

所属名 愛媛県立大洲高等学校 自然科学部 2年 丸山剛虎・中村幸樹・濱田宇乃
1年 笹尾咲寧・白石華望・岡本千春・稲谷綾乃 (7名)

1. 研究の要約

大洲高校自然科学部は大洲盆地の霧の研究を行っている。今年度は10月以降の霧の継続研究3年目に先立ち、部員7名で6月～9月の夏季の暑さを調べた。自宅がA（大洲市街地3名）、B（大洲市郊外2名）、C（大洲市外2名）の3地域別に温湿度計で自宅屋外の最高・最低の温度・湿度と室内の温度を測定した。

この結果から最高気温・不快指数・暑さ指数（WBGT）を求め、最高気温時の暑さ指数から運動時の熱中症の危険性の検討とリセット時刻の屋外気温や室内温度から、夜間の室内の熱中症の危険性の検討を行った。

2. 研究の動機と目的

貴学の数理科学コンテストに過去2年間応募し、第8回「肱川あらしの統計的データ分析」で選考委員賞、第9回「大洲の霧・肱川を流れる霧・肱川あらし」で奨励賞を戴きました。これらの受賞は部員の励みになり、貴学にとっても感謝しております。

今年国連のグテーレス事務総長が「地球沸騰化の時代が到来した」と語り、熱中症警戒アラートの報道が多く出た。熱中症は、高温多湿な環境下で、体内の水分や塩分のバランスが崩れたり、体内の調整機能が壊れたりして発症する障害で、最悪の場合は死に至る病気です。大洲市も今年の夏はとて暑く、私たちの周囲で夜間に救急車が走る音を何度も聴いた。熱中症は子どもと高齢者が多く、屋内の発生が多いと聞く。

私たちは6月～9月の自宅屋外の最高・最低の気温・湿度から最高気温・不快指数・暑さ指数とリセット時刻の不快指数・暑さ指数と室内温度を毎日測定し、Excelに入力して不快指数・暑さ指数を計算した。

研究の目的は暑さを最高気温・不快指数・暑さ指数に分け数値化し、大洲アメダスと部員の自宅3地域別の暑さを比較検討すること。また、暑さ指数が大きい大洲市街地の熱中症の危険性を考察することである。

3. 方法

1) 大洲盆地・部員の自宅・観測地点

図1のGoogle Earth地図に示すように大洲盆地は周囲を概ね200m以上の山に囲まれた標高10～20mの肱川の氾濫による沖積平野で典型的な盆地地形である。肱川の氾濫を避けるため標高約15m以上に集落があり、肱川を挟んで肱南地区は古い町並みが残った城下町、北側は商業施設と住宅が混在する市街地を形成している。図1のGoogle Earthの地図内に大洲盆地内の5名の部員の自宅位置を示した。

A（大洲市街地）の部員はA1～A3の3名、B（大洲市郊外）の部員はB1～B2の2名、地図は省略するが隣町のC（内子町・宇和町）から通学する部員2名の3地域7名の部員が研究に参加した。



図1 大洲盆地内の部員の自宅付近と大洲アメダスの位置 (Google Earthの地図を加工)

2) 使用した温湿度計と自宅の設置場所

測定に使用した図2のSecrui 温湿度計の表示温度は-20~70℃、精度は±1℃。表示湿度は10%~99%RH、精度は3%である。湿度10%以下はLo、99%以上はHiを表示する。湿度100%は内部が結露するので、湿度は99%以下しか測れない。21年8月に6台、23年5月に3台購入した。

図2の裏側のボタンを2秒間押すと最高最低の温度湿度はリセットされる。

私たちは毎日帰宅時刻以降にリセットして測定時刻・温度・湿度と左右にある最高・最低の温度と湿度を記録した。また、自宅にある温度計で**冷房の影響が少ない場所**の室内温度を記録した。

図3は屋外の温湿度計の置き場所の一例で、**直射日光と雨に当たらない所**で床の熱が伝わらないように断熱容器に温湿度計を入れ、断熱容器が風で飛ばされないように水を入れた2.0Lのペットボトルを断熱容器の上に置くように先生から指導された。

また、大雨警報等が発令された日は測定を中止し温湿度計を屋内に避難させた。



図2 Secrui 温湿度計



図3 温湿度計の設置

3) 不快指数と暑さ指数 (WBGT) の計算

① 不快指数 気温と湿度で決まる指数

不快指数 = $0.81 \times \text{気温} + 0.01 \times \text{湿度} \times (0.99 \times \text{湿度} - 14.3) + 46.3$ で計算する。

体感 **85以上 暑くてたまらない** **80~84 全員が不快と感じる** **75~79 半数が不快と感じる**
70~74 不快な人が出始める **65~70 快適** (ウィキペディアより)

② 暑さ指数 (WBGT) 暑さ指数(WBGT)は、Wet-Bulb Globe Temperature (湿球黒球温度) の略称

$WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$ (全国11地点)

小野雅司ら(2014)「通常観測気象要素を用いたWBGTの推定」より一般的に次式で計算する。

$WBGT = 0.735 \times \text{気温} + 0.0374 \times \text{湿度} + 0.00292 \times \text{気温} \times \text{湿度} + 7.619 \times \text{日照} - 4.557 \times \text{日照}^2$

$- 0.0572 \times \text{風速} - 4.064$ (全国829地点)

運動に関する指針 **31以上 運動は原則中止** **28~31 嚴重警戒 (激しい運動は中止)**

25~28 警戒 (積極的に休憩) **21~25 注意 (積極的に水分補給)** **21未満 (ほぼ安全)**

熱中症警戒アラート 県下のどこかで暑さ指数が33を超えると予想されるとき気象庁が発表

4) 大洲の不快指数と暑さ指数の測定 記録用紙

私たちは自宅屋外に設置した温湿度計を毎日帰宅時刻以降にリセットして、不快指数と小野の式を使った暑さ指数をExcelの計算で求めた。表1は大洲市街地のA1の部員の8月1日~4日の測定値である。

温度と湿度は自宅の温湿度計の数値、日照は気象庁の過去の気象データ検索から快晴(日照時間10時間以上)は0.25、日中に降水5mm以上は0として0.05刻みで決め、風速はその日の最高気温(12時~15時)に近い大洲アメダスの1時間値を入力した。また、リセット時刻は15時以降とした。

表1 大洲市街地のA1の部員の8月1日~4日の測定値と計算値

月・日・曜日			天気概況	リセット時 不快指数と暑さ指数				室内温度	最高気温時 不快指数と暑さ指数								
月	日			帰宅時	温度	日照	不快指数	暑さ指数	時刻	帰宅時リセット		温度	日照	不快指数	暑さ指数		
8	1	火	今日は一日中晴れていて、少し雲が見られた。とても暑く感じた。	時刻	18:19	34.7	0.1	84.8	29.3	23:21	最高	最低	38.6	0.2	90.4	32.9	
				気温	34.7	湿度	風速			温度	気温	38.6	25.6	湿度			風速
				湿度	52	52	1.5			28.1	湿度	87	49	49			2.6
8	2	水	今日は晴れていたが雲が多く、昼前からは天気が崩れてきて小雨が降っていた。雨はそこまで長くは降っていなかった。	時刻	18:27	34.5	0.1	85.8	29.9	23:11	最高	最低	37.2	0.05	88.8	30.8	
				気温	34.5	湿度	風速			温度	気温	37.2	24.9	湿度			風速
				湿度	58	58	1.3			28.2	湿度	85	50	50			3.3
8	3	木	午前は晴れていたが、午後からは曇っていた。	時刻	22:11	29.7	0	80.3	25.9	22:34	最高	最低	37.7	0.15	87.6	30.8	
				気温	29.7	湿度	風速			温度	気温	37.7	25.7	湿度			風速
				湿度	66	66	1.5			29.7	湿度	87	42	42			2.1
8	4	金	今日は一日中晴れていた。午後からは雲の量も多くなったが、常日は当たって暑かった。	時刻	22:15	28.9	0	79.4	25.4	23:02	最高	最低	38.3	0.15	90.3	32.4	
				気温	28.9	湿度	風速			温度	気温	38.3	26.1	湿度			風速
				湿度	68	68	1.9			29.3	湿度	85	50	50			3.2

4. 結果と考察

1) 最高気温の不快指数と暑さ指数 (WBGT)

不快指数や暑さ指数が最も高くなるのは最高気温時である。最高気温は概ね 12 時～15 時の間になるが、前線が通過するなどの影響で夜間に最高気温を記録することが稀にある。私たちが計測した Secrui 温湿度計は最高気温・最低気温・最高湿度・最低湿度の時刻が何時であるかは分からない。しかし、空気中の水蒸気量が 1 日でそれほど変動しないと仮定して、不快指数と暑さ指数の計算式に最高気温と最低湿度の数値を入れた。表 2 に A 地域 (大洲市街地) の 6 月と 8 月の 3 人の平均値を示す。表 2 の中の太い赤字と青字は気温、うす橙色とライトブルーのセルの色付けは暑さ指数の最高と最低の日を示した。(7 月・9 月は付録に)

表 2-1 23 年 6 月の A 地域の不快指数と暑さ指数 表 2-2 23 年 7 月の A 地域の不快指数と暑さ指数

表 2-1 23 年 6 月の A 地域の不快指数と暑さ指数								表 2-2 23 年 7 月の A 地域の不快指数と暑さ指数								
A	6月							A	8月							
アメダス最高	最高温度	湿度	日照	風速	不快指数	暑さ指数		アメダス最高	最高気温	湿度	日照	風速	不快指数	暑さ指数		
1	24.5	26.5	66	0.03	2.4	76.4	23.1	1	36.3	37.7	45	0.22	2.4	88.3	31.8	
2	大雨警報 線状降水帯の発生のため測定中止							2	35.1	36.7	52	0.20	2.5	88.6	31.8	
3	26.6	29.2	48	0.23	4.2	77.8	24.8	3	35.5	37.5	47	0.20	2.4	88.5	31.8	
4	28.5	29.1	51	0.17	1.5	78.1	24.8	4	35.9	37.0	64	0.20	3.0	91.7	33.8	
5	27.1	28.2	46	0.10	1.2	76.3	22.9	5	33.6	36.2	58	0.15	3.4	89.2	31.8	
6	18.4	21.3	73	0.00	1.6	69.1	18.8	6	37.1	38.5	50	0.13	3.2	90.5	32.6	
7	29.2	30.4	55	0.20	3.3	80.5	26.6	7	31.5	34.2	60	0.05	1.8	86.8	29.6	
8	19.9	21.9	77	0.00	2.5	70.4	19.7	8	33.1	34.0	57	0.10	3.3	85.9	29.3	
9	28.2	29.3	60	0.13	1.8	79.7	25.7	9	31.7	33.8	58	0.05	4.7	85.8	28.8	
10	24.8	25.9	66	0.08	2.4	75.5	22.9	10	32.2	34.2	62	0.07	3.4	87.2	29.9	
11	26.3	27.3	66	0.08	1.4	77.6	24.3	11	34.9	36.0	53	0.07	2.4	87.9	30.3	
12	27.4	28.8	64	0.07	1.9	79.6	25.3	12	35.2	37.0	51	0.20	2.7	88.8	31.9	
13	29.3	31	61	0.10	1.5	82.3	27.2	13	34.2	34.3	50	0.23	3.1	84.9	29.6	
14	26.5	28.5	63	0.08	1.9	79.0	25.0	14	32.9	33.1	51	0.17	2.1	83.5	28.3	
15	27.2	29.5	58	0.08	4.4	79.7	25.1	15	29.6	30.1	75	0.07	3.2	83.2	27.8	
16	30	32.9	45	0.20	1.6	82.2	27.6	16	34.5	35.8	60	0.08	1.9	89.1	31.3	
17	31.2	29.3	47	0.20	2.5	77.8	24.6	17	33.7	34.2	63	0.08	2.2	87.3	30.2	
18	26.4	28.3	63	0.10	1.1	78.7	25.0	18	33.3	34.6	61	0.15	3.4	87.5	30.8	
19	31.1	33.2	41	0.20	3.6	81.8	27.2	19	34.4	35.6	51	0.20	3.1	86.9	30.7	
20	31.9	33.2	49	0.22	4.0	83.3	28.4	20	36.1	36.8	49	0.20	3.4	88.1	31.4	
21	25.6	28.7	62	0.08	1.7	79.2	25.1	21	34.8	36.2	57	0.05	2.2	89.0	31.0	
22	28.8	30.4	51	0.12	2.3	79.9	25.5	22	35.2	35.5	55	0.08	2.3	87.6	30.3	
23	28.7	31	57	0.18	1.7	81.7	27.3	23	26.9	27.1	78	0.00	1.5	78.8	24.9	
24	29.9	30.8	51	0.20	3.5	80.4	26.4	24	34.0	34.7	72	0.08	2.6	89.9	31.9	
25	29.5	31.1	55	0.17	1.3	81.5	27.1	25	31.5	32.0	52	0.13	2.6	82.2	27.1	
26	31.3	33.3	58	0.08	2.1	85.1	28.7	26	32.3	33.0	62	0.12	2.6	85.4	29.2	
27	33.9	34.9	52	0.20	3.5	86.1	30.2	27	34.0	35.2	55	0.07	2.7	87.2	29.9	
28	31.4	33.3	58	0.17	1.5	85.1	29.4	28	32.5	34.3	45	0.20	2.5	84.0	28.7	
29	32.2	33.7	56	0.18	4.6	85.3	29.4	29	33.6	33.3	49	0.20	2.6	83.4	28.4	
30	26.5	28.4	86	0.00	1.4	82.0	27.1	30	32.3	34.2	57	0.07	3.1	86.2	29.2	
平均	27.9°C	29.6°C	58%	0.13	2.4m/s	79.7	25.7	平均	33.5°C	34.7°C	57%	0.13	2.8m/s	86.7	30.1	

表 3 6 月～9 月の地域別・月別の最高気温時の不快指数と暑さ指数

地域	月	アメダス	最高温度	差	湿度	風速	日照	不快指数	暑さ指数
A 大洲 市街地	6月	27.9°C	29.6°C	1.5°C	58.1%	2.4m/s	0.13	79.7	25.7
	7月	32.3°C	33.8°C	1.5°C	57.4%	2.7m/s	0.16	85.5	29.6
	8月	33.5°C	34.7°C	1.2°C	57.0%	2.8m/s	0.13	86.7	30.1
	9月	32.0°C	33.4°C	1.4°C	53.6%	2.8m/s	0.17	84.4	28.8
	平均	31.4°C	32.9°C	1.5°C	56.5%	2.7m/s	0.15	84.1	28.6
B 大洲 郊外	6月	27.9°C	28.5°C	0.6°C	59.0%	2.3m/s	0.14	78.3	24.9
	7月	32.3°C	32.8°C	0.5°C	57.0%	2.8m/s	0.15	84.0	28.5
	8月	33.5°C	33.8°C	0.3°C	57.3%	2.9m/s	0.13	85.7	29.4
	9月	32.0°C	32.4°C	0.4°C	54.2%	2.7m/s	0.16	83.1	27.9
	平均	31.4°C	31.8°C	0.4°C	56.9%	2.7m/s	0.15	82.8	27.7
C 内子町 宇和町	6月	27.9°C	27.6°C	-0.3°C	58.2%	1.5m/s	0.12	76.7	23.6
	7月	32.3°C	31.9°C	-0.4°C	59.1%	1.5m/s	0.15	83.2	28.1
	8月	33.5°C	33.2°C	-0.3°C	56.0%	2.0m/s	0.14	84.6	28.8
	9月	32.0°C	31.7°C	-0.3°C	54.8%	1.2m/s	0.17	82.3	27.5
	平均	31.4°C	31.1°C	-0.3°C	57.0%	1.6m/s	0.15	81.7	27.0

表 3 は A・B・C の 3 地域の 6 月～9 月の最高気温時の気象記録と不快指数と暑さ指数の月平均値を示した。

3 地域別の最高温度の平均値は気象庁の気象記録から農地にある大洲アメダスの月最高気温の平均値と比較した。

A の大洲市街地の 3 人の最高気温の平均はアメダスより 1.5°C 高く、B の大洲郊外は 0.5°C、C の内子町・宇和町は 0.3°C 低い。

これから、家屋が密集している地域ほど最高気温の平均が高いことが分かる。

2) 最高気温時の地域別の最高気温・不快指数・暑さ指数について

表 4-1 最高気温の月別・地域別度数分布

最高気温 (°C)	6月			7月			8月			9月		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
24°C以下	2	3	2									
夏日	25					1						
	26	1	1	3								
	27	2	1	5		1	2	1	1			
	28	3	5	8	1							1
真夏日	29	7	3	3			2				1	1
	30	3	3	3	1	3	3	1		2	2	3
	31	4	4	2	1	3	4		1	4	3	5
	32		3	2	2	6	2	2	3	2	2	9
	33	5	4	1	2	5	6	3	8	10	5	9
猛暑日	34	1	1		6	8	7	8	7	6	9	6
	35	1	1		2	3	3	3	5	2	7	
	36				6	1	1	6	4	5	2	
	37				8	1		4	2			
	38				2			2				
	39							1				
平均(°C)	29.6	28.5	27.6	33.8	32.8	31.9	34.7	33.8	33.2	33.4	32.4	31.7

気象庁の気象用語では最高温度25°C以上を夏日、30°C以上を真夏日、35°C以上を猛暑日という。

6月2日は大雨が降り温湿度計が雨に濡れて故障する可能性があり測定を中止した。なお、病気や帰省など個人の都合で欠測日はあるが、各地域の全員が同日の欠測日はなく121日のデータを得た。

表4-1は私たちが測定した6月～9月を合わせた3地域の最高気温の度数分布表である。

同様に不快指数と暑さ指数の度数分布表を作った。紙面の関係で付録に示した。

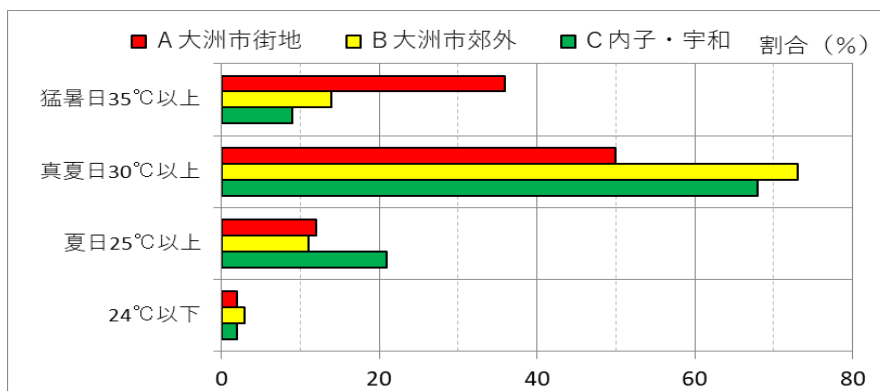


図 4 最高気温時の気温の地域別分布

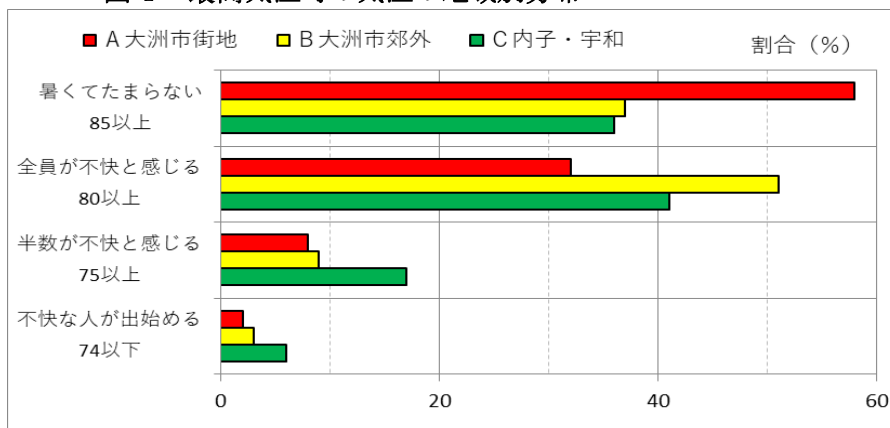


図 5 最高温度時の不快指数の地域別分布

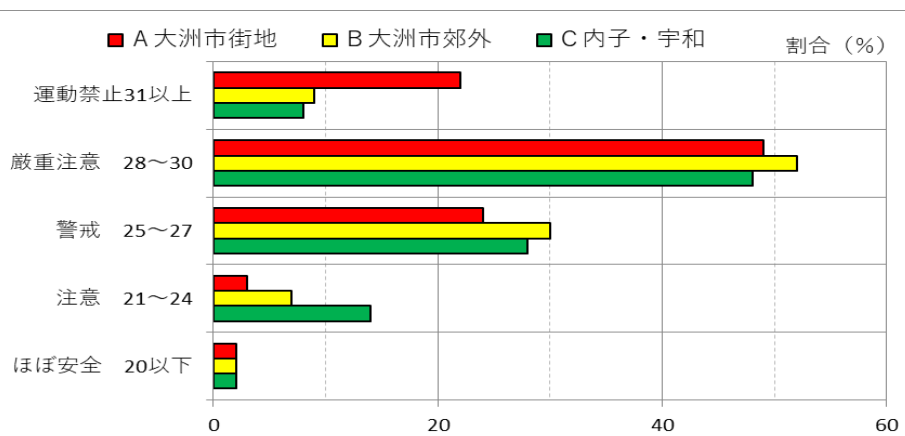


図 6 最高気温時の暑さ指数の地域別分布

図4は6月～9月の最高気温の地域別の百分率である。24°C以下では、日中に雨が降る日が4カ月で6月の数日しかない。

25°C以上の夏日は全体で98%、30°C以上の真夏日が全体で83%、35°C以上の猛暑日は全体の20%であるが、大洲市街地は約35%、大洲市郊外は約17%、大洲市以外は約8%と大きく異なる。

図5は最高気温時の不快指数の百分率である。不快指数は最高気温が低い雨の日でも湿度が高いので、相対的に高くなる。不快指数70以下の快適な日は約1%しかない。

全員が不快と感じる80以上は全体で約85%に達し、不快指数85以上の暑くてたまらない日は大洲市街地で約58%に達する。これは猛暑日の割合より大きい。屋内でも30°C以上になる日が多く、冷房なしでは過ごせない日が多い。

暑さ指数(WBGT)は環境省と気象庁が気温だけでなく、湿度や日差しの違いをも考慮して、熱中症の予防のための運動や水分補給等の目安である。図6に示す。

夏の太田盆地は高温で蒸し暑く最高気温時の12時～15時にかけて暑さ指数28以上の嚴重注意の日が約70%もある。

室内温度が約28°Cで暑さ指数は25以下になるので冷房を使って熱中症を防ぐ必要がある。

3) 暑さ指数の気温・湿度・風速・日照が及ぼす影響 最高気温と暑さ指数の相関

私たちは小野の式を使って暑さ指数を求めた。

気温が 30℃、湿度が 60%、風速が 2.0m/s、日照が 0.15 の時、暑さ指数は 26.5 になる。

そこで、気象項目の 3 項目を一定にして、1 項目を変えて暑さ指数の変化を求めた。図 7 は気温と湿度を同じグラフに描いた。暑さ指数は線形近似式から気温は 1℃につき 0.91 増加する。湿度は 1%につき 0.16 増加する。風速は 1 m/s につき 0.057 減少する。日照は 0.05 につき 0.38 増加する。

図 8 は最高気温と暑さ指数の散布図である。最高気温が 35℃ のとき暑さ指数は 31±2 となる。相関係数は約 0.95 の強い相関関係がある。

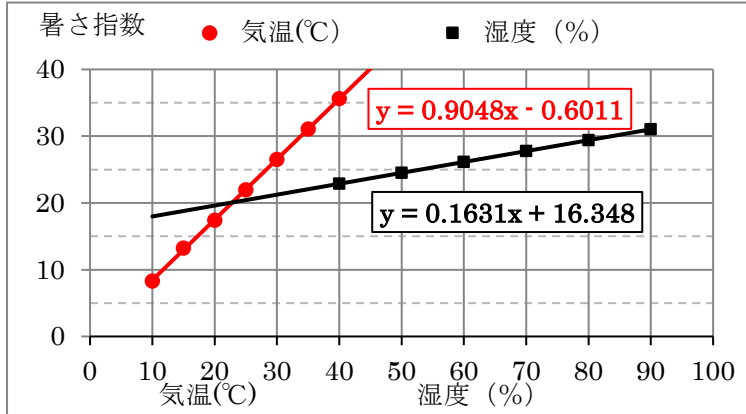


図 7 気温と湿度の暑さ指数に与える影響

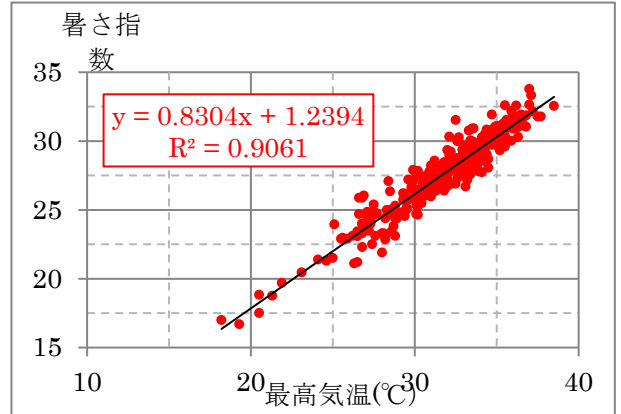


図 8 最高気温と暑さ指数の相関関係

4) リセット時の最高気温・不快指数・暑さ指数・室内温度の平均

表 5 月別のリセット時の不快指数と暑さ指数 (地域別平均) 室内温度の測定時刻と気温の平均

		リセット時						室内温度		
		時刻	気温	湿度	風速	日照	不快指数	暑さ指数	時刻	温度
6月	A	18時50分	26.1℃	69.1%	1.6m/s	0.06	75.4	23.8	22時07分	26.2℃
	B	19時59分	23.7℃	78.1%	1.4m/s	0.03	72.6	21.8	21時25分	25.8℃
	C	20時15分	22.8℃	80.7%	1.4m/s	0.01	71.4	21.1	22時16分	25.4℃
7月	A	19時41分	29.7℃	75.6%	1.3m/s	0.03	73.1	27.2	23時12分	28.6℃
	B	19時38分	28.3℃	68.9%	1.5m/s	0.04	79.2	27.0	21時08分	27.8℃
	C	20時12分	29.6℃	73.2%	1.3m/s	0.02	78.2	25.3	22時08分	27.2℃
8月	A	19時50分	29.4℃	75.4%	1.5m/s	0.05	81.6	27.5	22時44分	29.1℃
	B	18時48分	30.3℃	71.4%	1.4m/s	0.06	81.4	27.5	22時28分	28.8℃
	C	20時48分	27.4℃	81.3%	1.5m/s	0.02	78.4	25.8	20時50分	28.5℃
9月	A	19時10分	28.9℃	72.8%	1.4m/s	0.05	78.6	27.1	23時05分	27.6℃
	B	18時58分	29.2℃	73.1%	1.4m/s	0.05	79.2	27.5	22時28分	27.3℃
	C	20時28分	26.1℃	78.3%	1.2m/s	0.02	76.1	23.9	22時14分	27.1℃

表 5 は部員の帰宅以降にリセットした時刻の温湿度計の測定値と気象記録及び冷房の影響が少ない場所の測定時刻と室内温度をまとめた。

部員の帰宅時間や周囲の家の状況や家の断熱構造などは異なるので、月別地域別の平均値のみをまとめた。

リセット時刻は夜間が多いので日照は小さく、最高気温時は海風のため風速が大きい。日没以降は陸風が吹き風速が小さくなる。屋外の湿度は時刻が遅くなるほど高くなり、18 時で約 70%、21 時で約 80%、24 時で約 90%になる。

5) 大洲盆地内 5 名のリセット時刻の屋外気温・暑さ指数

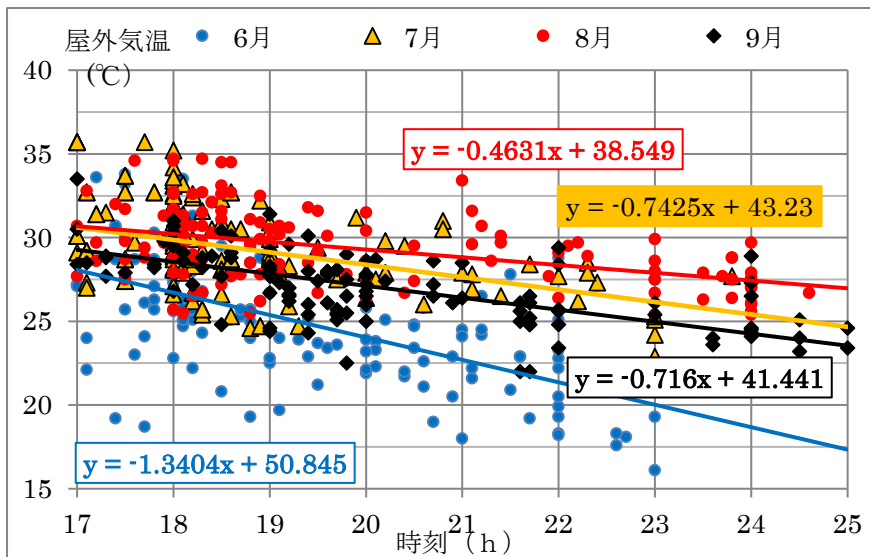


図 9 大洲盆地内 5 名のリセット時の屋外気温

図 9 は大洲盆地 A・B 地域の 5 名のリセット時刻の屋外気温の散布図と線形近似式である。

6 月は梅雨の降雨と梅雨の晴れ間により寒暖差が大きい。1 時間当たりの気温減少率は 1.3℃と大きく、17 時から 8 時間で 5.6℃低下する。

8 月は夏型の気圧配置で猛暑日と熱帯夜が続き、1 時間当たりの減少率は 0.46℃と小さく、17 時から 8 時間で 3.7℃低下する。

7 月は梅雨の後猛暑になり、9 月は残暑の後秋の季節になった。平均気温は 7 月の方が高いが気温の減少率はほぼ等しくなった。

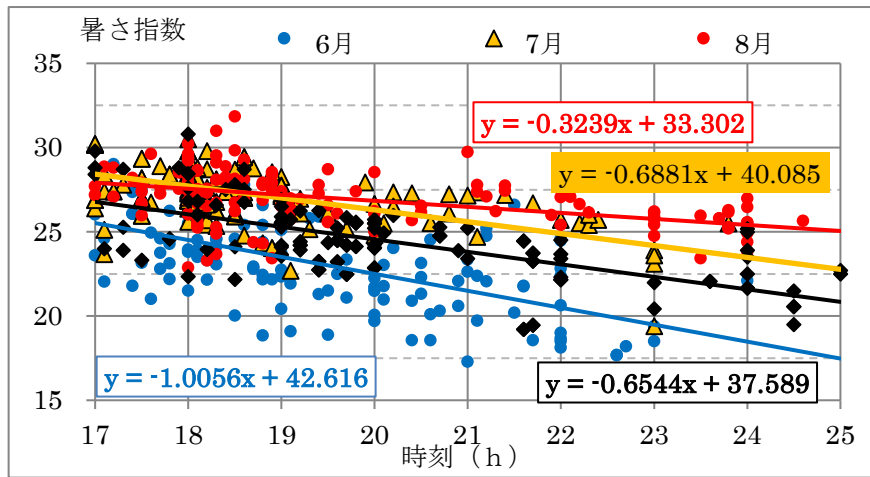


図 10 大洲盆地内の 5 名のリセット時刻の暑さ指数

図 10 は大洲盆地内 5 名のリセット時刻の暑さ指数の散布図である。

図 9 と図 10 の線形近似式の + 以降は 0 時の y 切片の値である。傾きが大きいほど y 切片は大きくなる。

図 9 と図 10 はほぼ同じ傾向になっていた。リセット時は 15 時以降にしている。17 時以降に運動禁止の暑さ指数 31 を超える日はほとんどない。しかし、厳重注意の 28 を超える日は日照がある 7～9 月の 19 時までの部活動の運動場や体育館では適切に休憩と水分補給が必要である。

6) 6 月と 8 月のリセット時刻の屋外気温と室内温度

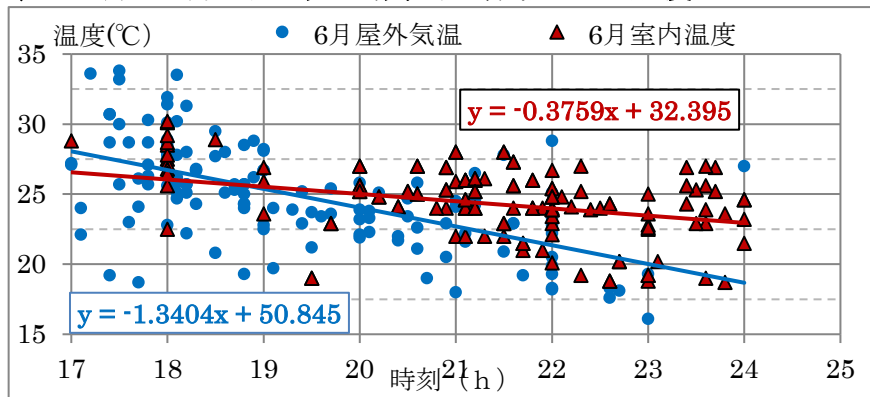


図 11 6 月の屋外気温と室内温度の散布図

図 11 は 6 月の屋外気温と室内の温度の散布図である。

室内温度の測定時刻は 18 時前後と 21 時以降の人に分かれる。室内の線形近似式の 18 時は 26.3°C、24 時は 23.0°C と 6 時間で 2.3°C 低下した。

グラフから 19 時以降の室内は保温されるので室内の方が暖かい。周囲の家の状況や断熱構造や温度計の設置場所など異なるのと、屋外の気温差が大きいので室内温度もばらつきがある。

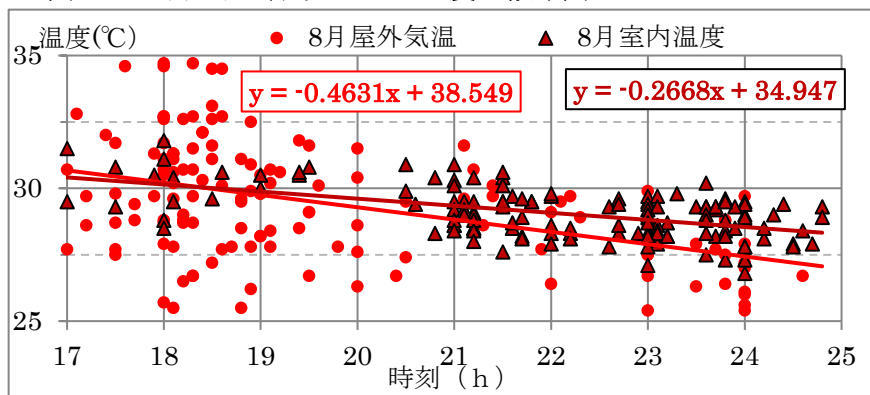


図 12 8 月の屋外気温と室内温度の散布図

図 12 は 8 月の屋外気温と室内の温度の散布図である。

8 月は夏休み中であり、屋外温度と室内温度の測定時刻の平均が約 3 時間違う。17 時～19 時は冷房の影響があり、21 時以降は窓を開けている影響があると思う。

室内の線形近似式の 18 時は 30.3°C で 24 時は 28.7°C と 6 時間で 1.6°C 低下した。17 時以降の夜間の屋外気温と室内温度は下がりにくい。

7) 考察 1 気象観測所の周囲の環境が暑さ指数に及ぼす影響

図 13 は愛媛県の県庁所在地にある松山地方気象台、図 14 は大洲アメダスの写真である。表 6 は 2023 年 8 月の松山地方気象台と大洲アメダス及び A の大洲市街地の 3 名平均の気象データの平均値をまとめた。松山地方気象台は市中心部から少し離れた場所にある。開設当初は住宅地であったが、最近では高いビルが周辺



図 13 松山地方気象台 (Google Earth より)



図 14 大洲アメダス

に建っている。

大洲アメダスは大洲肱南浄化センター構内の一角にある。大洲アメダスは図 1 からも分かるが、西大洲の農地の中にあり周囲 200m に人家はない。

それに対して松山地方気象台と A の私たちの自宅は市街地の中にある。

表6 松山と大洲の観測所の23年8月の最高気温時の気象項目の平均値

23年8月平均	最高気温	最低気温	最低湿度	平均風速	不快指数	暑さ指数	大気中の水蒸気量	日照平均	総雨量
松山地方気象台	33.6℃	25.6℃	58.7%	3.2m/s	85.7	29.5	$36.8 \times 0.587 = 21.6\text{g/L}$	6.4 h	76.5mm
大洲アメダス	33.4℃	24.2℃	61.7%	2.8m/s	86.1	29.7	$36.4 \times 0.617 = 22.5\text{g/L}$	5.1 h	119.5mm
A 大洲市街地	34.7℃	25.4℃	57.0%	2.8m/s	86.7	30.1	$39.0 \times 0.570 = 22.2\text{g/L}$		

表6を見ると、大洲アメダスの最高気温は松山気象台より -0.2°C 、最低気温は -1.4°C 低い。しかし、最高気温時の不快指数と暑さ指数は大洲アメダスが少し大きい。瀬戸内海気候と盆地気候の影響で12h~15hの湿度が大洲の方が約3%大きい。大気中の水蒸気量は松山地方気象台の最高気温の飽和水蒸気量が 33.6°C で 36.8g/L より、 $36.8\text{g/L} \times 0.587 = 21.6\text{g/L}$ になる。同様に計算すると大洲アメダスは 22.5g/L 、Aの大洲市街地は 22.2g/L である。大洲が松山より大気中の水蒸気量が多い。大洲アメダスの周囲は水田なので夏季に多量の水を使用する。水は蒸発すると蒸発熱を周囲から奪い気温が下がると思う。

私たちの自宅の市街地の水蒸気量は 0.3g/L 大洲アメダスより低い。市街地は住宅から出る人工熱とアスファルト舗装から出る輻射熱で気温が高くなり、周囲に緑や水が少ないため乾燥している。大洲は小都市ではあるが、市街地は松山のように都市化しており、ヒートアイランド現象が起こっている可能性がある。

8) 考察2 大洲盆地の暑さ指数と愛媛県の熱中症による救急搬送人数との関係

総務省消防庁の統計から23年の愛媛県の熱中症救急搬送人数を調べた。図14の横軸は6月5日~11日の中央日の6月8日を $6+7/30=6.23$ 日とした。散布図の第一縦軸は大洲盆地の暑さ指数、第二縦軸に搬送人数の週平均を示した。

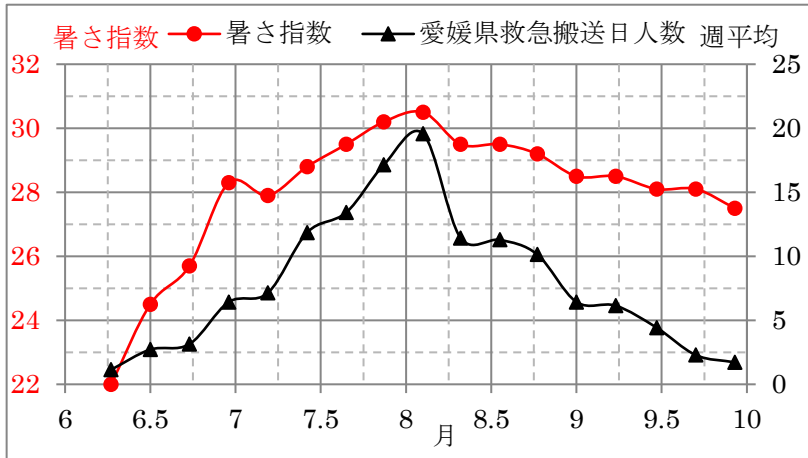


図14 大洲盆地の暑さ指数と愛媛県の熱中症による救急搬送人数の散布図

図14から暑さ指数28を超えると搬送人数が増えだし、最も暑さが厳しい8月初旬にかけて急激に増える。今年は8月も9月も残暑が厳しかったが8月中旬から落ち着いた。愛媛県は昨年の方が夏の気温が高かったが今年は1.1倍に増えた。全国的にみて北海道が約3倍、北日本の搬送人数が増加しており、暑さに慣れていない地域や時期が最も熱中症に罹りやすいと思った。

内訳は高齢者約50%、住居が40%である。熱中症は高齢者が最も注意が必要なが分かる。

9) 考察3 高齢者や子どもの熱中症を防止するために

夏は日中 30°C を超えるとエアコンを稼働させると安全に過ごせると思う。ただ、暑さを感じるのは個人差があるのでリビングや寝室に温度計を設置して、こまめに室内温度をチェックすることが必要だと思う。

8月も19時を過ぎると屋外気温の平均は 30°C より低下するが、エアコンを切って窓を開けると、建物内の屋根裏や収納庫の熱が居室に移動するので室温は下がりにくく、代わりに湿った外気が入ってくる。熱中症にならないためには室内の暑さ指数28を超えないことが大切だと思う。

図15の青線はエアコンを 28°C .60%で稼働させたとき暑さ指数は23.7で安全である。図12の8月の室内温度にその時刻の湿度で計算した暑さ指数を赤で示した。8月は深夜に近づくにつれ室内気温は下がるが、窓を開けると湿度が増すのでは暑さ指数はわずかに増加する。

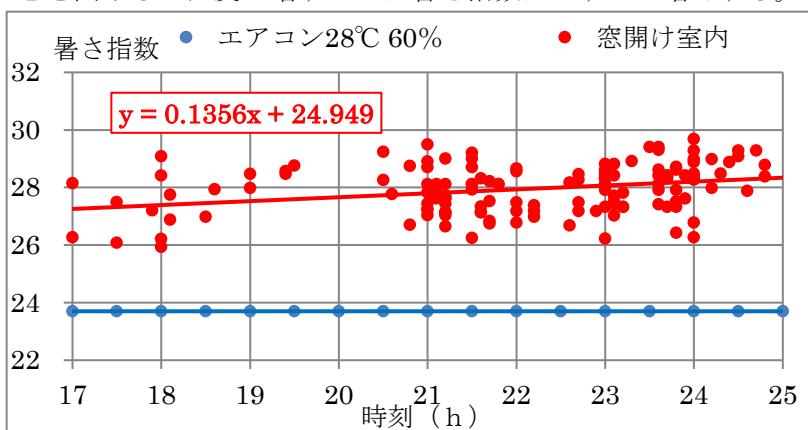


図15 エアコン稼働と夜間にエアコンを切り外気を入れた場合の暑さ指数の予想

高齢者は暑さ・寒さや喉の渇きが感じにくくなっているため、高温多湿の環境においてもエアコンを使わなかったり、水分の補給を怠ったりする可能性がある。熱中症は夜間の住居内で起こることが多い。寝室は朝までエアコンを入れ、窓を開けないようにすることで熱中症が予防できる。

子どもは大人より身長が低いので道路からの照り返しの影響を受ける。また、体温調節機能が未発達で暑さに弱く熱中症になりやすい。また、狭い空間に閉じ込められた時、命を失う危険性が増す。

5. 結論と今後の課題及び感想

1) 結論

- ① 今年の大洲の夏はとても暑さが厳しかった。Aの大洲市街地の6月～9月の4カ月で35℃以上の猛暑日が44日あり、暑くてたまらない不快指数85以上の日が69日、原則運動禁止の暑さ指数31以上の日25日と多かった。まさに地球沸騰化時代の到来かもしれない。
- ② 大洲アメダスは周囲200m以内に人家がない場所の観測値である。部員の自宅は市街地の住宅地が多い。6月～8月のA(大洲市街地)の最高気温は平均で1.4℃、B(大洲市郊外)が0.5℃高く、隣町の内子町と宇和町は0.3℃低かった。住宅地が密集している地域ほど気象観測所ほど最高・最低気温が高くなる。
- ③ 大洲盆地内5名のリセット時刻の屋外気温は時刻が遅くなるほど低以下する。気温減率は6月、9月、7月、8月の順である。8月は猛暑日が多く、気温が下がらず熱帯夜になり、再び熱帯夜になる事が多い。
- ④ 大洲盆地内5名の室内気温の気温減率は屋外気温の半分程度で同じ傾向を示した。
- ⑤ 夏の大洲盆地は湿度が松山より高い。最高気温時は海風が吹き湿度は約60%、17時頃は70%、20時頃は80%、23時を過ぎれば90%を超える。窓を開けると湿気が入るので室内の暑さ指数が厳重警戒の28を超える可能性が高い。
- ⑥ 熱中症対策として熱中症警戒アラートが出ている時は必要以外の外出を避ける。屋外の運動は適切に休憩を取る、水分補給を欠かさないことが大切だと思う。高齢者や子どもは熱中性になりやすい。気温だけでなく湿度にも注意を向けなければならない。

2) 今後の課題

総務省消防局の緊急搬送人数統計では、愛媛県は今年5月～9月の合計で救急搬送人数は1047人、去年は967人より増えた。高齢者の割合は約50%、場所は住居内が約40%である。熱中症は周りの人間が見守ることで防止できる病気である。今後の課題として、私たちが4カ月かけて測定したデータを大洲市民に公開し熱中症予防の広報を行い、大洲市民の熱中症に対する意識を改善していきたいと考えている。

3) 苦労した点、工夫した点

今年購入した温湿度計に7月後半に1台に最高気温が40℃を超える表示が出た。8月は3台とも同じような異常がでた。電池を交換すると暫く正常値に戻るが再び異常値が出る。そこで、一昨年に購入した温湿度計に交換したが、1台は8月に完全に壊れた。測定が出来ない部員は9月よりExcelでデータ処理をした。

表1のExcelの表は先生が作ってくれた。しかし、自分のデータを処理するためにはExcelで並び替えなどをしなくてはならない。情報の授業で習っていない1年生は先生や先輩に教えてもらいながら習得した。

4) 感想

私たちが小学生の頃、2018年7月7日、台風6号による線状降水帯発生のため、肱川と支流の矢落川や久米川が氾濫した西日本豪雨があった。いざ、災害が起こってみると地球温暖化は他人事ではなくなった。

2023年は暖冬で桜と梅雨の季節が2週間早く始まり、梅雨明けから猛暑になり、気温が高めの日が11月まで続いた。12月は雪が降るなど寒かったが年明けから暖冬になった。日本各地で平均気温が高くなっている。私たちが気付かないなかで温暖化が進み、日本は亜熱帯に近い気候になっているようだ。

自分が今まで集めてきたデータは1日単位で見ると少し違っていても、3人と2人の地域別で合わせて、また、1月ごととまとめると、論文に書けるレベルにまとまってくる。とても素晴らしいことだと思った。また、大洲アメダスのデータが大洲の気温だと思っていた私たちには、自宅の周囲の環境の違いで異なるのに驚いている。平均気温にすれば、たった1℃、数%の湿度違いが暑さ指数に大きく影響する。

毎日リセットして、測定データを記録すること。私たちは先生から話を聞いた時にはそんなにしんどそうとは思わなかったけど、実際自分がやってみるととてもしんどかったです。毎日欠かさずにやるということは結構大変でした。途中様々なトラブルがあったけどしっかり最後までやりきることが出来たのでよかったです。

この研究に関わることが出来たのは、将来は大学で研究がしたいと思っている自分にとって良い経験となったので、このことをいかしていきたいです。

最後に、この研究のテーマ決めや部員集めをしていただいた3年生の矢野先輩、分からない所を熱心に指導して戴いた二宮宏之先生に感謝申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

[気象庁 Japan Meteorological Agency \(jma.go.jp\)](https://www.jma.go.jp)

[環境省熱中症予防情報サイト 暑さ指数はなぜ有効なのか? \(env.go.jp\)](https://www.env.go.jp)

[doi:10.11227/seikisho.50.147](https://doi.org/10.11227/seikisho.50.147) 小野雅司ら(2014): 通常観測気象要素を用いたWBGTの推定

[Google Earth](https://www.google.com)

[heatillness_manual_full.pdf \(env.go.jp\)](https://www.env.go.jp) 環境省 熱中症環境保健マニュアル 2022

[heatstroke_nenpou_r5.pdf \(fdma.go.jp\)](https://www.fdma.go.jp) 総務省消防庁

付録 紙面の関係で省略した図・表を付録とする。

表2-3 23年7月のA地域の不快指数と暑さ指数 表2-4 23年9月のA地域の不快指数と暑さ指数

A	7月						
アメダス	最高	最高温度	湿度	日照	風速	不快指数	暑さ指数
1	25.1	26.9	90	0.00	1.9	80.0	26.0
2	34.0	35.4	58	0.17	2.2	88.1	31.3
3	27.2	30.1	71	0.08	2.5	82.6	27.4
4	31.8	33.6	53	0.20	3.6	84.6	29.1
5	26.6	28.5	76	0.05	1.5	80.8	26.3
6	35.5	36.3	44	0.20	2.5	86.3	30.3
7	29.2	31.6	60	0.07	1.7	83.0	27.4
8	32.1	33.1	59	0.07	3.3	85.0	28.5
9	30.1	31.0	75	0.00	1.7	84.6	28.2
10	30.8	32.9	65	0.08	1.2	85.8	29.4
11	34.9	35.6	56	0.22	2.3	87.9	31.5
12	31.1	33.7	54	0.13	2.9	84.9	28.9
13	33.0	34.7	51	0.18	3.4	85.7	29.7
14	29.8	31.3	55	0.13	2.7	81.8	26.9
15	31.9	33.0	63	0.17	3.8	85.6	29.7
16	28.7	33.2	50	0.23	2.7	83.5	28.7
17	34.6	35.5	45	0.23	2.6	85.5	30.0
18	34.8	36.0	51	0.22	4.0	87.4	31.1
19	31.6	33.1	61	0.10	2.1	85.4	29.1
20	30.5	32.3	59	0.20	3.6	83.9	28.8
21	30.5	32.7	65	0.23	1.9	85.5	30.3
22	34.1	35.0	53	0.23	2.6	86.5	30.7
23	35.0	35.5	49	0.20	3.0	86.3	30.3
24	34.5	35.1	49	0.20	3.3	85.8	29.9
25	33.7	35.3	48	0.20	3.4	85.9	30.0
26	35.1	36.3	51	0.20	2.3	87.8	31.3
27	34.5	36.3	54	0.20	1.9	88.5	31.8
28	35.4	36.2	61	0.20	3.9	89.8	32.6
29	35.5	36.8	48	0.17	2.8	87.8	31.0
30	34.9	36.6	53	0.12	2.6	88.7	31.2
31	34.4	35.1	53	0.15	3.3	86.6	30.1
平均	32.3°C	33.8°C	57.4%	0.16	2.7m/s	85.5	29.6

A	9月						
アメダス	最高	最高気温	湿度	日照	風速	不快指数	暑さ指数
1	32.3	33.1	58	0.10	2.4	84.8	28.7
2	33.1	34.5	44	0.10	1.2	84.0	28.1
3	33.9	35.2	56	0.20	1.7	87.4	31.1
4	33.5	35.5	44	0.20	2.7	85.3	29.6
5	33.4	33.6	47	0.18	2.2	83.4	28.2
6	31.7	32.6	54	0.18	2.6	83.4	28.3
7	32.2	34.5	43	0.23	5.0	83.8	28.7
8	31.6	33.9	41	0.20	3.4	82.7	27.8
9	33.4	34.2	47	0.15	2.2	84.2	28.5
10	30.2	31.1	58	0.13	1.4	82.0	27.1
11	30.1	31.2	63	0.13	2.5	83.0	27.8
12	32.8	34.4	59	0.13	1.5	86.9	30.3
13	32.4	34.5	56	0.13	4.0	86.4	29.8
14	31.0	32.7	63	0.23	2.2	85.2	30.0
15	33.5	34.7	57	0.20	2.8	86.9	30.7
16	33.4	34.6	56	0.20	2.0	86.5	30.5
17	34.8	35.9	45	0.20	3.9	86.0	30.0
18	32.6	33.1	55	0.13	3.2	84.3	28.4
19	32.7	33.7	60	0.13	2.7	86.0	29.7
20	33.9	35.3	53	0.15	3.0	86.9	30.3
21	32.3	33.5	58	0.10	5.2	85.4	28.9
22	28.5	29.9	66	0.13	1.2	81.5	27.1
23	28.6	30.4	50	0.15	4.4	79.7	25.5
24	31.3	31.8	43	0.23	3.2	80.4	26.5
25	30.3	31.0	56	0.15	3.4	81.5	26.8
26	31.0	32.0	55	0.20	3.0	82.7	28.0
27	32.8	34.3	58	0.20	2.7	86.5	30.5
28	30.3	32.8	54.5	0.20	3.2	83.8	28.6
29	31.2	33.8	54	0.23	3.5	85.0	29.7
30	32.0	34.2	55	0.20	2.0	85.8	30.0
平均	32.0°C	33.4°C	53.6%	0.17	2.8m/s	84.4	28.8

表4-2 不快指数の月別・地域別度数分布

不快指数	6月			7月			8月			9月			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
74以下	2	4	7										
半数が不快	75	2	1										
	76	3	2	2							1		
	77		3	5		1		1					
	78	3	1	5		1					1	1	
	79	3	1	1			2	1					
全員が不快	80	6	7	3	1	2	1			2	1	1	
	81	2	3	2	1	3	1				4	3	
	82	5	3	1	1	3	3	1	1	2	3	4	8
	83	1	1	2	3	5	3	2	1	1	5	7	6
	84		1		1	4	5	2	5	6	5	6	2
暑くてたまらない	85	3	1		5	5	4	3	7	7	5	4	5
	86	1			10	5	5	4	5	7	4	3	3
	87				2	2	3	5	5	4	6		
	88				5	1	1	5	4	2			
	89				1	1	1	6		1			
	90				1			1	1	1			
	91							1	1				
92							1						
平均	79.7	77.7	76.7	85.5	84.0	83.2	86.7	85.7	84.5	84.4	82.6	82.3	

表4-3 暑さ指数の月別・地域別度数分布

暑さ指数	6月			7月			8月			9月			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
ほぼ安全	17		1	1									
	18				1								
	19	1	1										
	20	1	1										
注意	21					3							
	22			1	2								
	23	3	3	6								1	
	24	1	3	4					1			1	1
警戒	25	9	3	4		1	4	1			1	1	
	26	3	7	4	2	2	2				1	3	1
	27	6	5	4	3	9	2	1	1	3	3	5	9
厳重警戒	28	2	2		2	2	8	4	8	5	7	10	8
	29	2	1		6	7	4	5	5	11	5	8	7
	30	1	1		9	7	6	7	8	7	10	3	2
運動中止	31				6	2	4	5	6	3	3		
	32				2	1	1	6	1	2			
	33				1			1	1				
	34								1				
平均	25.7	24.2	23.6	29.5	28.5	28.1	30.1	29.4	28.8	28.8	27.7	27.5	