風速が3.0m/sを超えると搬送者数は減少する
- ・平均風速が1m/s上がると、搬送者数が約2.04人減少する

(3)天気度数×平均気温と熱中症の搬送者数との関係:

- ・正の相関があるため、晴れていて暑い日ほど搬送者数も増加する傾向がある
- ・観測値と予測値のどちらにも同じような傾向が見られる
- ・雨の日は気温も下がるため、熱中症のリスクは低下する
- ・この値が1増えると、搬送者数が約0.03人増加する

よって、このモデルにより不快指数、風速、気温×天気度数が熱中症による搬送者数に影響を与えることが分かった。特に不快指数は最も影響が大きく、警戒すべき指標として用いることに有効であると考えられる。また、風速はこのモデルでは唯一の負の相関であり熱中症の予防に効果的であると言える。例えば、大型扇風機の設置などの風通しの確保に活用することが考えられる。

3.3 熱中症危険指数の作成

本研究で導出した搬送者数(予測値)モデルを用いて、熱中症の危険度を判断するための「熱中症危険指数」を作成する。なお、気温や湿度、風速、天気については平均ではなく、その時間における数値を用いることとする。

$$\text{熱中症危険指数} = -107.5819 + 1.4946 \times \text{不快指数} - 2.0475 \times \text{風速} + 0.0307 \times (\text{天気度数} \times \text{気温})$$

作成した熱中症危険指数の区分を図5に示す。熱中症危険指数の区分を作成するにあたり、まず想定される最も悪い条件(不快指数 90、風速0.0m/s、天気度数 10、気温 38℃)をモデルに代入すると予測値は 38.6であった。

次に、不快指数において暑くてたまらないとされる場合(不快指数 85、風速0.0m/s、天気度数 10、気温 32℃)を計算し予測値は 29.3 であったため、部活動の禁止する危険な区分を 29 以上に設定した。暑くないとされる場合(不快指数 70、風速0.0 m/s、天気度数 10、気温 23.0℃)は予測値が 4.1 であったため、安心な区分は 5 未満に設定した。各区分の名称は、高校生にとって分かりやすく受け入れやすいものにした。また、危険度を視覚的に判断できるように、熱中症危険指数の区分には色分けをしている。

天気が晴れ(天気度数10)で、風速が0.0m/sとした場合の熱中症危険度を図6に示す。

指数	危険度
36～	命の危険アリ！
29～36	危険レベルMAX(活動禁止)
23～29	危険ゾーン突入！(念入りの対策を)
17～23	じわじわ危険ゾーン
11～17	そろそろしんどいかも
5～11	ちょっと気をつけて
～5	今日は安心かもね

図5 熱中症危険指数の区分

		湿度(%)								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
气温(℃)	20	-7.2	-6.4	-5.6	-4.7	-3.9	-3.1	-2.3	-1.5	-0.6
	21	-5.5	-4.6	-3.6	-2.6	-1.7	-0.7	0.3	1.2	2.2
	22	-3.9	-2.8	-1.6	-0.5	0.6	1.7	2.8	3.9	5.1
	23	-2.2	-0.9	0.3	1.6	2.9	4.1	5.4	6.7	7.9
	24	-0.5	0.9	2.3	3.7	5.1	6.5	7.9	9.4	10.8
	25	1.1	2.7	4.2	5.8	7.4	8.9	10.5	12.1	13.6
	26	2.8	4.5	6.2	7.9	9.6	11.3	13.0	14.8	16.5
	27	4.5	6.3	8.2	10.0	11.9	13.7	15.6	17.5	19.3
	28	6.1	8.1	10.1	12.1	14.1	16.1	18.2	20.2	22.2
	29	7.8	9.9	12.1	14.2	16.4	18.6	20.7	22.9	25.0
	30	9.4	11.8	14.1	16.4	18.7	21.0	23.3	25.6	27.9
	31	11.1	13.6	16.0	18.5	20.9	23.4	25.8	28.3	30.7
	32	12.8	15.4	18.0	20.6	23.2	25.8	28.4	31.0	33.6
	33	14.4	17.2	19.9	22.7	25.4	28.2	30.9	33.7	36.4
	34	16.1	19.0	21.9	24.8	27.7	30.6	33.5	36.4	39.3
	35	17.8	20.8	23.9	26.9	29.9	33.0	36.0	39.1	42.1
	36	19.4	22.6	25.8	29.0	32.2	35.4	38.6	41.8	45.0
	37	21.1	24.4	27.8	31.1	34.5	37.8	41.1	44.5	47.8
	38	22.8	26.3	29.7	33.2	36.7	40.2	43.7	47.2	50.7
	39	24.4	28.1	31.7	35.3	39.0	42.6	46.2	49.9	53.5
40	26.1	29.9	33.7	37.4	41.2	45.0	48.8	52.6	56.4	

気温(℃)

図6 天気度数10、風速0.0m/sとした場合の熱中症危険度

4. 奈良女子大学附属中等教育学校における熱中症リスクの予測

4.1 計測の内容と方法

ここでは、3.3で作成した熱中症危険指数を用いて高校で部活動を行う際の熱中症リスクを予測する。熱中症のリスクを予測するために、まずは気温と湿度を計測する。対象とする場所は部活動が行われている 2 か所の体育館とグラウンドに加えて、武道場も調べることにする。武道場は剣道部員から「常にムシムシして、蒸し暑い。」とよく聞くからである。計測する場所は図7に示す①第1体育館、②第2体育館、③武道場、④グラウンドの4か所とする。

計測は、Govee Bluetooth 温湿度計(図8)を用いて気温と湿度をモニタリングした。温湿度計を置いておくと、設定した時間(ここでは1時間)ごとに気温と湿度を記録し、スマートフォンにデータが送信される。なお、グラウンドについては、雨などの心配があり計測器を屋外に置いたままにはできないため、気象庁の奈良市における日別データを用いた。

計測する日は、部活動が実施されないお盆の期間(2025年8月10日から8月16日の1週間)とした。計測した日の気象条件を気象庁(奈良市)のデータをもとに、表5に整理する。

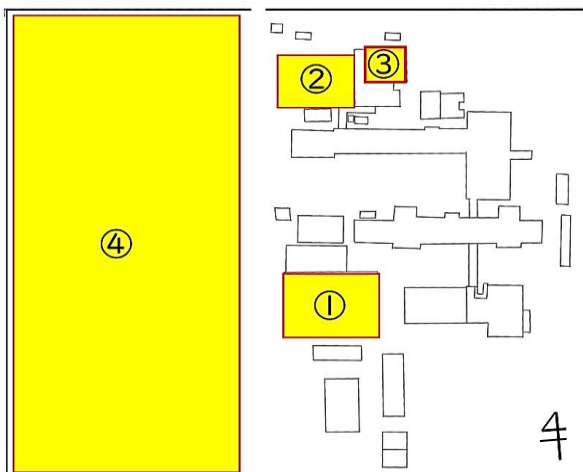


図7 学校における計測場所



図8 温湿度計

表5 計測した日における気象条件

日	平均気温(℃)	平均湿度(%)	平均風速(m/s)	天気昼(06:00-18:00)	日照時間(h)	降水量(mm)
8/10	27.9	76.0	2.8	雨時々曇	0.1	1.5
8/11	28.0	78.0	3.2	曇時々雨	0.2	11.0
8/12	28.9	76.0	2.6	曇時々雨	0.7	4.0
8/13	29.4	76.0	1.5	曇一時雨	2.3	0.0
8/14	29.0	77.0	1.6	晴後曇一時雨	8.6	20.5
8/15	28.7	74.0	1.5	晴	8.1	--
8/16	29.5	72.0	1.6	晴一時曇後一時雨	7.2	0.0

※降水量について 0.5mm 未満の場合は0.0と表示

※8月16日のみ奈良県に熱中症警戒アラートが発表されている

4.2 計測の結果と考察

各場所における気温の変化を図9、湿度の変化を図10、気温と湿度から計算した不快指数の変化を図11に示す。グラウンド(外)の気温や湿度は天候によって大きく左右されるが、屋内の体育館や武道場については建物の断熱性や気密性によって気温や湿度の大きな変動が抑えられている。特に、武道場は外気の影響を受けにくく、雨の日(8/10~11)と晴れの日(8/14~16)の湿度を比べても大きな差がない。また、武道場は一日を通して湿度は70.0%前後であり、体育館よりも気温や湿度の変動の幅が小さい。第1体育館と第2体育館は、だいたい同じような変化をする。また、気温と不快指数については、雨の日よりも晴れの日の方が高いことが分かる。

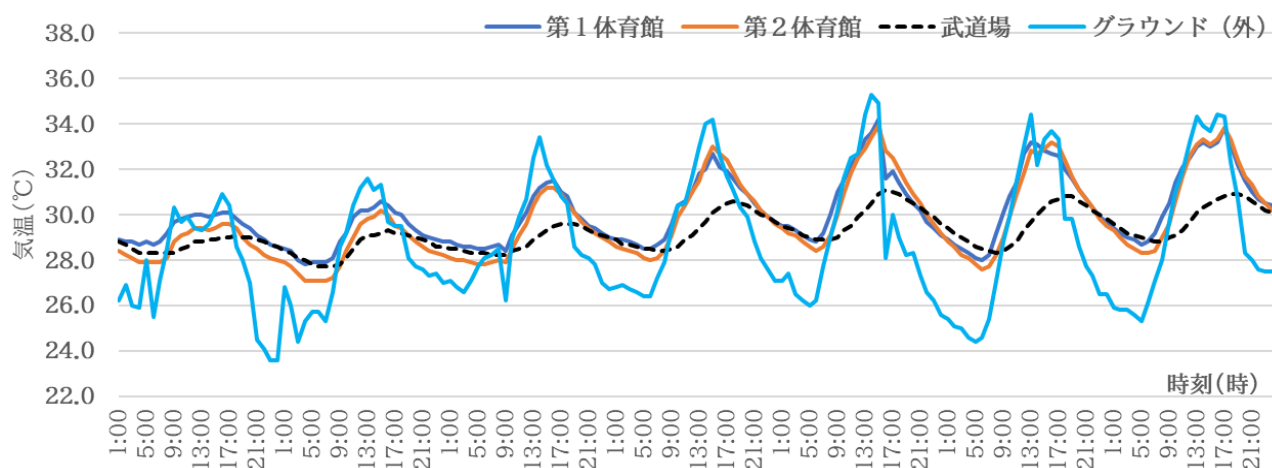


図9 気温の変化(8月10日から8月16日)

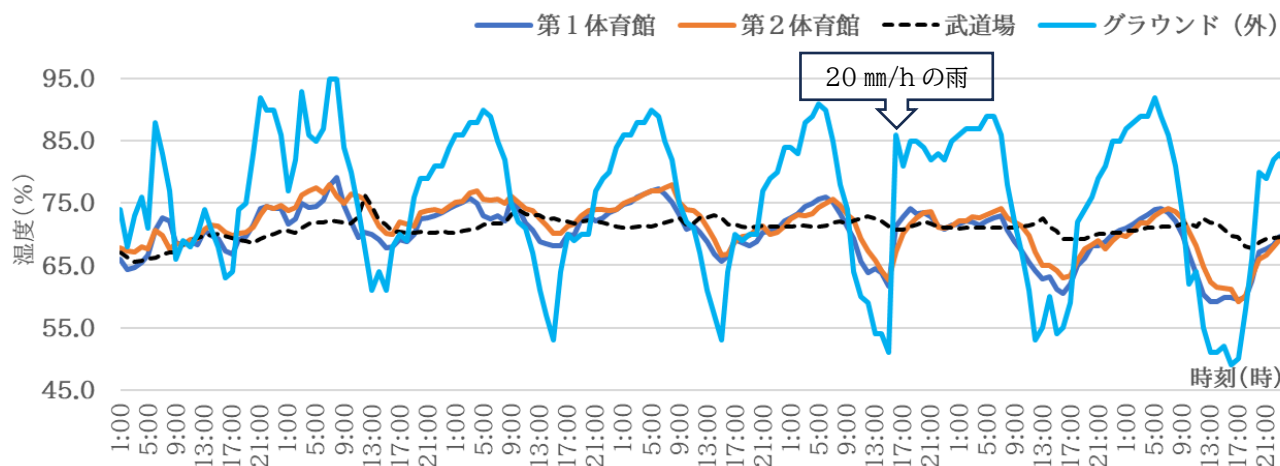


図10 湿度の変化(8月10日から8月16日)

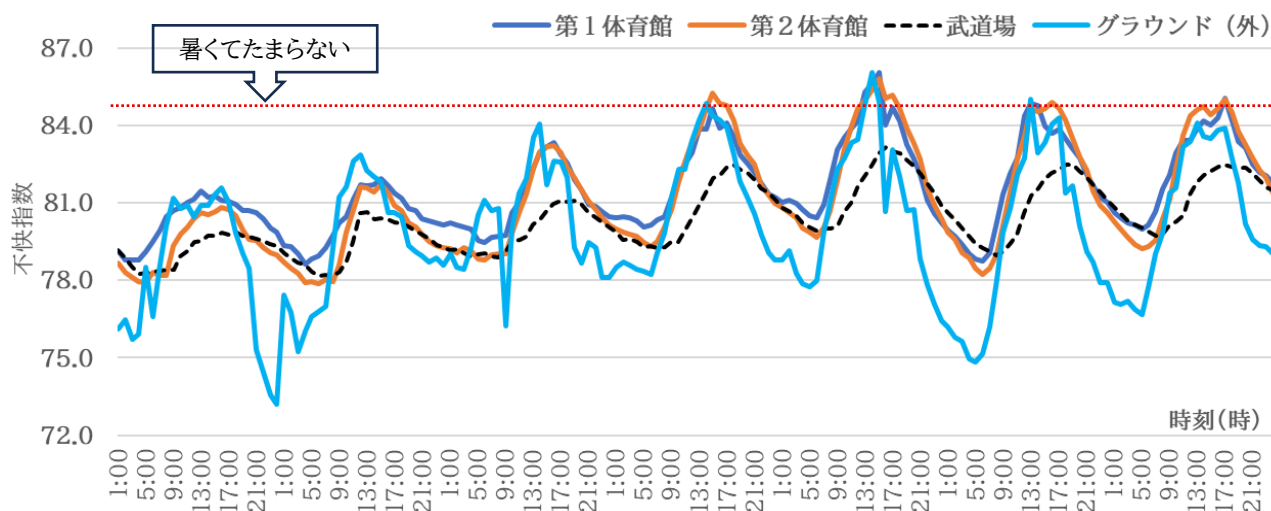


図 11 不快指数の変化(8月10日から8月16日)

4.3 熱中症危険度の予測

計測した各場所のデータから、本研究で作成した「熱中症危険指数(3.3 参照)」を用いて熱中症危険度を求めた。不快指数は計測した気温と湿度から計算し、天気度数と風速は気象庁(奈良市)における1時間ごとのデータを活用した。ただし、屋内(第1体育館、第2体育館、武道場)の場合の風速は0.0m/sとした。8月10日から8月16日における各場所の熱中症危険度は表6のとおりである。

表6 各場所における熱中症危険度(8月10日から8月16日)

8月10日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	15.1	11.3	16.3	17.2	17.6	13.2	13.5	13.7	14.2	13.8	13.9	18.3	13.6	13.4	13.1	13.0	12.9
第2体育館	13.2	9.5	13.6	13.6	15.5	11.7	12.1	12.6	12.9	12.8	13.0	17.8	13.1	12.7	11.9	11.4	11.3
武道場	13.8	9.5	13.9	14.0	14.0	10.4	10.7	11.2	11.3	11.6	11.6	16.2	11.7	11.8	11.6	11.5	11.4
グラウンド (外)	7.1	4.0	10.6	13.2	8.2	4.3	3.3	0.8	3.1	5.2	5.2	8.3	3.1	4.0	4.8	7.3	2.1
8月11日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	14.5	14.7	10.9	15.9	16.8	17.1	18.3	19.2	19.1	19.2	14.9	14.5	18.7	13.8	13.2	17.5	17.1
第2体育館	13.1	12.9	9.0	13.1	14.1	16.2	17.6	18.9	18.9	18.7	14.5	14.0	17.9	13.1	12.3	16.5	16.1
武道場	13.7	13.5	9.3	13.5	13.7	14.5	15.6	17.3	17.4	17.0	12.6	12.6	16.8	12.3	12.1	16.3	16.1
グラウンド (外)	2.4	8.1	3.8	10.7	15.0	14.6	13.8	15.7	8.5	9.2	3.3	2.9	10.5	4.1	4.0	10.2	12.6
8月12日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	15.7	15.6	15.9	16.0	16.0	17.4	18.1	19.0	20.3	21.2	16.7	17.0	21.1	20.5	19.4	14.3	17.9
第2体育館	14.5	14.5	14.7	14.8	14.8	16.1	17.4	18.5	20.2	21.2	16.8	16.8	21.1	20.2	19.6	14.2	18.1
武道場	14.9	14.9	14.7	14.7	15.0	15.6	15.7	15.9	16.7	17.0	13.0	13.4	18.2	18.1	18.2	13.4	17.4
グラウンド (外)	10.3	10.6	10.4	11.0	5.1	9.9	11.9	9.0	16.1	16.4	5.7	10.0	13.0	13.7	11.4	7.3	12.6
8月13日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	16.5	16.6	16.9	17.1	18.4	19.8	20.4	21.1	22.7	22.6	24.0	22.8	23.0	22.1	21.1	20.5	19.9
第2体育館	15.5	15.3	15.6	16.5	17.6	19.3	20.5	21.8	22.5	23.9	24.9	24.3	24.1	23.1	21.7	21.0	20.4
武道場	15.3	15.4	15.2	15.3	15.6	15.6	16.4	17.1	17.8	18.6	19.5	19.7	20.2	20.4	20.1	19.9	19.5
グラウンド(外)	11.7	11.9	12.9	13.3	17.3	15.8	15.6	20.1	17.9	19.4	17.2	17.3	15.0	18.0	16.9	17.4	14.8
8月14日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	21.6	21.5	22.4	24.0	26.1	22.1	22.8	28.2	30.2	30.7	31.6	18.0	23.9	23.0	21.6	20.7	24.4
第2体育館	20.6	20.2	20.9	22.0	24.0	21.4	22.8	28.9	29.5	30.3	31.1	19.6	24.7	23.9	22.7	21.6	25.4
武道場	21.0	20.7	20.9	20.9	21.1	17.5	18.0	23.7	24.4	25.0	25.8	16.7	21.2	21.1	20.7	20.3	24.4
グラウンド(外)	15.2	16.2	18.5	19.4	21.4	17.9	18.3	23.3	24.2	26.7	22.6	7.3	16.5	14.6	14.9	13.8	16.2

8月15日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	18.9	14.4	19.3	21.4	23.2	24.6	25.7	28.6	29.5	29.3	28.0	27.6	27.7	27.1	26.4	25.6	19.9
第2体育館	18.3	13.6	18.2	19.2	21.1	23.3	25.5	27.1	29.1	28.8	29.1	29.5	29.1	28.3	27.0	25.7	20.1
武道場	19.9	15.3	19.4	19.1	19.4	19.9	20.5	21.9	23.1	23.6	24.1	24.6	24.9	25.1	25.1	24.7	19.6
グラウンド(外)	10.1	6.9	12.7	14.7	18.2	20.5	23.2	21.7	24.9	19.5	23.3	23.1	21.0	17.1	21.6	17.9	13.1

8月16日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	20.8	16.6	22.0	23.5	24.5	26.1	27.0	27.1	28.0	18.2	28.1	28.6	30.0	28.4	26.9	21.5	20.5
第2体育館	19.5	15.3	20.0	21.5	22.8	24.9	27.1	28.5	29.1	19.1	28.8	29.2	29.9	29.0	27.6	21.7	20.9
武道場	20.9	16.3	20.4	20.5	21.1	21.3	21.8	23.1	24.0	15.1	24.7	25.0	25.2	25.1	25.0	20.3	19.9
グラウンド(外)	12.7	12.2	17.6	17.9	21.7	20.0	22.7	23.4	22.9	15.1	23.1	22.8	18.9	20.0	18.6	12.7	12.4

表6を作成して分かったことや考えたことを下記に整理する。

- ・計測した日は連続した7日間にもかかわらず、熱中症危険度は日によって大きく異なることが分かった。
- ・8月10日は雨の日で一日を通して予測値にあまり変化がなく、熱中症危険度は低く区分の変化も少ない。
- ・8月14日は16:00だけ熱中症危険度の区分が下がるが、この時間帯は集中的な雨が降ったからである。雨が降ると気温が下がり、不快指数も下がるため、熱中症危険度が下がると考えられる。
- ・意外にグラウンド(外)の熱中症リスクが屋内よりも低くなっている。グラウンド(外)は気象庁のデータであるが、直射日光があたらない場所で計測されるため、実際よりも低い可能性がある。また、計測した日は風速があったが、室内は0.0m/sで計算したことによっても差が出たのではないかと考える。グラウンド(外)は気温や湿度などの変化が激しいので、その差に注意する必要がある。一方、室内は熱や湿度がこもりやすくリスクが高くなると考えられる。
- ・雨の日を除くと、全体的に13:00から19:00までが特に熱中症の危険がある。
- ・第2体育館と武道場は同じ空間にあるが、環境に大きな差がある。4.2に示した図9、図10、図11からも、武道場は気温と湿度の変化が少ないことが分かるが、建物の建材に差があるのかもしれない。

5. 奈良女子大学附属中等教育学校における部活動の在り方(提案)

熱中症警戒アラートが発表された8月16日のデータを用いて、風速2.0m/sを追加した場合(表7)と、気温を3.0℃下げた場合(表8)の各施設における危険度の変化を示す。

表7 上段:計測値から推測した熱中症危険度 下段:屋内施設に風速2.0m/sを追加した場合

8月16日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	20.8	16.6	22.0	23.5	24.5	26.1	27.0	27.1	28.0	18.2	28.1	28.6	30.0	28.4	26.9	21.5	20.5
第2体育館	19.5	15.3	20.0	21.5	22.8	24.9	27.1	28.5	29.1	19.1	28.8	29.2	29.9	29.0	27.6	21.7	20.9
武道場	20.9	16.3	20.4	20.5	21.1	21.3	21.8	23.1	24.0	15.1	24.7	25.0	25.2	25.1	25.0	20.3	19.9
8月16日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	16.7	12.5	17.9	19.4	20.4	22.0	22.9	23.0	23.9	14.1	24.1	24.5	25.9	24.3	22.8	17.4	16.4
第2体育館	15.4	11.2	15.9	17.4	18.7	20.8	23.0	24.4	25.0	15.0	24.7	25.1	25.8	24.9	23.5	17.6	16.8
武道場	16.8	12.2	16.4	16.4	17.0	17.2	17.7	19.0	19.9	11.0	20.6	20.9	21.1	21.0	20.9	16.2	15.8

表8 上段:計測値から推測した熱中症危険度 下段:屋内施設の気温を3.0℃下げた場合

8月16日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	20.8	16.6	22.0	23.5	24.5	26.1	27.0	27.1	28.0	18.2	28.1	28.6	30.0	28.4	26.9	21.5	20.5
第2体育館	19.5	15.3	20.0	21.5	22.8	24.9	27.1	28.5	29.1	19.1	28.8	29.2	29.9	29.0	27.6	21.7	20.9
武道場	20.9	16.3	20.4	20.5	21.1	21.3	21.8	23.1	24.0	15.1	24.7	25.0	25.2	25.1	25.0	20.3	19.9
8月16日	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
第1体育館	12.9	9.3	14.2	15.7	16.9	18.5	19.6	19.8	20.8	12.0	20.9	21.4	22.8	21.2	19.6	14.5	13.4
第2体育館	11.7	8.0	12.2	13.7	15.0	17.2	19.6	21.1	21.8	12.7	21.5	21.9	22.7	21.7	20.2	14.7	13.9
武道場	13.2	9.0	12.7	12.8	13.3	13.6	14.0	15.3	16.2	8.3	17.0	17.3	17.5	17.5	17.5	13.1	12.8

表7より、風速 2.0m/s を入れるだけでも午前中の活動であればかなり緩和できると考える。表8のようにクーラーを導入して気温を 3.0℃下げたとしたなら環境は劇的によくなる。この場合、午後からの活動も安心して実施することができる。本研究の分析結果を踏まえて、本校における夏の部活動(施設内)の在り方について、次のことを提案する。

- ・第1体育館と第2体育館における部活動は朝が最もよく、8:00－11:00 が望ましい。
- ・武道場は熱中症のリスクがやや下がるが、部活動は朝が望ましく、リスクが高い日の午後は実施しない。ただし、雨の日で気温が下がる場合は、この限りではなく午後からの活動もよい。
- ・活動中は熱気で悪化することが予想されるので、窓を開けたり大型扇風機を回したり、空気の流れを確保する。
- ・前日の予報で気温、湿度、天気を調べてモデルにあてはめ、熱中症の危険度が高い場合は潔く活動を中止する。
- ・8月だけでなく、7月は暑さに慣れていないこともあり危険が上がるので、特に注意するように呼びかける。
- ・暑い夏でも安心して部活動が行えるように、クーラーの必要性を訴えて設置を要望していく。

6. 感想と今後の課題

今回の研究では、重回帰分析を行い予測モデルを作る過程が何よりも大変だった。全てのデータを入れて単純に分析するだけでは当然のことながら有意なモデルはできず、何十回も試行錯誤を繰り返した。研究を始めた時は奈良市だけのデータ(熱中症の搬送者数)で分析することを考えていたが、統計的に意味あるモデルができずに途中からは観測数を増やすために奈良県全体のデータを取り扱うことにした。また、「不快指数」や「天気」といった使いたい変数にはこだわりがあったので、余計に苦労した。とにかく変数の組み合わせを変えてみたり、要因の交互作用項を考えたり、不快指数をいくつで切れば精度があがるのかを試したり、時間がかかったが最終的に説明できるモデルができて良かったと思う。天気を数値化して作成した「天気度数」や「熱中症危険指数」の区分設定も色々と試しながら検討したので、納得がいくもののできた。

今後の課題としては、人の熱気等で環境が悪くなるのではないかと考え、データを計測する際には部活中など人がいる場合を検討していきたい。また、今回は計測値をもとに熱中症リスクを予測する際、天気度数は気象庁のデータから判断した。しかし、実際には「晴」「曇」「雨」など天気の状態は見て感じて分かるものであり、作成した指標を参考に天気度数を決めることができるかもしれない。感覚で決めた時と気象庁のデータを用いた時と比較して、どの程度の差が出るのかも検証してみたい。

なお、奈良市における救急搬送の日別データは公開されておらず、奈良市消防局救急課に連絡をして提供していただいた。お忙しい中、データを作成いただきありがとうございました。

参考文献

- (1)北村優季:「MY HOUSE 沸騰化」涼を求めて部屋の快適化に挑戦！(MATH コン 2024)
- (2)九州住環境研究会「室内の快適性の目安と不快指数」 <https://www.ecoq21.jp/latest-article/no162/no162.pdf>
- (3)国土交通省気象庁「過去の気象データ検索」
https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php?prec_no=64&block_no=47780&year=2024&month=05&day=&view=
- (4)総務省消防局「熱中症情報 過去データ一覧(平成20年から令和6年)」
<https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/post4.html>
- (5)環境省「熱中症予防情報サイト 熱中症特別警戒アラート・熱中症警戒アラートの発表状況」
<https://www.wbgt.env.go.jp/>