

ヒートアイランド現象が  
県民生活に及ぼす影響に関する調査

令和4年3月

栃木県



## 内容

第1	目的	1
第2	栃木県及び宇都宮市の概況	1
2.1	栃木県の地勢	1
2.2	栃木県の気候	1
2.3	宇都宮市の概況	2
2.4	宇都宮市の気温の経年変化と都市温暖化	3
第3	2021年夏季における宇都宮市の気象概況	5
3.1	7月	5
3.2	8月	6
3.3	9月	7
第4	ヒートアイランド現象	8
4.1	ヒートアイランド現象の原因	8
4.2	ヒートアイランド現象が人の健康に及ぼす影響	10
第5	調査方法	11
5.1	調査対象テーマの選定	11
5.2	観測機器	11
第6	データ解析に関する共通事項	13
6.1	天候別分類	13
6.2	移動平均とアンサンブル平均	14
第7	各生活環境における調査結果	15
7.1	ヒートアイランド現象の実態把握と熱中症リスクの評価	15
7.1.1	目的	15
7.1.2	調査地点及び調査方法	15
7.1.3	調査地点の都市化率（地点選定が適正であることの検証）	17
7.1.4	調査期間	19
7.1.5	結果	19
7.2	様々な住環境における熱中症リスクの評価	33
7.2.1	目的	33
7.2.2	調査期間	33
7.2.3	調査方法	33
7.3	農業環境における熱中症リスクの評価	41
7.3.1	目的	41
7.3.2	調査期間	41
7.3.3	調査方法	41
7.3.4	結果	43
7.4	暑熱対策による効果の把握	47

7.4.1	目的	47
7.4.2	調査期間	47
7.4.3	調査方法	47
7.4.4	結果	49
第8	まとめ	52
参考資料	(出典：環境省 熱中症予防情報サイト)	55
引用文献		58

## 第1 目的

大都市では、100年あたりの気温上昇率が $2.0^{\circ}\text{C}\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ であることから、気候変動による気温上昇に都市化の影響（ヒートアイランド現象）による気温上昇が重なっているといわれている。

栃木県においても、気候変動による気温上昇に加え、ヒートアイランド現象による気温上昇に拍車がかかると見られる中、県内の熱中症搬送者数が2010年以降多い状況が継続している。

これらの背景を踏まえ、都市化が進んだ宇都宮市において調査を行い、周辺環境や住居環境の違いによる暑熱状況を把握し、有効な適応策の検討を行うことにより、効果的な熱中症対策に関する普及啓発や適応策の検討・行動等につなげ、もって県民の熱中症リスクに対する適応力の向上を図るための基礎資料とする。

## 第2 栃木県及び宇都宮市の概況

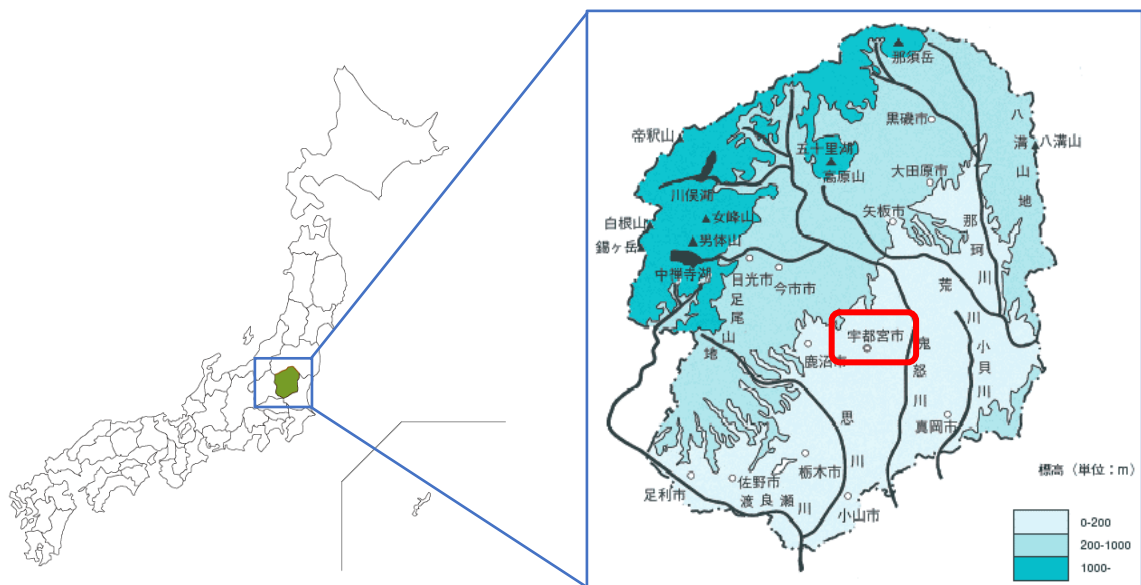
### 2.1 栃木県の地勢

栃木県は県内全体で見ると、標高差に富む地形を有している。県の東部には標高300メートルから1,000メートルのなだらかな山々からなる八溝山地が、また北部から西部には那須連山、帝釈（たいしゃく）山地、日光連山、足尾山地が連なる山岳地帯があり、特に日光連山は、白根山、男体山、女峰山など標高2,000メートルを超える火山が連なっている。

一方、北部及び中央部から南部にかけては、関東平野の北部に当たる那珂川、鬼怒川、渡良瀬川流域の平野が広がっている。

図 2.1 栃木県の地勢図

(出典：栃木県環境森林部、2004)



## 2.2 栃木県の気候

栃木県の気候は太平洋岸気候区であるが、北部から北西部の山地は日本海岸気候区の特徴も有している。

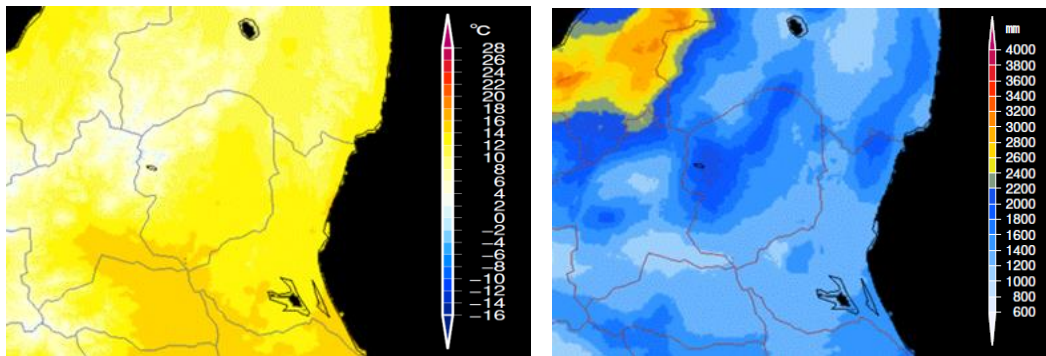
年間の平均気温は、平地で 12℃～14℃と温暖であるが、標高の高い北西部の山地では 7℃～9℃と低い（図 2.2 左）。また、冬は放射冷却により朝の最低気温が下がり、12 月、1 月の平地での最高気温と最低気温の差は 10℃～14℃と大きい。

年間の降水量は、北西部の山地で多い（図 2.2 右）。また、6～7 月の梅雨期より、台風や雷雨の影響を受ける 8 月から 9 月の降水量が多くなる傾向がある。

夏は激しい雷雨が多く、冬は男体おろし、那須おろし、赤城おろしなどと呼ばれる北西からの強い季節風が吹き、平地では乾燥した冬晴れの日が多くなる。

図 2.2 栃木県周辺のメッシュ平年値図 左：年平均気温、右：年降水量

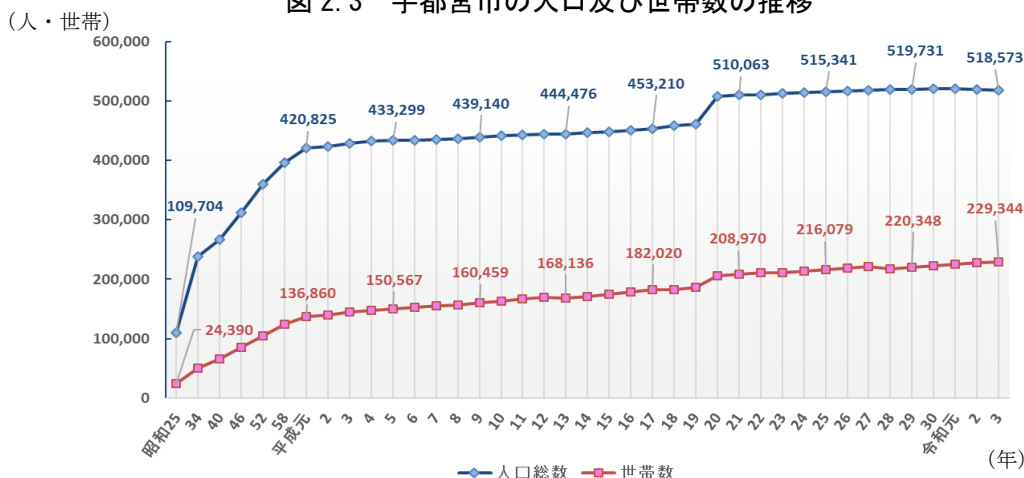
（出典：気象庁ホームページ メッシュ平年値図）



## 2.3 宇都宮市の概況

宇都宮市は栃木県のほぼ中央、東京から北に約 100km の距離にあり、広大で肥沃な関東平野のほぼ北端に位置し、面積は 416.85 km<sup>2</sup>、人口は 516,498 人（2022 年 1 月 1 日現在）。北関東の 3 県の県庁所在地の人口は群馬県前橋市が 333,658 人（2021 年 10 月末日現在）、水戸市が 269,141 人（2021 年 11 月 1 日現在）で、本市は北関東の中で最も人口の多い都市である。

図 2.3 宇都宮市の人口及び世帯数の推移



この図は以下の著作物を改変して利用しています。  
 [人口、世帯数の推移)、宇都宮市、クリエイティブ・コモンズ・ライセンス表示 2.1  
 (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.1/jp/>)

## 2.4 宇都宮市の気温の経年変化と都市温暖化

宇都宮市（宇都宮地方気象台）の気温は、記録のある 1900 年から現在まで継続して上昇傾向である。年平均気温は 100 年当たり約 2.38℃上昇している。特に 1980 年から 2020 年にかけての 40 年間の気温上昇率が大きくなっている。

日本（都市化の影響が比較的小さい国内 15 観測地点\*）の年平均気温も同様に 1900 年から現在まで継続して上昇傾向にあり、100 年当たり約 1.26℃上昇しているが、その割合は宇都宮市の半分程度である。

宇都宮市と日本の年平均気温における気温上昇率には、地球温暖化によるものとヒートアイランド現象による気温上昇の両方が寄与していると考えられる。

概ね同期間の世界の年平均気温偏差の経年変化をみると、その上昇率は 0.72℃/100 年である。これらのことから、宇都宮市の年平均気温が 100 年当たり約 2.38℃上昇しているうちの 1.6℃/100 年程度は、ヒートアイランド現象によるものと推察される。

\*15 観測地点：網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島

図 2.4 宇都宮の年平均気温偏差（1898～2021 年）

（気象庁データから作成）

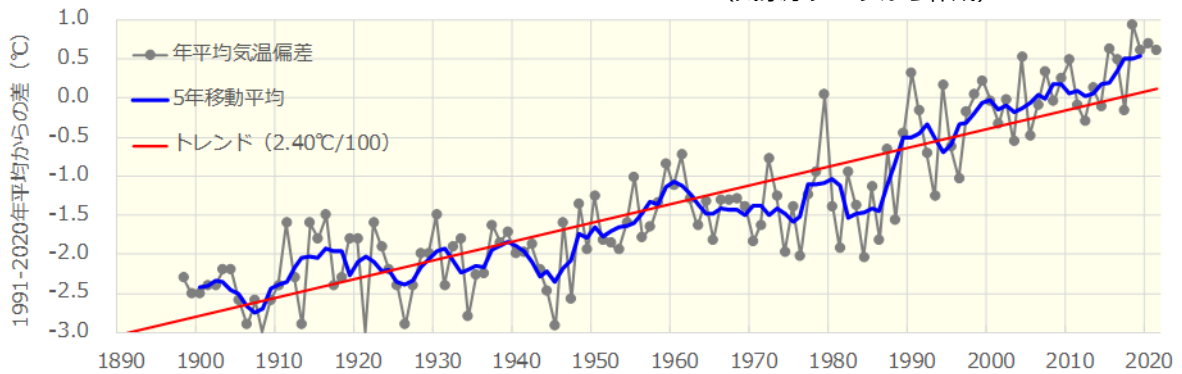
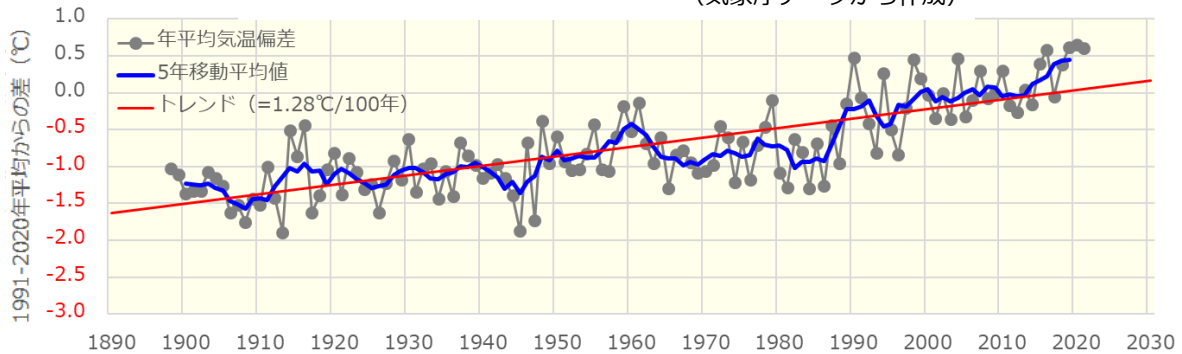


図 2.5 日本の年平均気温偏差（1898～2021 年）

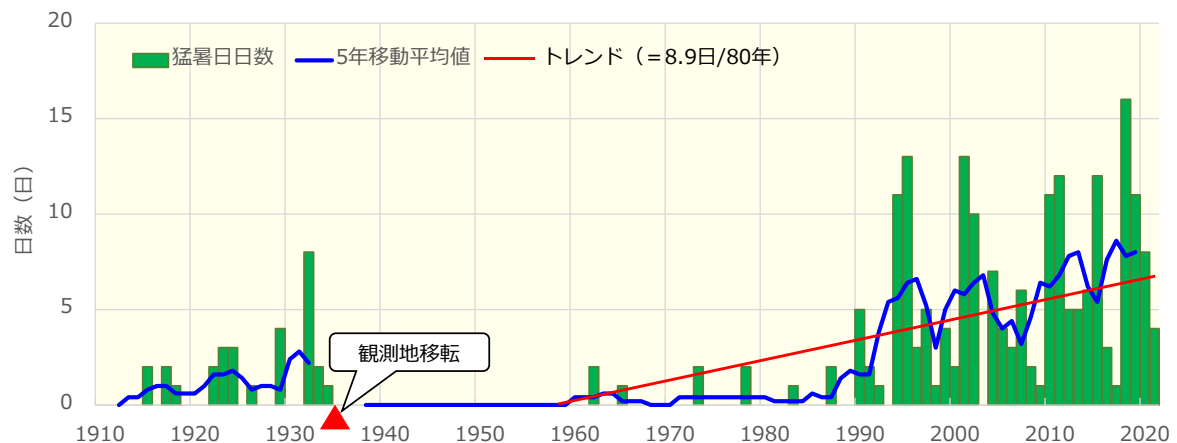
（気象庁データから作成）



また、宇都宮市（宇都宮地方气象台）における猛暑日\*日数の経年変化を見ると、1935年に観測地が移転したため100年トレンドは算出できないが、都市化の影響も受け、猛暑日日数は移転後の期間で増加傾向が見られ、1942～2021年の80年間で約8.9日増加している（移転後の期間で算出）。特に1990年代以降に顕著に増加している。

\*：最高気温が35℃以上の日

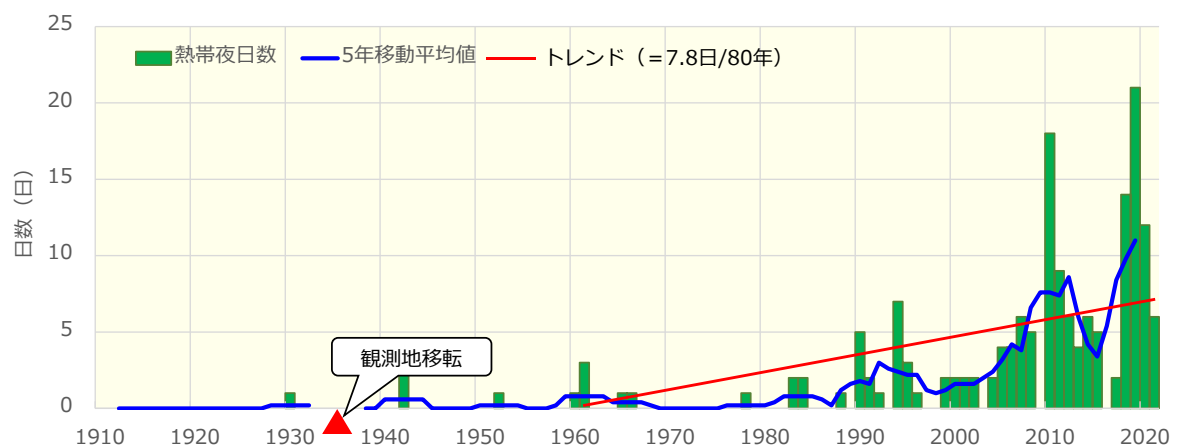
**図 2.6 宇都宮の猛暑日の年間日数（1910～2021年）**  
（気象庁データから作成）



次に、熱帯夜\*日数の経年変化を見ると、真夏日日数と同様に1935年に観測地が移転したため100年トレンドは算出できないが、都市化の影響も受け、熱帯夜日数は移転後の期間で増加傾向が見られ、1942～2021年の80年間で約7.8日増加している（移転後の期間で算出）。

\*：夕方から翌日の朝までの最低気温が25℃以上になる夜

**図 2.7 宇都宮の熱帯夜の年間日数（1910～2021年）**  
（気象庁データから作成）





### 第3 2021年夏季における宇都宮市の気象概況

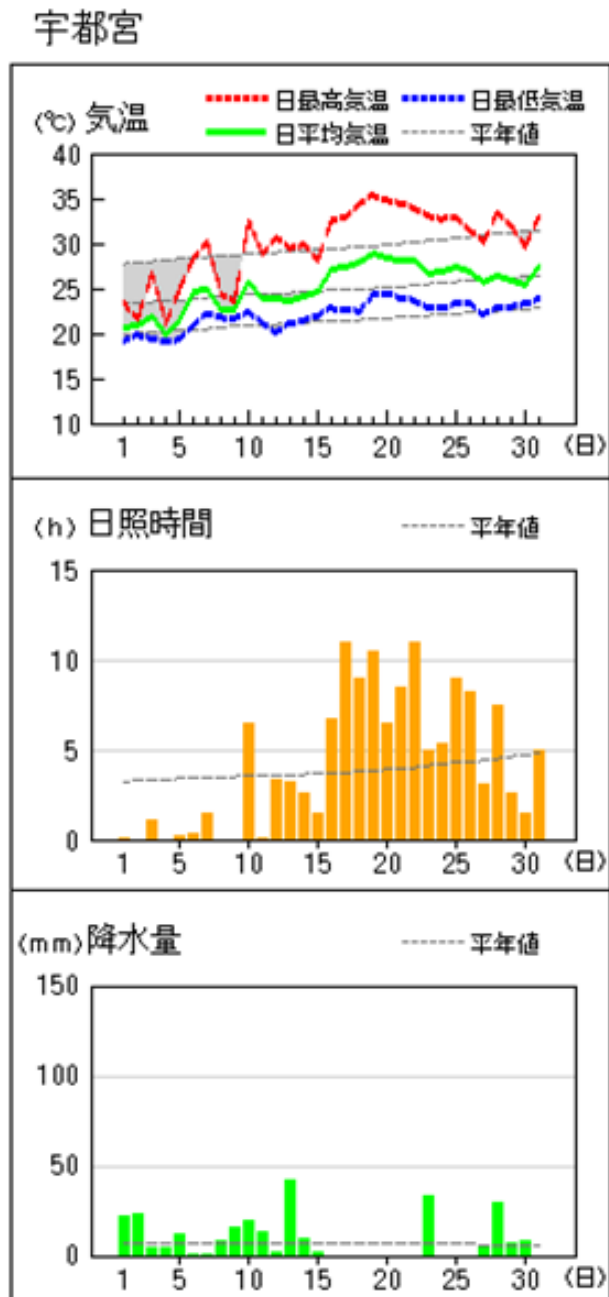
宇都宮地方気象台における7月から9月の日平均気温、最高気温、最低気温、日照時間及び降水量を以下に示す。今夏においては、日最高気温が35℃を超えるような猛暑日は少ない。また、8月中旬および9月初旬に一時的な天候が不順な時期があった。特に、8月中旬においては最高気温が20℃程度の日が続き、一般的な夏季とは大きく異なる年であったといえる。

#### 3.1 7月

上旬は梅雨前線が本州付近に停滞し曇りや雨の日が多かった。

中旬以降は太平洋高気圧が日本の東から本州付近にゆっくりと張り出したため、晴れた日が多かった。関東甲信地方では16日ごろに梅雨明けしたとみられる（速報値）。

27日は台風第8号が関東甲信地方に接近し、曇りや雨となった。



(出典：宇都宮地方気象台「栃木県の気象概況 令和3年(2021年)7月」)

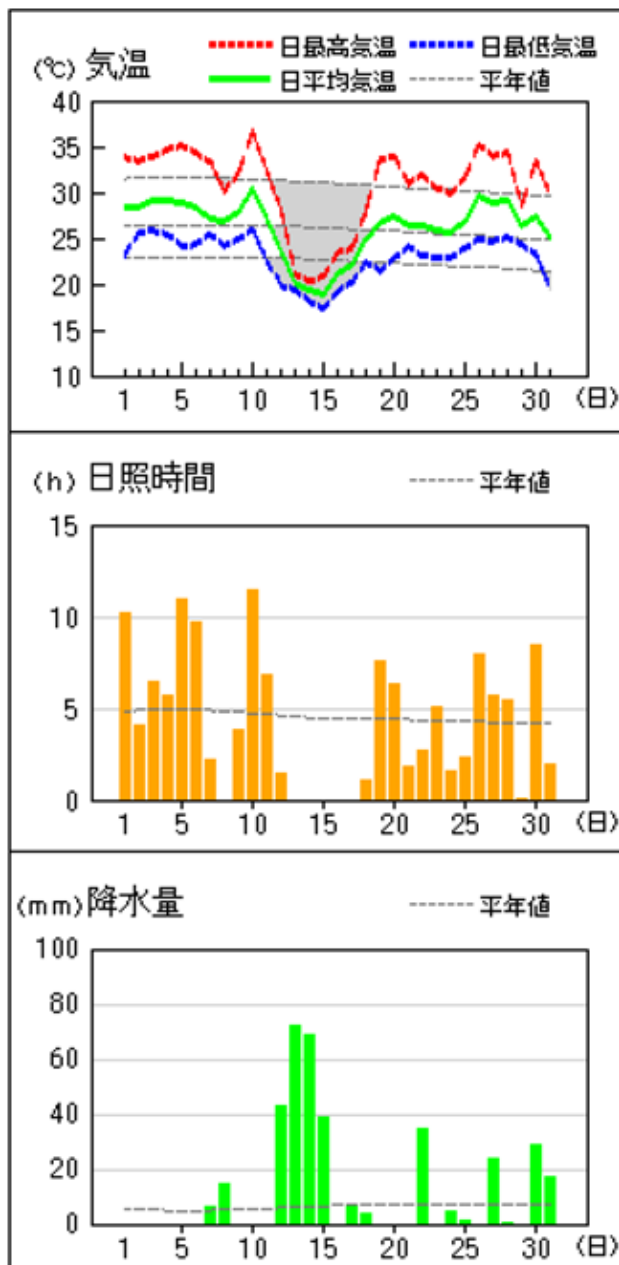
### 3.2 8月

上旬の中頃までは太平洋高気圧に覆われて晴れて厳しい暑さの日が多かった。上旬の終わり頃に台風や台風から変わった低気圧が日本付近を通過して雨や雷雨となった。

中旬から下旬の前半にかけてオホーツク海高気圧が北海道付近まで張り出し、日本の南では太平洋高気圧が西に張り出し、本州付近は前線が停滞して太平洋高気圧の縁を回る湿った空気も流れ込んで雨の日が多くなった。

下旬の後半は太平洋高気圧に緩やかに覆われて晴れた日が多かった。

#### 宇都宮



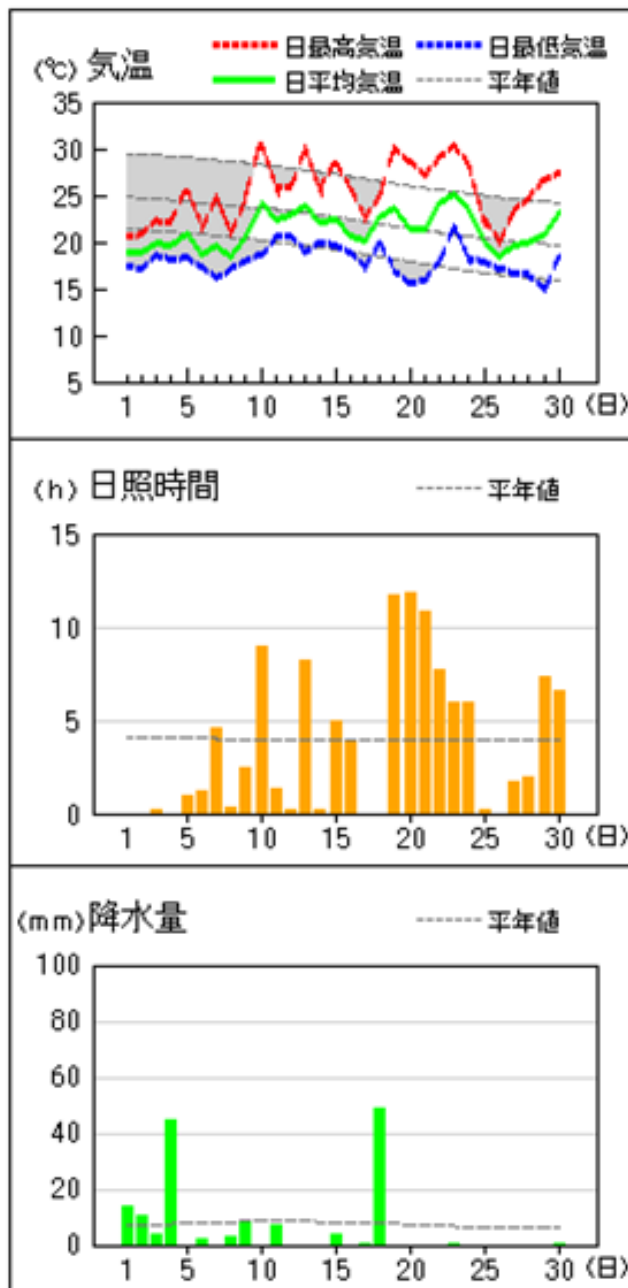
(出典：宇都宮地方気象台「栃木県の気象概況 令和3年(2021年)8月」)

### 3.3 9月

高気圧に覆われて晴れた日もあったが北東からの冷たく湿った空気が流れ込みやすく、上旬の平均気温はかなり低かった。

中頃にかけては、前線や台風第14号の影響で曇りや雨の日が多く、大雨となった所もあった。その後は、高気圧と低気圧が交互に通過して、天気は数日の周期で変化した。

#### 宇都宮



(出典：宇都宮地方気象台「栃木県の気象概況 令和3年(2021年)9月」)

## 第4 ヒートアイランド現象

ヒートアイランド (heat island=熱の島) 現象とは、都市の気温が周囲 (郊外) よりも高くなる現象である。気温の分布図を描くと、高温域が都市を中心に島のような形状に分布することから、このように呼ばれるようになった。年間を通じて生じているが、特に夏季の気温上昇が人の健康にも影響するため問題となっている。

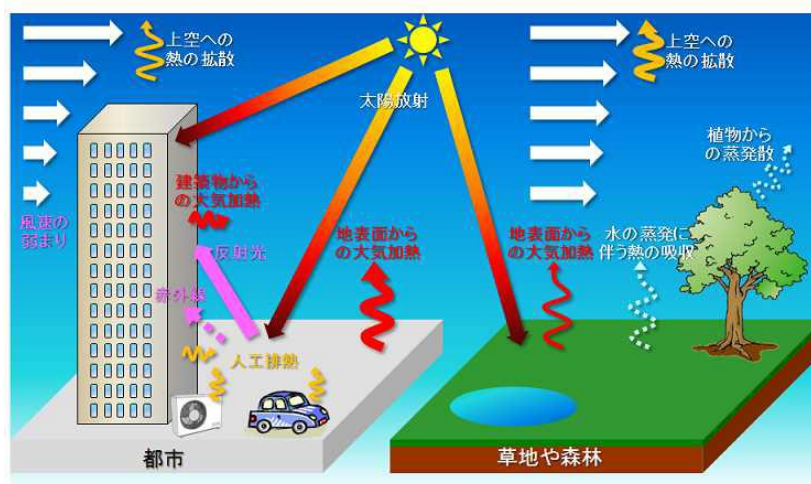
### 4.1 ヒートアイランド現象の原因

ヒートアイランド現象の主な原因は、次の3点であるといわれている。

- 人工排熱の増加 (建物や工場、自動車などの排熱)
- 地表面被覆の人工化 (緑地の減少とアスファルトやコンクリート面などの拡大)
- 都市形態の高密度化 (密集した建物による風通しの阻害や天空率の低下)

図 4.1 ヒートアイランド現象の模式図

(出典：気象庁HP ヒートアイランド現象)



#### (1) 人工排熱の増加

空調機器や自動車などから排出される熱等が、都市の大気を暖め、ヒートアイランド現象の主要な原因の1つとなっている。電気、ガス、石油などのエネルギーを使えば、熱となって放出されるため、気温の上昇につながる。

#### (2) 地表面被覆の人工化

植物は葉の表面から蒸散を行っており、日射により受けたエネルギーを放出するため、大気を暖める要因にはならない。また、大きな木は日射を遮ることで地表面温度の上昇を抑制する。さらに、まとまった緑地は都市を冷やす冷熱源としての効果がある。

一方、アスファルトやコンクリートは、日射を受けると、夏季の昼間には表面温度が 50～60℃程度にまで上昇し、大気を加熱する。また、アスファルトやコンクリートは昼間蓄えた熱を夜まで持ち越すため、夜間の気温低下を妨げることになる。

緑地が減り、アスファルトやコンクリートなどの人工的な被覆面が増えることにより、特に夏季には地表面の温度が上昇する。

### (3) 都市形態の高密度化

中高層の建物が建て込むと、風向きによっては地上近くを流れる風が弱くなり、熱の拡散や換気力を低下させる可能性がある。

高いビルが密集した地域でビルの谷間から上を見上げると、図 4.2 のように空の見える割合（天空率）が低くなるが、そのような場所では、夜間の放射冷却が進まず、日中に蓄えた熱を明け方まで持ち越しやすくなる。

図 4.2 市街地における天空率の撮影事例

(出典：環境省ヒートアイランドガイドライン)



天空の開けている例（河川沿いの歩道）

■ 天空率 67.8%

■ 日照時間 564 分 / 788 分 (2007/8/20)



天空が遮蔽されている例（市街地の歩道）

■ 天空率 28.9%

■ 日照時間 166 分 / 788 分 (2007/8/20)

図 4.3 天空率と放射の関係

(出典：環境省ヒートアイランドガイドライン)



## 4.2 ヒートアイランド現象が人の健康に及ぼす影響

ヒートアイランド現象が引き起こす高温化による「熱中症の増加」や「睡眠の阻害」が懸念されている。また、大気汚染物質の拡散を妨げたり、光化学オキシダントの生成を助長するといった影響もある。

### (1) 熱中症

熱中症は、高温下で体温の調節機能が破綻するなどして、体内の水分や塩分（ナトリウムなど）のバランスが崩れ、発症する障害の総称である。筋肉のひきつけ症状や失神を起こす場合があり、死に至ることもある。

人が感じる暑さには、気温や輻射熱、風速などが影響する。都市化の進展により、ヒートアイランド現象による気温上昇に加え、高温化したアスファルトから放射される熱や建物による風通しの阻害などによって、体感温度が悪化している可能性がある。

### (2) 睡眠障害

環境省が、夜間の暑熱が睡眠の質に及ぼす影響について調べたところ、夜間の気温が高くなるほど、目が覚めてしまう人の割合が増加していることが分かった。ヒートアイランド現象による熱帯夜の増加が、夏季の睡眠環境を悪化させていると考えられる。

## 第5 調査方法

### 5.1 調査対象テーマの選定

次の4項目をテーマとし、それぞれの調査地点において観測機器による調査を実施した。

- ヒートアイランド現象の実態把握と熱中症リスクの評価
- 様々な住環境における熱中症リスクの評価
- 農業環境における熱中症リスク評価
- 暑熱対策用品による効果の把握

### 5.2 観測機器

熱中症予防の指針には、WBGT\*（暑さ指数）が用いられており、国（環境省及び気象庁）が夏季に発表する熱中症警戒アラートの指標でもある。

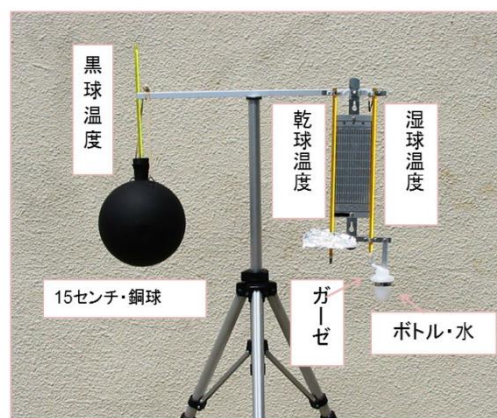
WBGTの測定には、August 乾湿計と黒球温度計（15センチ）が用いられ（図5.1）、WBGTは以下の式で算出される。（\*WBGTについては巻末の資料編に詳述している。）

屋外で日射がある場合： $WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$

屋内で日射がない場合： $WBGT = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$

図5.1 WBGT（暑さ指数）測定装置

（出展：環境省熱中症予防情報サイト）



国際規格（ISO7243）に基づく黒球温度の測定に用いられるベルノン式グローブ温度計の応答速度は約15分であり、この値は人の生理反応時間よりも遅く、両者には大きな乖離が生じている。そこで、本調査では、独自の観測機器を用いた。具体的には、野外における気温やWBGTを測定するために重田<sup>1)</sup>によって開発された自然通風式シェルターと小型黒球温度計及びT&D社製のデータロガーを使用した。独自の観測機器に用いている小型黒球温度計は、ベルノン式グローブ温度計よりも球の体積が小さく応答時間がより速いφ40mmの卓球用ボールにつや消しの黒色塗装を施し、サーミスタセンサーを黒球温度計内に挿入しているものである。

また、湿球温度を長期的に測定することは、常に水分を補給しなくてはならないため困難である。そこで、本調査では、自作の自然通風式シェルターに温湿度センサーを組み込み、気温と相対湿度を測定し、それらの値を用いて中井ら<sup>2)</sup>で考察された推定式から湿球温度を算出した。

湿球温度の推定式は、以下のとおりである。

$$T_w = (T_d + 10) (rh / 250 + 0.615) - 10$$

$T_w$  : 湿球温度、 $T_d$  : 乾球温度、 $rh$  : 相対湿度

なお、測定間隔は、大和ら<sup>3)</sup>などを参考に10分とした。

図 5.2 本調査で用いた観測機器の模式図

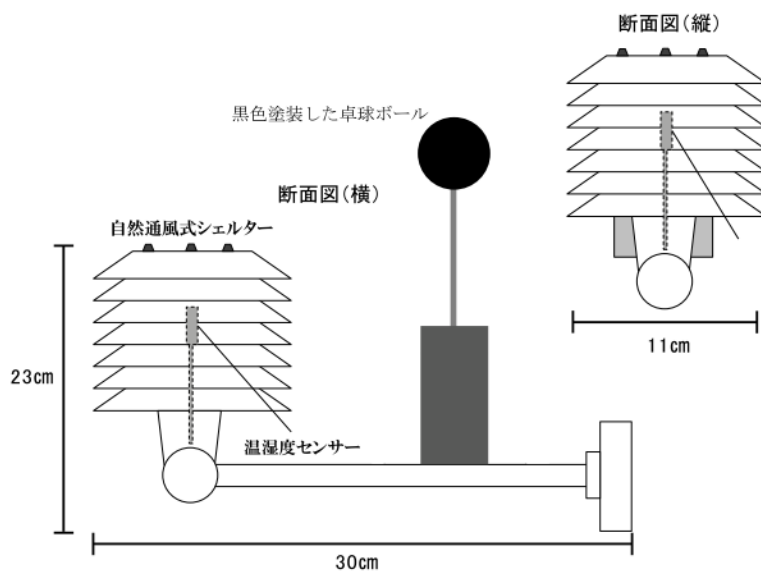


図 5.3 観測機器の設置例





## 第6 データ解析に関する共通事項

### 6.1 天候別分類

ヒートアイランド現象の一つは天候であることから、天候を分類し、天候ごとに区分して解析を行い、それぞれの特徴（傾向）を見た。

なお、分類については、佐藤ら<sup>4)</sup> や高橋ら<sup>5)</sup> による方法を参考にし、次のとおりとした。

- ①可照率 70%以上を快晴日
- ②可照率 30%以下、かつ日降水量 1mm 以下を曇天日
- ③可照率 30%以下、かつ無降水時間が 3 時間以内を雨天日

以下に、定義に基づいて区分された調査対象期間中の各該当日を示す。快晴日、曇天日、雨天日は、それぞれ 11 日、12 日、8 日間であった。この結果に基づき、本調査における測定項目の該当日の一覧と熱中症アラートの発令の有無を下図カレンダーに示す。

なお、対象期間中の熱帯夜は 6 日（8/2、3、4、7、10、28）、猛暑日は 4 日（7/19、8/5、10、26）あった。

7 月

				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
		☉	☉	●		
11	12	13	14	15	16	17
				●		☉
18	19	20	21	22	23	24
	☉			☉		
25	26	27	28	29	30	31

8 月

	1	2	3	4	5	6	7
	☉	☉			☉	☉	
8	9	10	11	12	13	14	
	☉	☉			●	●	
15	16	17	18	19	20	21	
	●	☉				☉	
22	23	24	25	26	27	28	
			☉				
29	30	31					
	☉						

9 月

			1	2	3	4
			●			●
5	6	7	8	9	10	11
☉					☉	
12	13	14	15	16	17	18
☉		☉			☉	●
19	20	21	22	23	24	
☉	☉	☉				

☉ : 快晴日

☉ : 曇天日

● : 雨天日

■ : 熱中症警戒アラート発令日

## 6.2 移動平均とアンサンブル平均

観測値は 10 分間隔の瞬時値であり、前後の値とのつながりは滑らかではなく、微細な変動がある。瞬時の微細な変動による影響を除去するため「3 項移動平均値 (30 分移動平均値)」を用いて解析を行った。

また、天候 (快晴、曇天、雨天) の特徴 (傾向) を捉えるため、天候別分類に基づきグループにした「同じ天候の日」の気温、湿度、WBGT について「アンサンブル平均値」を算出した。

### 【 移動平均 】

移動平均を求めたい値 (中心の値) の前後いくつかのデータ (項) による平均を求める方法である。前後いくつの項とするかは場合によって異なり、「n 項移動平均値」というような記述によりその数を表す。

今回は、3 項移動平均値 (30 分移動平均値) を用いており、例えば 15 : 00 の値は、14 : 50、15 : 00、15 : 10 の平均値である。

$$\begin{array}{l} 14:50 \ 20.6^{\circ}\text{C} \\ 15:00 \ 21.3^{\circ}\text{C} \\ 15:10 \ 20.8^{\circ}\text{C} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 14:50 \\ 15:00 \\ 15:10 \end{array}} \right\} 15:00 \text{ の移動平均値} = (20.6 + 21.3 + 20.9) \div 3 = 20.9$$

### 【 アンサンブル平均 】

同一条件下において、特定の時点の多数の値を平均して得られる値である。

今回は、同じ天候の日、例えば快晴日の場合では、「すべての快晴日」の同時刻の測定値の平均値を求めて、「すべての快晴日」の平均値による快晴日の一日の変化をみている。

$$\begin{array}{l} \text{快晴日 A の } 12:00 \ 30.5^{\circ}\text{C} \\ \text{B の } 12:00 \ 32.1^{\circ}\text{C} \\ \text{C の } 12:00 \ 33.7^{\circ}\text{C} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{快晴日 A の } 12:00 \\ \text{B の } 12:00 \\ \text{C の } 12:00 \end{array}} \right\} \text{快晴日の } 12:00 \text{ の平均値 } 32.1^{\circ}\text{C}$$

## 第7 各生活環境における調査結果

### 7.1 ヒートアイランド現象の実態把握と熱中症リスクの評価

#### 7.1.1 目的

ヒートアイランド現象という言葉の認知度は一定程度あると思われるが、「ヒートアイランド現象が問題となっているのは、高層建築が乱立し緑地がほとんどないような都市に限った現象であり、農用地や里山が近在する宇都宮市には関係のないことである」と考えられているのではないだろうか。

しかし、前述のとおり、100年あたりの宇都宮市の年平均気温上昇率は、日本のそれと比べて約2倍と大きく、ヒートアイランド現象の影響があると推測されている。

そこで、ヒートアイランド現象の実態を把握するため、宇都宮市内で調査を行った。

#### 7.1.2 調査地点及び調査方法

前述のとおり、ヒートアイランド現象の主な原因は、次の3点であるといわれている。

- 人工排熱の増加（建物や工場、自動車などの排熱）
- 地表面被覆の人工化（緑地の減少とアスファルトやコンクリート面などの拡大）
- 都市形態の高密度化（密集した建物による風通しの阻害や天空率の低下）

そこで、土地利用形態の違いによって差異があるのかを調べるとともに、実際の生活環境における暑熱状況の実態を把握することを目的として、土地利用形態の異なる「商業地区（1エリア）」「住宅地区（2エリア）」「農業地区（1エリア）」を対象に調査を行った。

各地区の選定は、空中写真等により土地被覆形態を目視で判別する方法で行った。具体的には、「商業地区」は中高層建築物が、「住宅地区」は一般住宅が、それぞれ相対的に密集している領域を抽出した後、現地確認を行い、目視により天空率の状況を判断し、「商業地区」と「住宅地区」の天空率に大きな差異があるように選定した。

「農業地区」については、周囲が水田などの自然被覆に囲まれた領域を選定した。

調査地点は、各エリアに3地点ずつ設け、計12地点を選定した。

また、3地点の位置関係は、およそ等間隔の三角形を描くように選定した。

具体的な調査地点及びその位置は、表7.1及び図7.1のとおりである。

表 7.1 調査地点

No.	地区別	調査地点名称	住 所
1	商業地区	中央児童公園	宇都宮市中央1丁目10-9
2		おしどり塚児童公園	宇都宮市一番町1
3		街区公園(名称不明)	宇都宮市馬場通り2丁目3付近
4	住宅地区 (西)	鶴田堀切東公園	宇都宮市鶴田町
5		花園児童公園	宇都宮市花園町12-5
6		滝谷町なかよし公園	宇都宮市滝谷町7-7
7		中久保児童公園	宇都宮市中久保1丁目2

8	住宅地区 (東)	泉ヶ丘児童公園	宇都宮市泉が丘 6 丁目 1-8
9		鳥見塚 3 号児童公園	宇都宮市泉が丘 3 丁目 2 0
10	農業地区	水田 1	宇都宮市平出町 5852-1
11		水田 2	宇都宮市柳田町 514-3
12		水田 3	宇都宮市平出町 2376

図 7.1 調査地点の位置



図 7.2 観測機器の設置例



商業地区



住宅地区



農業地区

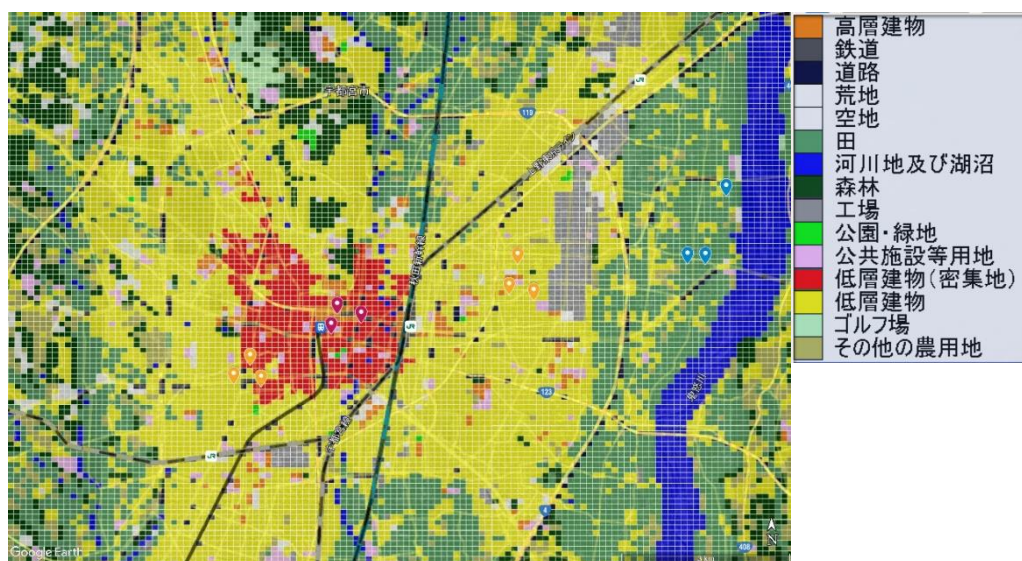
調査地点と土地利用形態の関係を図 7.3 に示す。

商業地区の3地点は、高層建物が集中する JR 宇都宮駅と東武宇都宮駅の間に位置し、強いヒートアイランド現象が起きやすいと推測される地域である。

住宅地区は、商業地区の東と西にエリアを設定した。どちらも低層建物（主に1～2階）の地域であるが、相対的に西側の住宅地区は密集度が高い特徴（東西の差異）がある。

農業地区は、鬼怒川の西側に広がる水田地帯である。一般的に、河川や湖沼などは周囲に比べ低温であるため、周辺気温を冷却する効果を有しているが、本調査では鬼怒川からの距離や周囲の状況を現地確認し、河川からの影響を受けないと判断される地点を選定した。

図 7.3 調査地点と土地利用形態



### 7.1.3 調査地点の都市化率（地点選定が適正であることの検証）

前述のとおり、都市化の進展によりヒートアイランド現象は起きやすくなる。

調査地点の「都市化の度合いの指標」とする「都市化率」を算出し、土地利用形態の違いとヒートアイランド現象の関係を考察する上で、選定した地点は概ね適切であるかを検証した。その結果、概ね適切であることが確認できた。

なお、都市化率の算出方法は、以下のとおりである。

大和ら<sup>3)</sup>の手法を参考に、独自に土地利用データから都市化率（Urbanization Index; 以下、「Ui」という。）を算出した。具体的には、各測定地点から半径 250m と半径 1000m 以内の「都市的な土地利用」と「高度に都市的な土地利用」の割合の平均値を、半径の比で加重平均して求めた。Ui は 0 から 100 の間の値であり、100 に近いほど都市化の度合いが高いことを示している。

「都市的な土地利用」と「高度に都市的な土地利用」の2種の指標は、都市の中心部と農業地区の区別をつけるために用いている。農業地区でも人工的な建造物に覆われた土地利用（「都市的な土地利用」）はあるが、都市の中心部においては、農業地区に比べ、中高層建物や低層住宅などの密集度が高く、農業地区とは異なる熱的な要因が気温に影響を与えると考え

られる。そのため、都市の中心部に特有な「高度に都市的な土地利用」の指標を加えて  $U_i$  を算出している。

また、観測点からの半径 250mを採用したのは、Stewart ら<sup>6)</sup>によれば、250mが土地利用が気温に影響を与える範囲（ソースエリア）とされているためである。一方、半径 1000mを採用したのは、日没後 12 時間にわたる長い時間の移流が気温に与える影響を考えるためには、より広域の土地利用も考慮した方が良いためである。

なお、土地利用データは、100mメッシュの「国土数値情報都市地域土地利用細分メッシュデータ」（平成 28 年度）を使用した。

各調査地点及び 3 地区（4 エリア）の  $U_i$  は、図 7.4 及び図 7.5 のとおりである。

商業地区の 3 地点は、いずれも  $U_i$  が 80%を超えていた。全調査地点の中で最も  $U_i$  が高いのは商業地区 No.1 であり、95.3%であった。商業地区の平均  $U_i$  は、88.0%である。

住宅地区は 45.5%~70.4%の範囲であり、平均  $U_i$  は 54.3%である。住宅地区は、商業地区の東西にエリアを設定しているが、住宅地区の中で  $U_i$  が最も高かったのは西側エリアの No.5 であり、東西の平均値を比較しても西側（59.5%）が東側（49.1%）に比べ高い。これは、7.1.2 調査地点の記述の中の土地利用の形態において示した内容「西側の住宅地区は、東側の住宅地区に比べて建物の密集度が高い」と合致する結果であり、西側の方がヒートアイランド現象の要因が強いと推測される。

農業地区では、No.12 が  $U_i$  17.1%であり、農業地区の他の 2 地点に比べ高いが、商業地区や住宅地区の  $U_i$  と比べてかなり小さい（都市化率が低い）。農業地区の平均  $U_i$  は、8.0%である。

図 7.4 各地点の都市化率

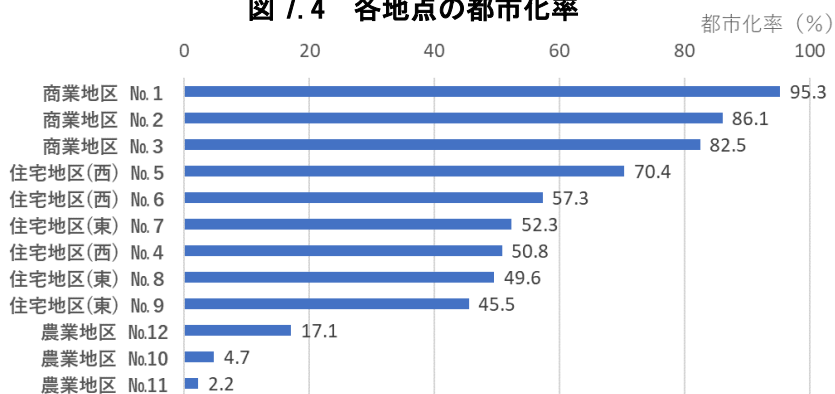
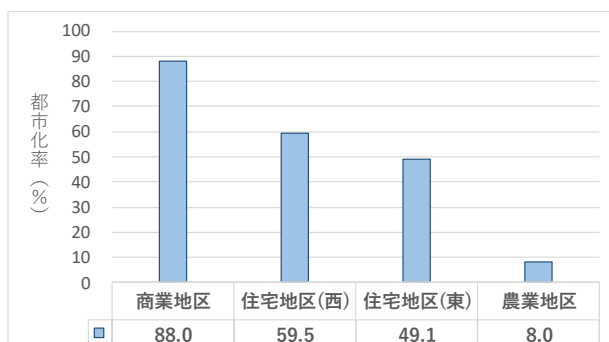


図 7.5 各地区の  $U_i$  平均値



#### 7.1.4 調査期間

6月27日から9月23日の間に調査をした。

ただし、一部地点（No.12）において、観測機器の設置が遅れたため、全地点に観測機器を設置できた7月15日から9月23日までを解析期間とした。

#### 7.1.5 結果

解析期間において、各天候別分類に該当する日は、次のとおりである。

なお、太字の日は、熱中症警戒アラート発表日であり、猛暑日でもある。

快晴日	曇天日	雨天日
7月17日	8月2日	8月13日
<b>7月19日</b>	8月9日	8月14日
7月22日	8月16日	8月15日
8月1日	8月21日	9月1日
<b>8月5日</b>	8月25日	9月4日
8月6日	8月29日	<u>9月18日</u>
<b>8月10日</b>	9月5日	
9月10日	9月12日	
9月19日	9月14日	
9月20日	<u>9月17日</u>	
9月21日		

#### (1) 各地区の基礎統計量

図7.6～図7.8に、全解析期間における地域別の気温、黒球温度、相対湿度、WBGTの平均値を示す。

全解析期間の全データの平均値（図7.6）では、次の特徴がみられた。

##### 【気温】

- ◇ 商業地区と住宅地区の気温は、ほとんど差がない（±0.1℃程度）。
- ◇ 農業地区の気温は、商業地区や住宅地区よりも低い（-1℃程度）。
- ◇ 昼夜、天候を考慮しない気温の平均値では、商業地区と住宅地区は都市的な特徴を有している一方で、農業地区は郊外的な特徴を有しているといえる。

##### 【黒球温度】

- ◇ 黒球温度は、商業地区よりも住宅地区や農業地区の方が高い（+0.2～+1.3℃）。

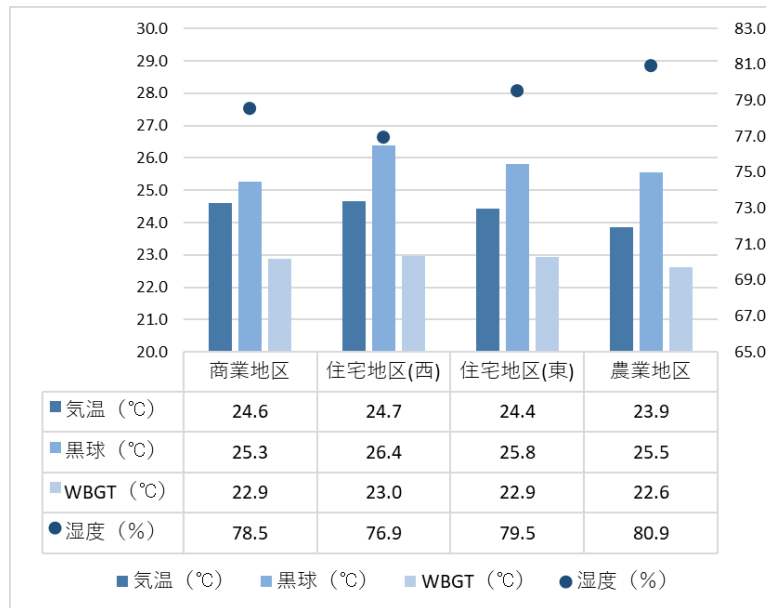
##### 【湿度】

- ◇ 湿度は、農業地区が最も高く、住宅地区（東）、商業地区、住宅地区（西）の順に低い。

##### 【WBGT】

- ◇ WBGTは、商業地区と住宅地区の差はほとんどない。
- ◇ 農業地区のWBGTは、他に比べて低い（-0.3℃～-0.4℃）。これは、湿度は高かったが、気温や黒球温度が低いためである。

図 7.6 全解析期間（全データ）の平均値



全解析期間の昼間（6時～17時50分）の平均値（図7.7）では、次の特徴がみられた。

【気温】

- ◇ 商業地区と住宅地区の気温は、ほとんど差がない（±0.2°C程度）。
- ◇ 農業地区の気温は、商業地区や住宅地区よりも低い（-0.9 ~ -0.6°C程度）。

【黒球温度】

- ◇ 黒球温度は、商業地区よりも住宅地区や農業地区の方が高い（+1.5~+3.0°C）。
- ◇ 黒球温度は、輻射熱（日射しを浴びたときに受ける熱や、地面、建物、人体などから出ている熱）を表しているが、昼間においては住宅地区(西)が最も輻射熱の影響があることがわかった。

【湿度】

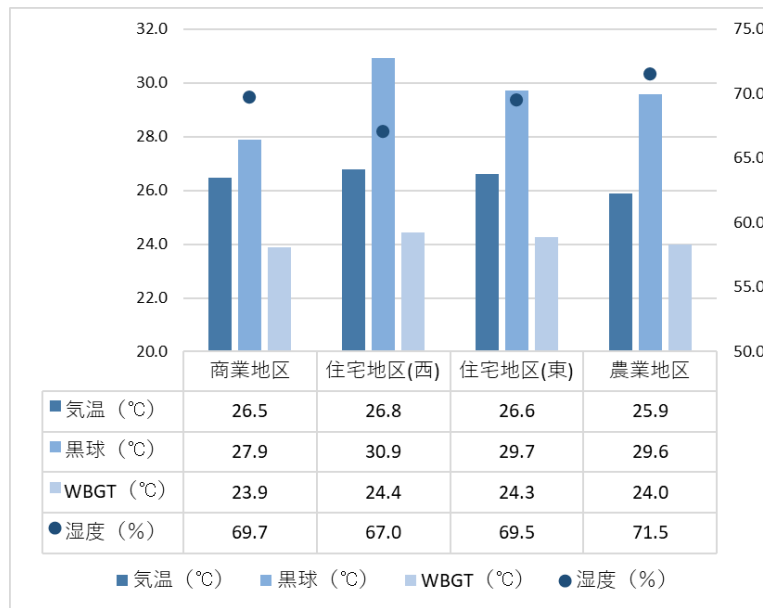
- ◇ 湿度は、農業地区が最も高く、商業地区、住宅地区(東)、住宅地区(西)の順に低い。

【WBGT】

- ◇ WBGTの差はほとんどない。
- ◇ 相対的に気温が高い住宅地区(西)は湿度が最も低く、最も湿度が高い農業地区は気温が低く、それによりWBGTに差が生じなかったためである。



図 7.7 全解析期間の昼間（6時～17時50分）の平均値



全解析期間の夜間（18時～5時50分）の平均値（図 7.8）では、次の特徴がみられた。

【気温】

- ◇ 商業地区と住宅地区の気温は、ほとんど差がない（±0.5℃程度）。
- ◇ 農業地区の気温は、商業地区や住宅地区よりも低い（-1.3 ～ -0.8℃）。
- ◇ 商業地区や住宅地区と、農業地区の気温差は、昼間よりも夜間の方がやや大きい。

【黒球温度】

- ◇ 黒球温度は、商業地区が最も高く、最も低い農業地区との差は、1.4℃。
- ◇ 昼間に高かった住宅地区(西)の黒球温度は、夜間は大きく低下し（-7.9℃）、低下率も最も大きい。
- ◇ 黒球温度は、輻射熱（日射しを浴びたときに受ける熱や、地面、建物、人体などから出ている熱）を表すことから、商業地区は、日没後も建物や路面などに蓄えられた熱があることが推測され、ヒートアイランド現象が生じていると考えられた。

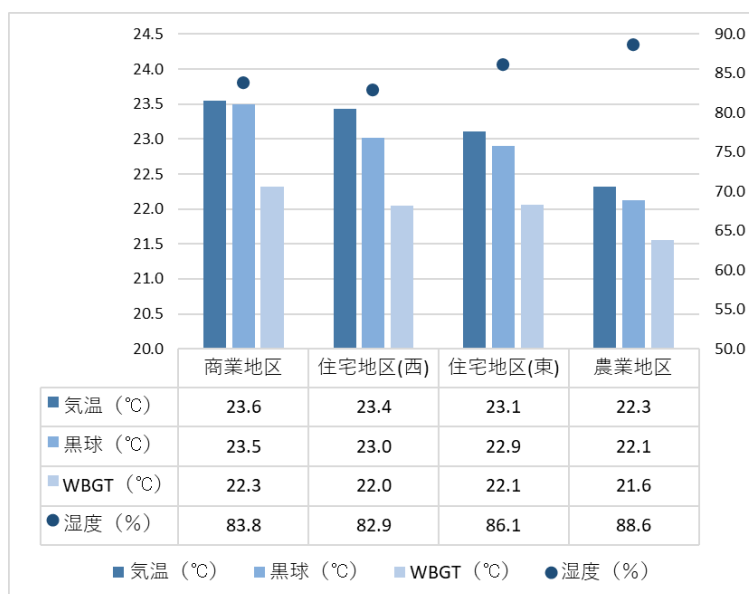
【湿度】

- ◇ 湿度は、農業地区が最も高く、住宅地区(東)、商業地区、住宅地区(西)の順に低い。その差は、昼間よりも小さい。

【WBGT】

- ◇ WBGTの差はほとんどなかったが、昼間とは傾向が異なる。
- ◇ 商業地区が最も高く、これは、他に比べて気温も黒球温度も高いためである。
- ◇ 農業地区は、湿度が最も高いが、気温と黒球温度が低いため、WBGTは低い。

図 7.8 全解析期間の夜間（18 時～5 時 50 分）の平均値



## (2) 高温及び高WBGTの割合

図 7.9 及び図 7.10 に、全解析期間を対象とした、昼間(6 時～17 時 50 分)と夜間(18 時～5 時 50 分)における、気温 25℃及び 30℃以上、WBGT 25℃及び 28℃以上の割合を示す。

昼間の気温 25℃以上の割合は、地区による差はほとんどないが、夜間では商業地区が高く、最も低い農業地区とは 16.9 ポイントの差があった。商業地区では、夜間になっても郊外のようには気温が低下しないヒートアイランド現象が認められた。

これは、WBGT 25℃以上（熱中症警戒レベル以上）の割合についても同様である。農業地区は、日射を遮るものがなく、水田による湿度が高いため、昼間のWBGTが商業地区よりも高いが、夜間では他よりも低くなった。昼間の熱を蓄える建物や路面等が少ないためと考えられ、夜間に最もWBGTが高い商業地区よりも 10.5 ポイント低かった。

また、住宅地区のWBGTは、昼夜ともに高い傾向にあり、特に昼間のWBGTは商業地区よりも高かった。WBGT 28℃以上（熱中症嚴重警戒レベル以上）の割合は、住宅地区(西)、住宅地区(東)の順に高かった。住宅地区(西)は、前述(7.1.2 及び 7.1.3)のとおり建物が密集しており、都市化率(Ui)が高く、ヒートアイランド現象の要因が強いと推測されることと一致している。住宅が密集する場所においては、人口被覆率が高い(建物や舗装等により表土の露出が少ない)商業地区と同等か、それ以上に熱中症リスクが高い可能性がある。

図 7.9 昼間(6時～17時50分)における気温(25℃、30℃)、WBGT(25℃、28℃)の割合

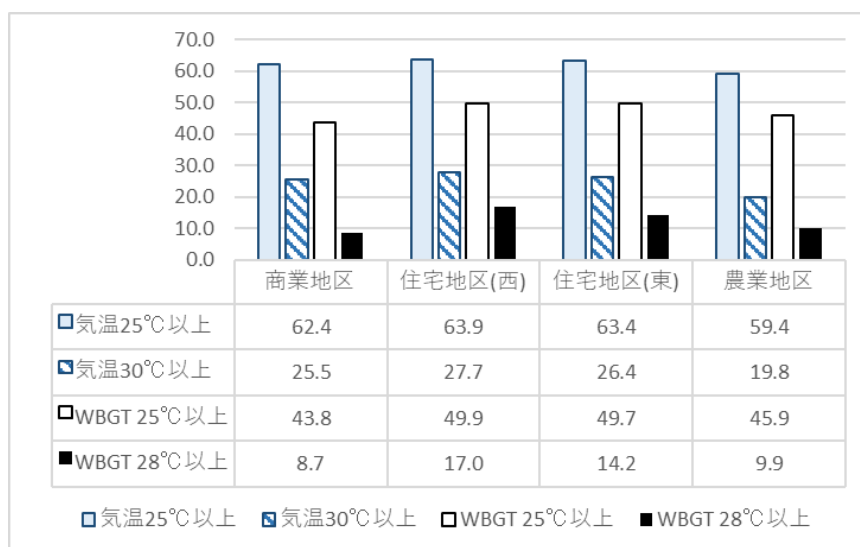
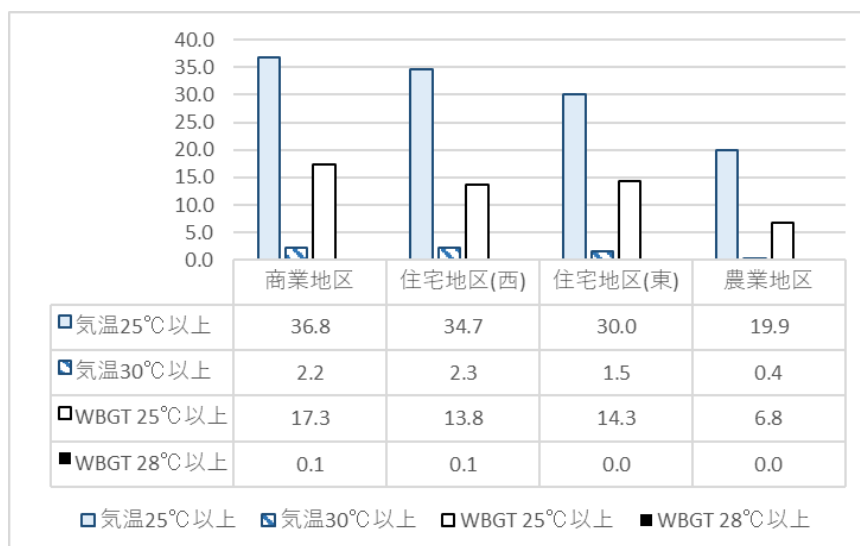


図 7.10 夜間(18時～5時50分)における気温(25℃、30℃)、WBGT(25℃、28℃)の割合



### (3) 気温とヒートアイランド強度の日変化

一般的に、ヒートアイランド現象の強さの指標には、都市域と郊外の気温差による「ヒートアイランド強度」を用いる(環境省<sup>7)</sup>)。そこで、本調査では、基礎統計量に関する解析の結果、気温について郊外的な特徴を有していると考えられた農業地区と、それ以外の地区の気温差を「ヒートアイランド強度」と定義した。

図 7.11 及び図 7.13 に、快晴日及び曇天日における、各地区の「気温」のアンサンブル平均値を用いた日変化を示す。

また、図 7.12 及び図 7.14 に、快晴日及び曇天日における、「ヒートアイランド強度」のA

ンサンプル平均値を用いた日変化を示す。

ヒートアイランド強度は、いずれの地区も、快晴日、曇天日ともにプラス側（農業地区よりも気温が高い）であり、ヒートアイランド現象が認められる。その傾向は、快晴日の方がより強く、日射により気温が上がる条件下において、ヒートアイランド現象が強く発生すると分かった。

特に、ヒートアイランド強度は夜間に高く、快晴日では $1.8^{\circ}\text{C}\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ であった。

ヒートアイランド強度変化が最も大きかった「快晴日における商業地区」に着目すると、昼間は低く推移している（農業地区との気温差は小さい）が、15時頃から急激に上昇し、夜間は高い状態が継続し、朝になると5時頃から急激に低下している。昼間は他の地区との気温差は小さいが、日射により建物や路面などに熱が蓄えられており、夜間の気温低下が少ないというヒートアイランド現象を顕著に現す結果であった。

曇天日には、3地区のヒートアイランド強度の差は不明瞭であり、快晴日にみられたような商業地区の大きな変化もみられなかった。雨天日は、さらに地区間の差異がなかった。このことから、ヒートアイランド現象の発現には日射が大きく影響しており、建物や路面などへの蓄熱は、日射により促進すると推測された。

図 7.11 快晴日における気温のアンサンプル平均値の日変化

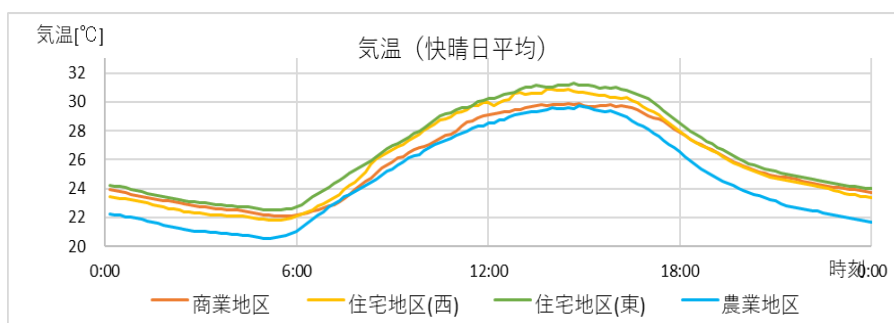


図 7.12 快晴日におけるヒートアイランド強度のアンサンプル平均値の日変化

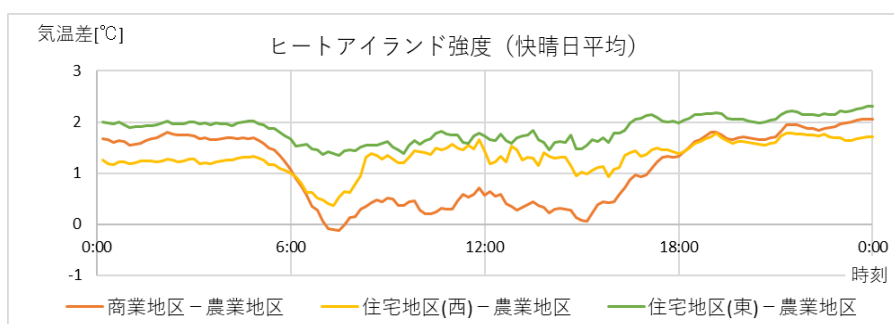


図 7.13 曇天日における気温のアンサンブル平均値の日変化

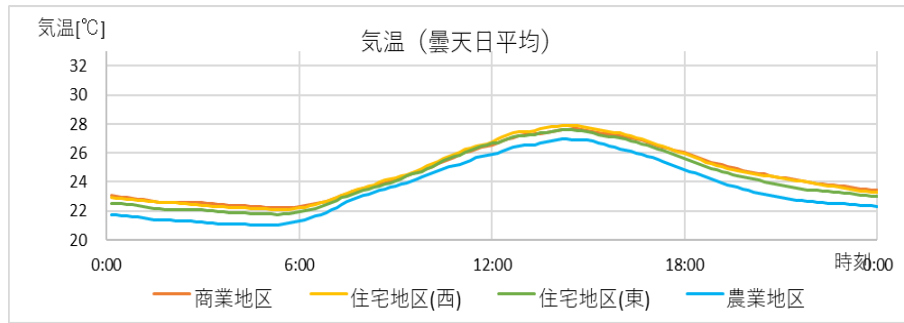
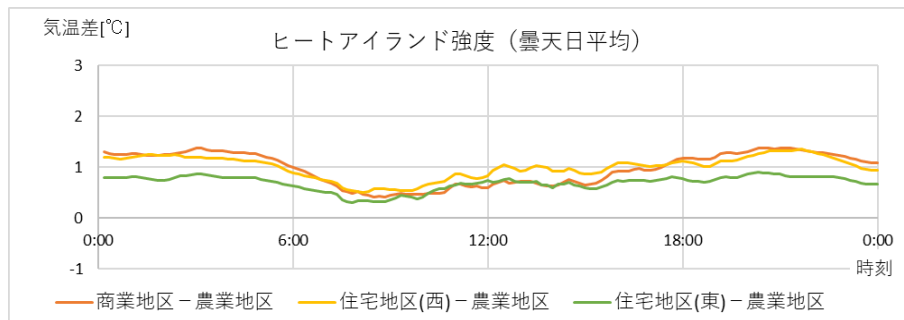


図 7.14 曇天日におけるヒートアイランド強度のアンサンブル平均値の日変化



#### (4) WBGTの日変化

図 7.15 及び図 7.16 に、快晴日と曇天日におけるWBGTのアンサンブル平均値の日変化を示す。

快晴日についてみると、気温のアンサンブル平均値（図 7.11）では、一日を通して、農業地区が最も低く推移していたが、WBGT（図 7.15）では、昼間の農業地区は、商業地区よりも高い値を示した。

また、快晴日には、住宅地区で8時頃から 18 時頃までWBGT25°C（熱中症警戒）を超えているが、商業地区では 11 時頃にWBGT25°Cを超える。ここに示したアンサンブル平均値では、WBGT28°C（熱中症嚴重警戒）を超えてはいないが、WBGTが最も高い住宅地区（西）では、WBGT27°C程度まで上昇している。

前述のヒートアイランド強度の傾向と同様に、商業地区は、昼間のWBGTは他より低い傾向にあるが、夜間は最も高くなった。

一方、曇天日は、快晴日に比べて各地区の差が小さかった。

図 7.15 快晴日におけるWBGTのアンサンブル平均値の日変化

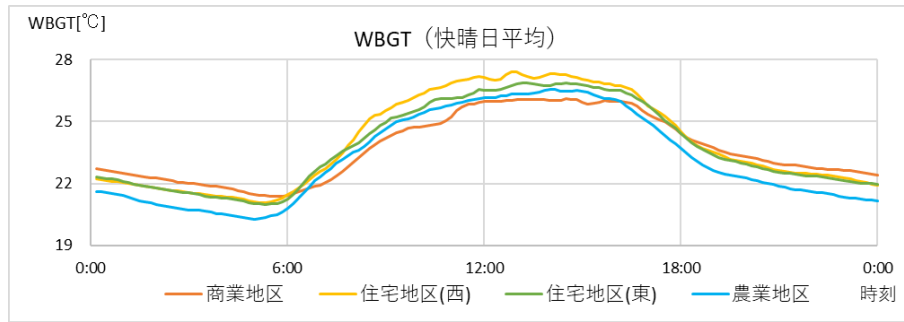
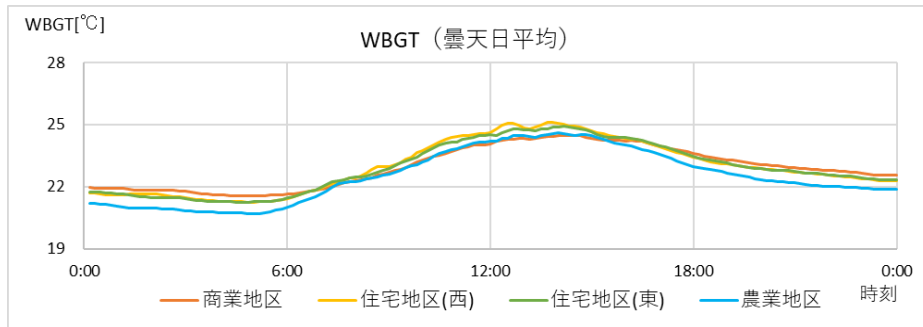


図 7.16 曇天日におけるWBGTのアンサンブル平均値の日変化



### (5) 気温・WBGTと土地被覆の関係

気温やWBGTと土地被覆状況の指標となる  $U_i$ （都市化率）の間には関係があると考え、全調査地点を対象に10分ごとの気温又はWBGTと  $U_i$  との相関係数を算出し、その日変化をみることで、気温やWBGTと土地被覆との関係を把握することを試みた。

図 7.17 に快晴日の気温と  $U_i$  との相関係数の日変化を、図 7.18 に快晴日のWBGTと  $U_i$  との相関係数の日変化を示す。

気温、WBGTともに夜間において相関が認められた。気温と  $U_i$  では、夜間における相関係数が0.5~0.6程度である。WBGTと  $U_i$  では、相関係数が0.9程度であり、極めて高い相関関係があると分かった。

このことから、夜間においては、土地被覆率が高い（土地が建物や舗装などで被覆されている）ほど気温やWBGTが高くなり、特にWBGTは土地被覆率との関係性が極めて高いことが分かった。

なお、図に示すP値とは、偶然に高い相関係数が得られる確率を表す値であり、P値が小さいということは有意性が高い（相関の確からしさが高い）ということを示す。

図 7.17 快晴日の気温と都市化率の相関係数の日変化

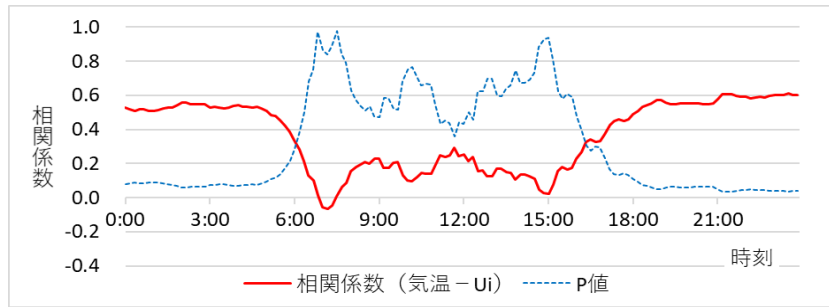
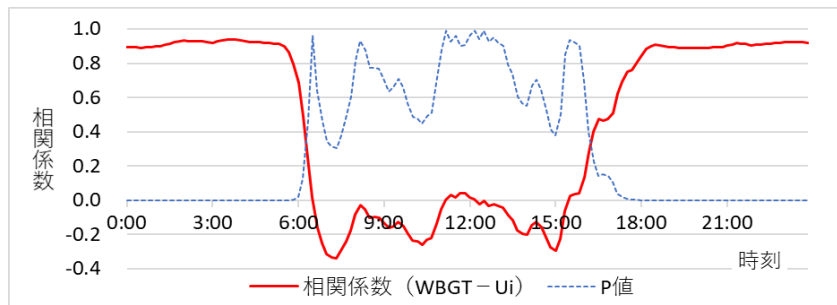


図 7.18 快晴日のWBGTと都市化率の相関係数の日変化



## (6) 事例解析

熱中症警戒アラートが発表された「快晴日である8月5日」、熱中症警戒アラートが発表された「曇天日である8月21日」、「雨天日である8月14日」について解析した。

### 【快晴日：8月5日】

日照時間が11時間、降水量が0mmであり、宇都宮地方気象台の観測では日最高気温が35.1℃（猛暑日）であった。

この日の気温の日変化は、図 7.19 のとおりであり、前述で示した快晴日のアンサンブル平均値の日変化（図 7.11）と概ね同様である。ただし、日中の商業地区の気温は、アンサンブル平均に比べて相対的に高い傾向にあり、住宅地区との気温差も小さい。

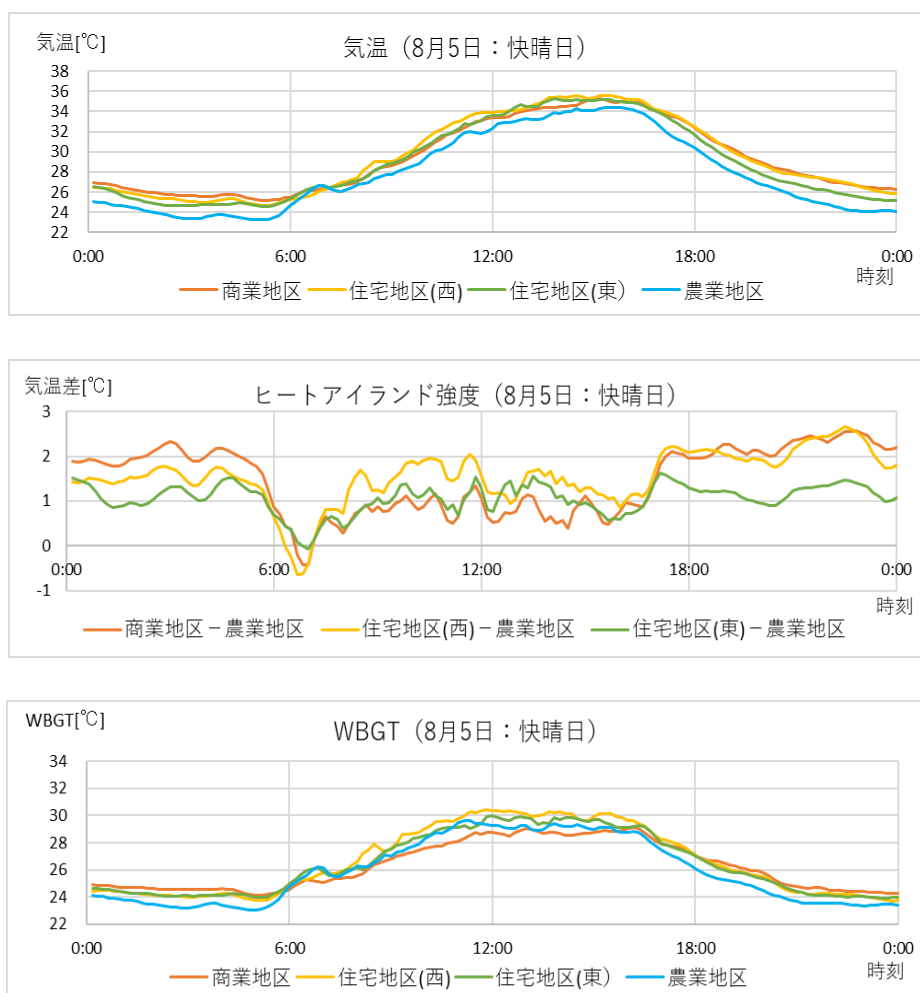
ヒートアイランド強度については、快晴日のアンサンブル平均値（図 7.12）とは異なる日変動である。前夜から朝まで商業地区の強度が最も高く推移し、昼間もアンサンブル平均値のように低下することなく、特に夜半から朝までの間は最も高く推移している（ヒートアイランド強度 2.5℃程度）。宇都宮地方気象台の観測では、前日（24日）に熱帯夜を記録しており、前日に蓄えられた熱が放冷されることなく持ち越されたと推測される。

WBGTについては、アンサンブル平均（図 7.15）と概ね同様の日変化を示し、日中には商業地区のWBGTが最も低くなる傾向が見られる。しかし、その値はアンサンブル平均よりも高い。アンサンブル平均値ではWBGT 28℃（熱中症嚴重警戒）を超えていなかったが、こ

の日は住宅地区において日中はWBG T30℃前後を示しており、熱中症リスクがかなり高い状況になっている。

また、昼間のWBG Tが相対的に低い商業地区であっても、午後にはWBG T28℃（熱中症嚴重警戒）を超える時間が続いており、すべての地区において警戒が必要な状況である。

図 7.19 快晴日（8月5日）の気温、ヒートアイランド強度、WBG Tの日変化



【曇天日：8月25日】

日照時間が2.3時間と、快晴日（8月5日：11時間）より短いため気温の日変化が小さい。しかし、最高気温は30℃を超え、この日は熱中症警戒アラートが発表されていた。

曇天日のアンサンブル平均値（図 7.13）に比べると、最高気温は4℃程度高い。

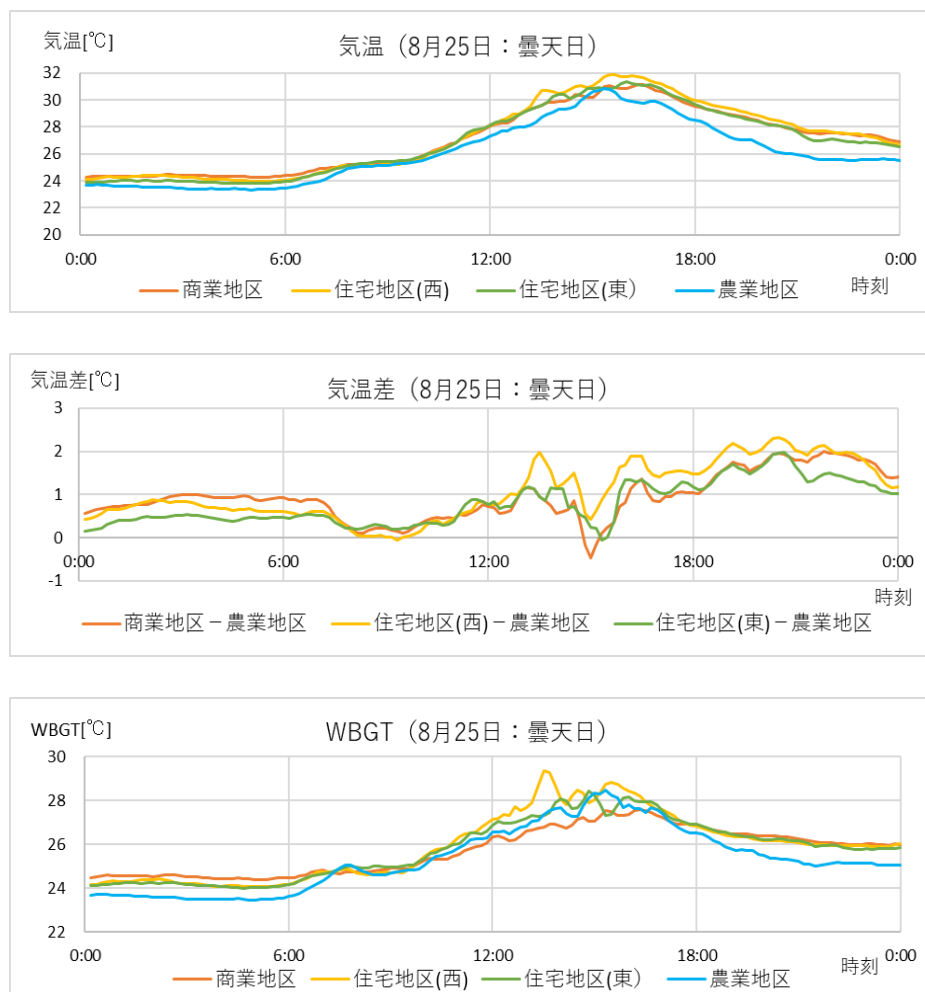
ヒートアイランド強度の日変化が大きいことも、アンサンブル平均値（図 7.14）とは異なる傾向であり、日没後にヒートアイランド強度が最大2℃程度まで上昇しており、曇天日の平均よりも1℃程度大きい。これは、翌日（8月26日）に向けて天候が回復傾向にあり、ヒートアイランド現象が明瞭化してきたことが影響していると考えられる。

WBG Tの日変化には細かな変動はあるものの、アンサンブル平均（図 7.16）と同様に、日中は住宅地区や農業地区で相対的に高い値を示している。



一方、曇天日のWBGTのアンサンブル平均値では、14時頃をピークになだらかに下降していたが、この日の場合は午後から上昇を続け、一時的ではあるがWBGT28℃（熱中症嚴重警戒）を超えており、日没後も農業地域以外はWBGT25℃（熱中症警戒）を維持している。これは、曇天日であっても気象状況などによりWBGTに注意が必要な場合があること、夕刻や日没を迎えてもWBGTが下降するとは限らず、熱中症に警戒が必要であることを示している。

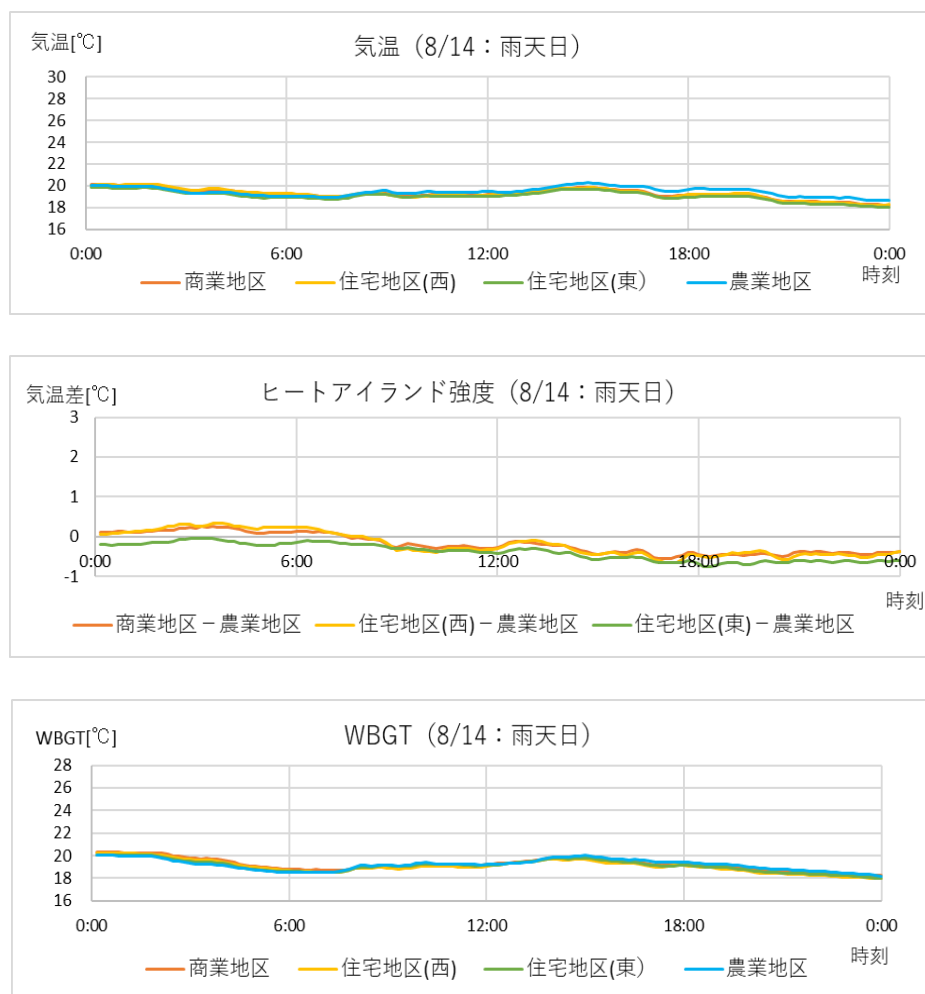
図 7.20 曇天日（8月25日）の気温、ヒートアイランド強度、WBGTの日変化



【雨天日：8月14日】

日照時間が0時間、日降水量が68.5mmであり一日を通して降水が継続していた。気温の日変化は、どの地区も同じであり、一日中20℃程度で推移している。ヒートアイランド強度も、ほぼ0℃前後で推移している。WBGTについても、一定であり、19℃前後で推移している。一日中降雨が続くような雨天日については、夏季であっても熱中症リスクは低いと考えられる。

図 7.21 雨天日（8月14日）の気温、ヒートアイランド強度、WBGTの日変化



## (7) 考察

一般的にヒートアイランド強度は日中に小さく、夜間や早朝に最大を示す。近年では地球温暖化により夏季の猛暑が厳しくなっていることや、熱中症発症者数の増加の観点から、夏季の午後にヒートアイランド現象が最も顕著に発現すると思われるが、実際には、夏季の昼間の商業地区（市街地）と農業地区（郊外）の気温は、ほとんど差がないことも多い。

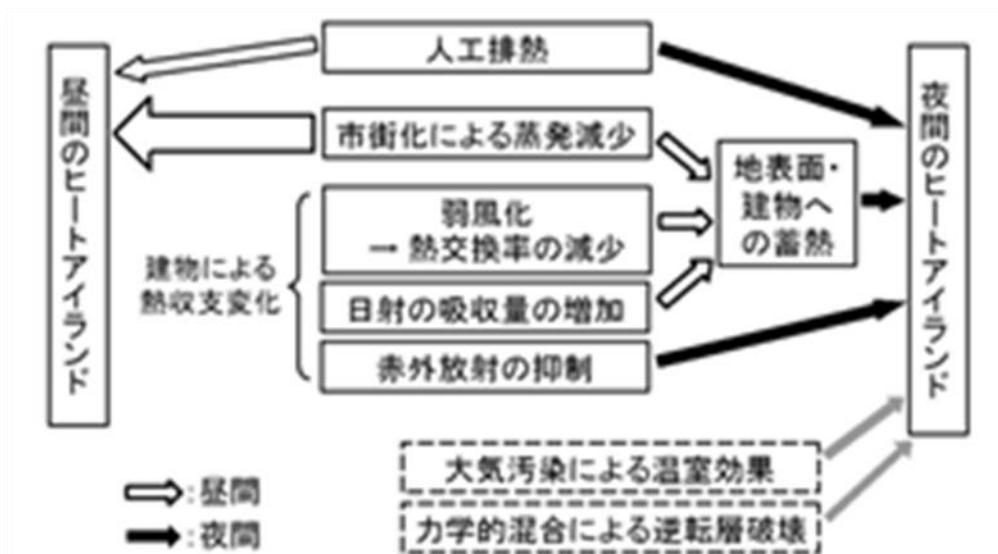
本調査でも、ヒートアイランド現象が強く発現すると予想される商業地区の昼間の気温は、住宅地区とほとんど差がなかった。また、快晴日の昼間における商業地区のヒートアイランド強度は、住宅地区よりも小さい（ヒートアイランド現象が弱い）ことがわかった。

前述のとおり、ヒートアイランド現象の原因には、大気中へ放出される人工排熱（自動車やエアコン、工場など）、土地の市街化（特に植生の減少）による蒸発散量の減少、都市の建築物による日射の吸収、建物外壁からの赤外放射、蓄熱効果などが挙げられている。

図 7.22 に、藤部<sup>8)</sup>が示すヒートアイランド形成要因の模式図を示す。昼間のヒートアイランド現象には人間活動による人工排熱と市街地化による蒸発散量の現象の寄与が大きいことが

示されている。

図 7.22 ヒートアイランド形成要因の模式図



※ 白と黒の→が、それぞれ昼間と夜間の過程を表す。大気汚染と力学的混合の効果は、今後の検討課題であるという意味で、灰色の矢印で示した。

また、都市化の進展は、ヒートアイランド現象の発現、強化に寄与しているが、図 7.22 に示されているように、都市化の影響は、昼間よりも夜間のヒートアイランド強度の増加に強く影響する。

これは、①建物や路面に蓄えられた熱が夜間に持ち越されること、②昼間は太陽放射により地面が加熱され、温まった空気が上昇する対流により上下の空気がよく混ざり合うことで都市の熱が地上付近にとどまることなく上空へも拡散されるが、夜間は、太陽放射がないため上昇対流が弱く、都市の熱が地表付近に滞留すること、③高層建築物で天球率（地表から空が見える割合）が低いため、夜間の放射冷却が進まないこと等、夜間特有の要因があるためである。

本調査においても、商業地区のヒートアイランド強度（農業地区との気温差）が夕刻から上昇し、明け方まで高いまま推移していることがわかった。

また、夜間においては、土地被覆率が高い（土地が建物や舗装などで被覆されている）ほど気温やWBGTが高くなり、特にWBGTは土地被覆率との関係性が極めて高いことが分かった。

「夏の昼間に都会の街中を歩くと、ものすごく暑く感じる」という印象を持っている人も少なくない。これは、体感的な“暑さ”は気温だけでは決まらないことに起因している。体感温度は、気温に加え、湿度や風速、体が受ける太陽からの日射や、周囲からの赤外線の色で大きく変わる。市街地などで体感として暑く感じるのは、周囲の中高層建物により風が遮られたり、太陽からの日射だけでなく、道路からの照り返しや、建物・道路自体が熱を蓄えることによって放出する赤外線が、体に当たることの影響も大きいからである。

そのため、これらの熱中症の原因となる暑さの要素（気温、湿度、輻射熱）を考慮したWBGT（暑さ指数）が熱中症予防の目安として使用されている。

一般的には、植物で覆われて開けた空間である芝生広場よりも、アスファルトやコンクリートなど人工物で覆われ交通量の多いビル街の方が暑熱環境的には悪いという印象を持つが、昼間の場合、芝生広場で計測されたWBGTの方が高くなることがある。その理由は黒球温度の差にあり、日射環境の違いがWBGTに大きく影響すると考えられる。

本調査における全解析期間のWBGT平均値の比較では、昼間は商業地区よりも住宅地区や農業地区の方が高く、夜間は商業地区が最も高かった。昼間は天空率の高い場所が日射の影響を強く受けているためと考えられる。

また、商業地区の昼間のWBGTが低い要因として、建物による日陰の影響が考えられる。黒球温度は建物の密集度など局所の放射環境に強く影響されるため、建物により日射が遮られたことで黒球温度が抑制され、天空率が高く日射が遮らえにくい住宅地区や農業地区よりもWBGTが低くなったと考えられる。

## 7.2 様々な住環境における熱中症リスクの評価

### 7.2.1 目的

近年の暑熱環境は年々厳しさを増しており、熱中症は必ずしも日射の影響が大きい屋外で発症するだけではない。実際に、栃木県での熱中症による救急搬送要請時の場所は、住居が最も多く、2021年においては全体の48%を占めている。

このことから、屋外に加えて、住居の夏季における暑熱環境の実態を明らかにすることは重要である。

そこで本調査では、実際に生活が行われている一般住宅に観測機器を設置し、住居内（リビング及び寝室）の暑熱環境の実態を把握するとともに、暑熱への適応方法（エアコン等）の違いによる気温やWBGTの変化を把握し、住居内の熱中症リスクを評価した。

### 7.2.2 調査期間

8月12日～9月9日に実施した。（リビング8月12日～25日、寝室8月27日～9月9日）

### 7.2.3 調査方法

6世帯（宇都宮市内）の協力を得て、主に生活するリビング及び寝室に2週間ずつ観測機器を設置し、気温とWBGTを調査した。

また本調査では、在宅状況やエアコン等の使用状況に関する記録を依頼した。

調査地点及び住居構造については、図7.23、表7.2のとおりである。

図 7.23 調査地点位置

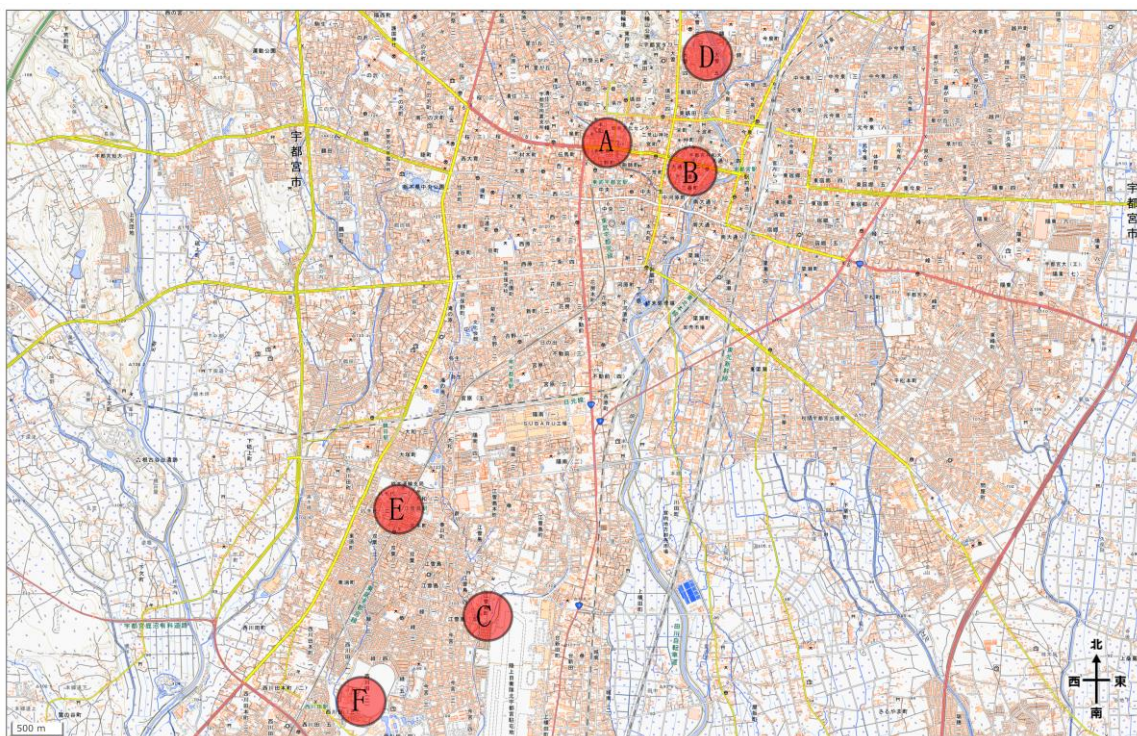


表 7.2 住居の構造と調査階

地点記号	住居構造等	調査階
A	鉄筋集合住宅	3
B		9
C		1
D	木造戸建住宅	1
E		1
F		1

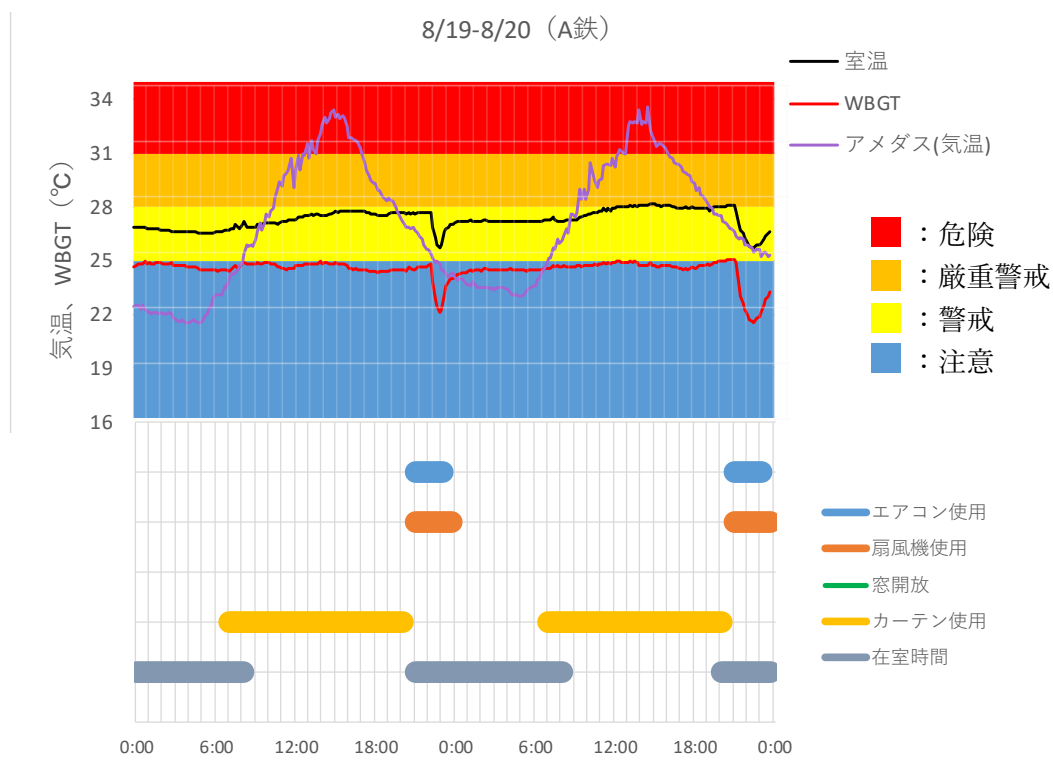
### 7.2.3 結果

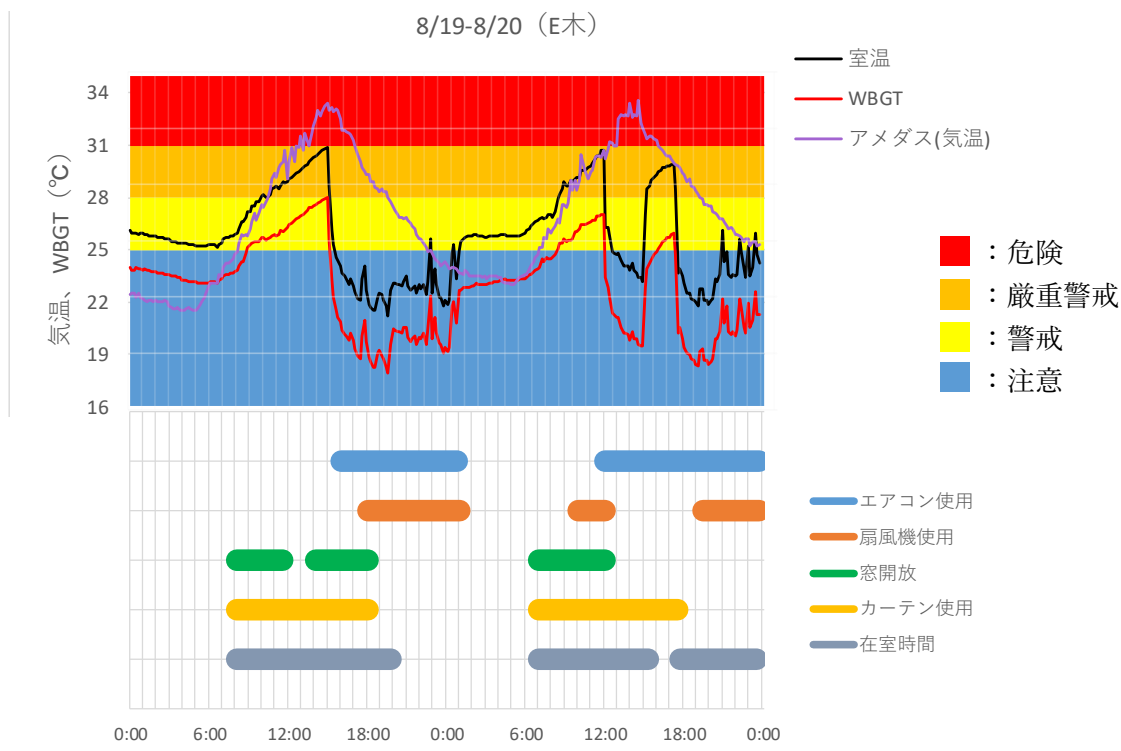
特徴的な結果を以下に示す。

#### (1) 8月19日 リビング

図 7.24 に、A鉄、E木における8月19日～20日のリビングの室温、WBGT、生活状況を示す。なお、アメダス（気温）は、宇都宮地方気象台における観測値である（7.2.3 において同じ）。

図 7.24 8月19日～20日リビングにおける気温・WBGTの日変化と生活状況





A鉄では、帰宅直後にエアコンと扇風機を同時運転し、気温とWBGTが短時間に3℃程度低下している。その後、エアコンと扇風機を停止しており、停止後すぐに気温、WBGTともに上昇し、WBGTは帰宅時のレベル（熱中症警戒レベル）程度で推移している。

E木では、日の出後から気温とWBGTが上昇し続けている。その間、窓を開けているが気温、WBGTともに改善効果は見られない。15時頃に、WBGT28℃（熱中症嚴重警戒）に達した後、15時30分頃からエアコンを使用し、さらにその後、扇風機を併用し、急激に室温とWBGTが低下（室温21℃、WBGT18℃）した。深夜2時頃、エアコンと扇風機が停止され、室温、WBGTが緩やかに上昇し、朝を迎えている。エアコンと扇風機を併用することで熱中症対策の高い効果は認められるが、熱中症嚴重警戒レベルに達してから急激に温度やWBGTを低下させており、体調への悪影響が危惧される。

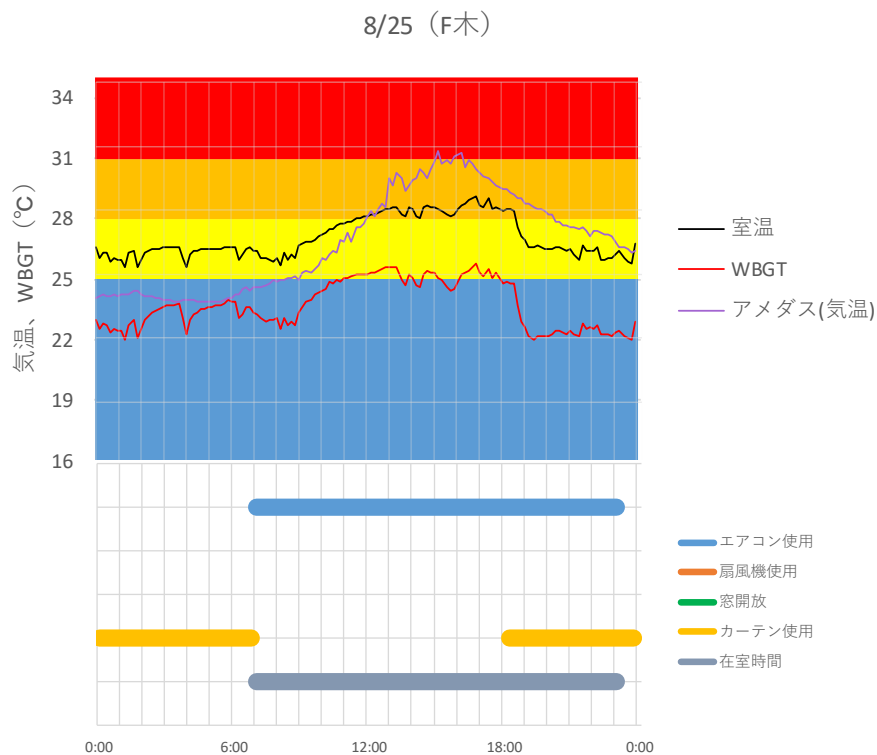
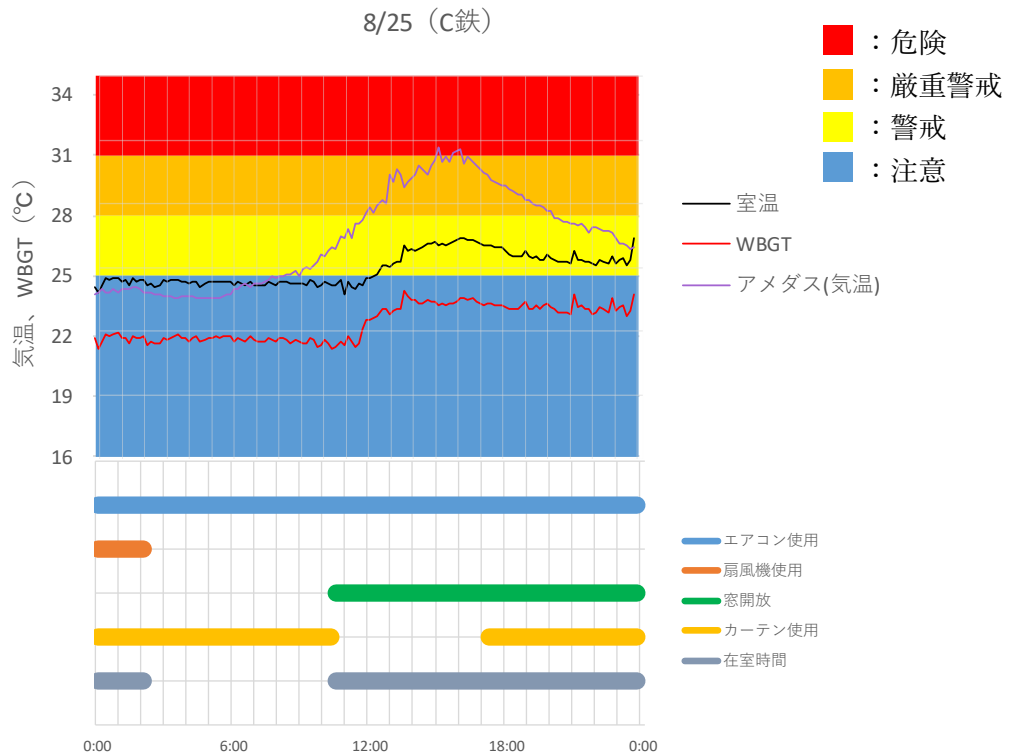
エアコンと扇風機の併用は、室温、WBGTを大きく低下させることができるが、停止すると間もなく使用前と同程度の気温、WBGTに戻ることが分かった。急激な室温等の変化は、体調に悪影響をもたらすことも心配されるので、暑熱が厳しくなり過ぎない段階から、除湿などの機能も活用しながら、WBGTを安全なレベルに抑える工夫をすることが望ましい。

また、窓の開放だけでは、室温やWBGTを低下させる効果は、あまり期待できないと思われる。

## (2) 8月25日 リビング

図 7.25 にC鉄、F木のリビングにおける気温とWBGT、生活状況の関係を示す。

図 7.25 8月25日リビングにおける気温・WBGTの日変化と生活状況





8月25日は曇天だが、最高気温が31℃を超えた日である。

両世帯ともエアコンを使用しており、室内気温の日変化は小さい。WBGTにおいてもC鉄は常時25℃以下、F鉄も25℃を超える時間は少なく、熱中症リスクは低いと推測される。

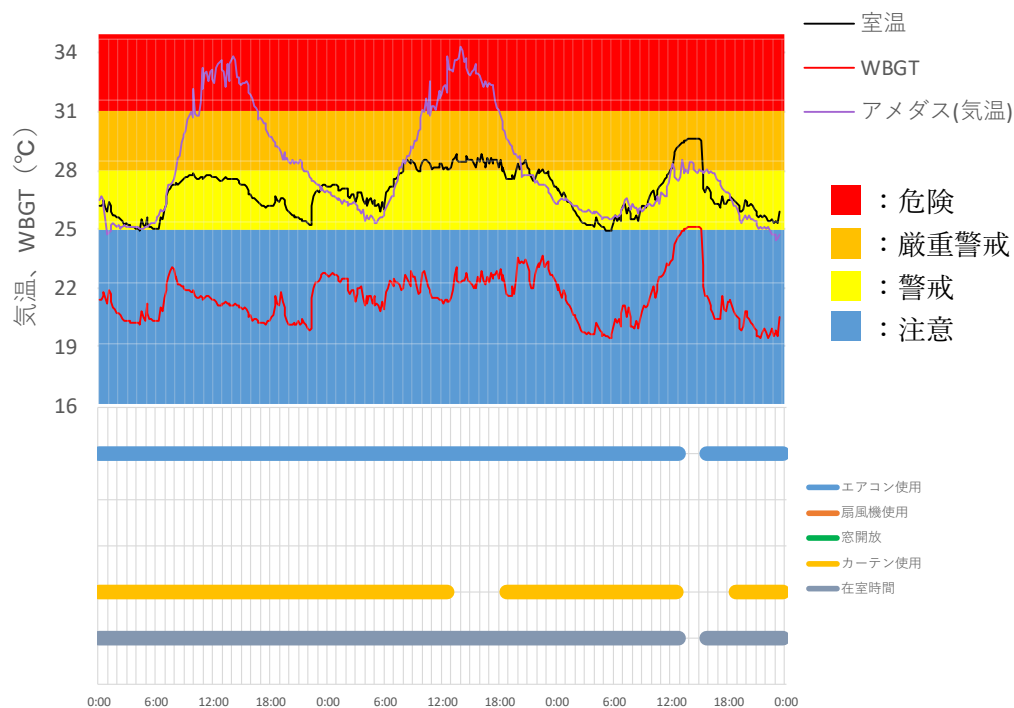
しかし、両世帯ともに、昼間、特に午後の気温やWBGTが上昇している。外気温が高い日には、エアコンを使用しても、気温やWBGTが上昇することが推察される。外気温、湿度、日射の変化を考慮して、エアコンの設定温度だけでなく、室温計やWBGT計の値を目安に対策することが、熱中症予防に有効であると思われる。

### (3) 8月28日 寝室（熱帯夜、熱中症警戒アラート発表日）

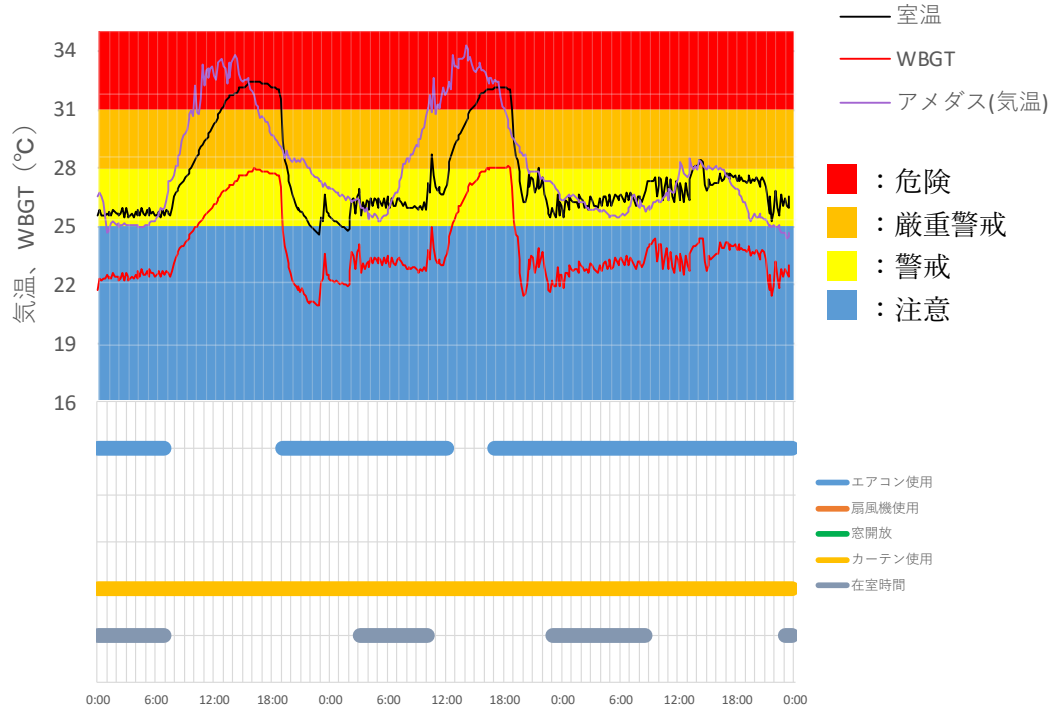
図7.26にB鉄、C鉄、E木、D木の8月27日～29日（寝室）における気温とWBGT、生活状況の関係を示す。

図7.26 8月27日～29日寝室における気温・WBGTの日変化と生活状況

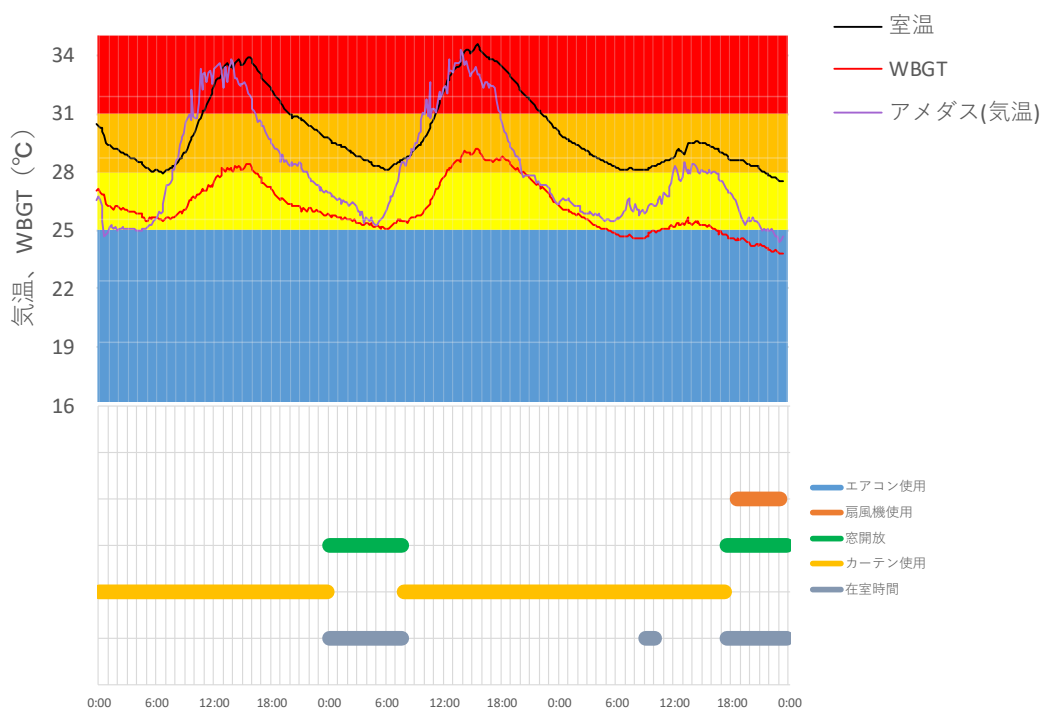
8/27-8/29 (28熱帯夜, 28アラート) (B鉄)



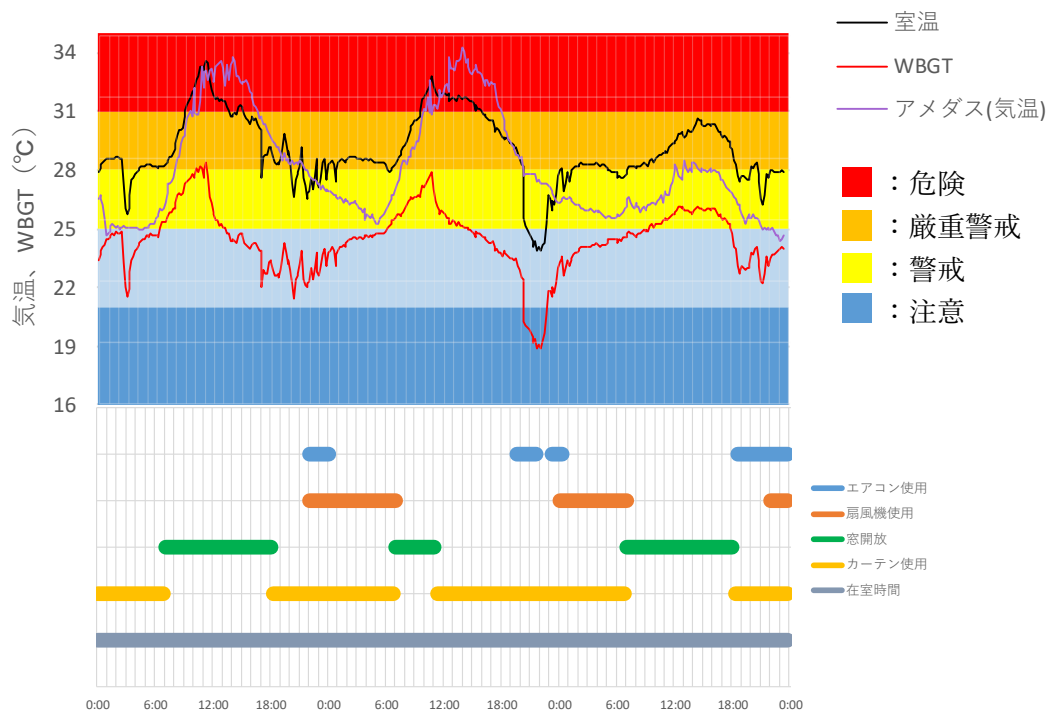
8/27-8/29 (28熱帯夜, 28アラート) (C鉄)



8/27-8/29 (28熱帯夜, 28アラート) (D木)



8/27-8/29 (28熱帯夜, 28アラート) (E木)



B鉄とC鉄は、エアコンを連続使用しており、エアコン使用中（在室中）はWBGT 25°C（熱中症警戒）を下回っている。いずれの世帯も就寝中の熱中症リスクは低いと推察される。

注目すべき点は、B鉄の室温とWBGTの関係である。B鉄では、室温が 28°C 近くまで上がる時間帯があるにもかかわらず、WBGTは低く維持されており、WBGT 22°C を下回る時間もあった。これは、B鉄では、エアコンの除湿機能を使用し、エアコンの設定温度は高めにしていたためである。

熱中症の原因となる要素は、気温（室温）、湿度、輻射熱である。WBGT（暑さ指数）は、これら3要素から算出される値であり、これら3つの要素の人への影響は同等ではなく、湿度の影響が最も大きい。熱中症対策には、湿度を抑えることが有効である。

エアコンの除湿機能を活用する方法は、室温を冷やし過ぎずに熱中症対策ができるので、冷やすことが苦手な高齢者や子どもがいる家庭などでは、効果的なエアコンの使用方法と考えられる。

D木は熱帯夜であった 28 日に、窓を開け、カーテンは閉めて過ごしている。不在の昼間に室温は外気温を超えており、夜間に窓を開放しているが室温低下は進まず、室温が外気温よりも高い状態が朝まで継続している。夜間も、室温は 28°C 以上、WBGT は 25°C 以上（熱中症警戒以上）である。昼間に暑くなった室内空気を外気と入れ替える十分な換気が必要である。

E木は、19 時頃から 0 時までエアコンを使用し、その後（就寝中）はエアコンを停止させ、扇風機のみを使用している。エアコン使用中は、気温とWBGTが大きく低下しているが、エアコンを停止し扇風機のみになると間もなく気温、WBGTともに上昇している。就寝中の最高気温は 28°C を超え、WBGT も 25°C（熱中症警戒）近くに達している。

熱帯夜など、外気温が高い場合、扇風機だけではWBGTを低く保つことは困難であり、就寝中の熱中症が心配される。

## 7.3 農業環境における熱中症リスクの評価

### 7.3.1 目的

暑熱環境が厳しさを増す中、労働現場での熱中症の死亡数も増加している。

労働災害には農業も含まれ、農業県である本県にとって、農業従事者の熱中症リスクは重要な課題である。

また、農地は熱中症ハイリスクである高齢者の生活圏でもあり、高齢者が農作業の場面において死亡する事例も発生している。

今後も暑熱環境が厳しさを増すことが予測される中、農作業中の熱中症を防ぐため、農作業における熱中症リスクの評価を行うことが重要である。

そこで本調査では、農業従事者の暑熱環境を把握するため農作業現場において調査を実施し、熱中症リスクを評価する。

### 7.3.2 調査期間

8月4日～9月24日に実施した。

### 7.3.3 調査方法

栃木県農業試験場（宇都宮市瓦谷町）の協力を得て、ビニールハウス内、畑、水田に観測機器を設置した。

調査地点の周辺状況、調査地点概要は、図 7.27、図 7.28 のとおりであり、観測機器の設置状況は、図 7.29 のとおりである。

なお、農業従事者の作業時の暑熱環境を適切に把握するため、観測機器は、地上から 1.2m 程度の高さに設置した。

図 7.27 調査地点の周辺状況



(出典：地理院地図 \_ GSI Maps)

図 7.28 調査地点概要

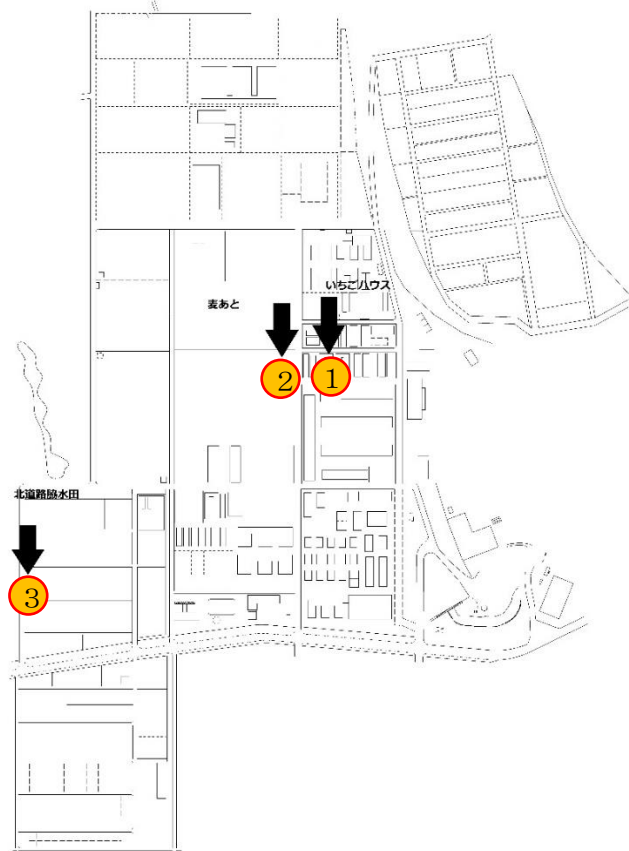


図 7.27 観測機器の設置状況



① ビニールハウス

② 畑

③ 水田

#### 7.3.4 結果

調査期間において、各天候別分類に該当する日は次のとおりである。

太字は熱中症警戒アラート発表日である。

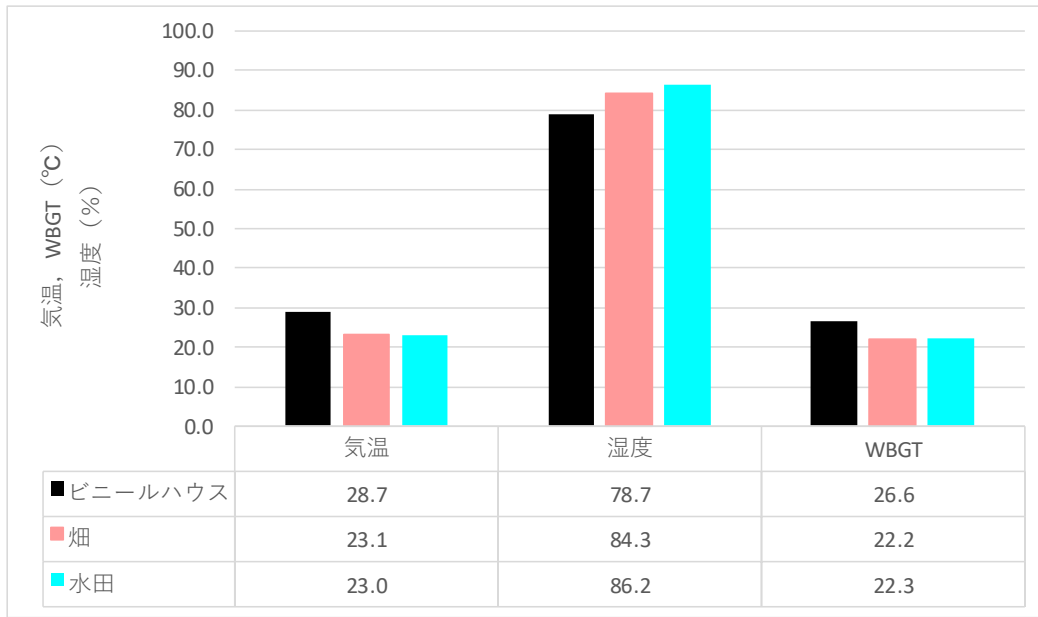
快晴日	曇天日	雨天日
<b>8月5日</b>	8月9日	8月13日
8月6日	8月16日	8月14日
<b>8月10日</b>	8月21日	8月15日
9月10日	8月25日	9月1日
9月19日	8月29日	9月4日
9月20日	9月5日	9月18日
9月21日	9月12日	
	9月14日	
	9月17日	

全調査期間における、各農業作業現場の気温、相対湿度、WBGT、それぞれの平均値を図 7.28 に示す。

ビニールハウスの気温は、畑や水田よりも 6℃程度高く、湿度は 6～8%程度低い。そのため、ビニールハウスの WBGT は他よりも 4℃程度高くなっている。

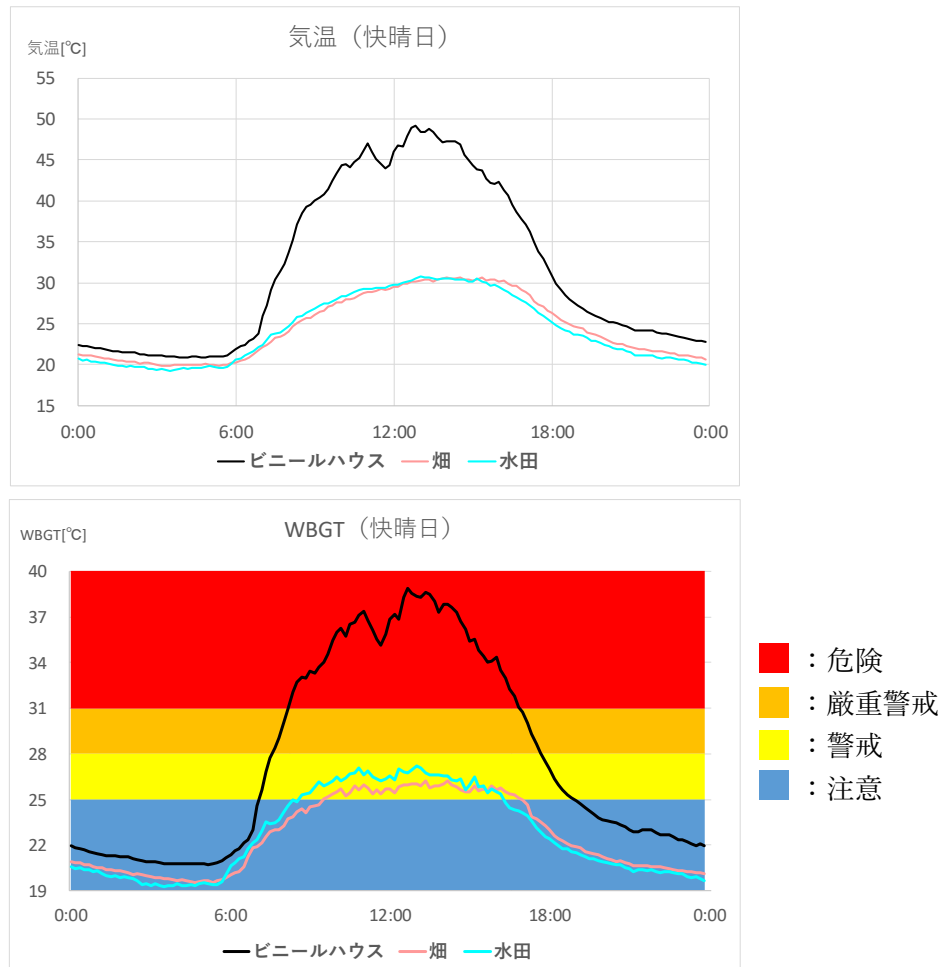
ビニールハウス内の WBGT の平均値は、熱中症警戒である 25℃を超える 26.6℃であり、それが平均値であることを考慮すると、ハウス内の暑熱環境は、かなり厳しいと推察される。

図 7.28 農作業現場における気象要素の基礎統計量



快晴日における気温とWBGTのアンサンブル平均値の日変化を、図 7.29 に示す。

図 7.29 快晴日における気温とWBGTのアンサンブル平均値による日変化





快晴日では、全ての農業作業現場において、5時30分頃から気温の上昇が始まった。ビニールハウスでは7時30分頃に、畑、水田では12時頃に30℃を超えた。

全ての農業作業現場において、13時頃に最高気温が観測された。その中でも、ビニールハウスが最も高く50℃程度であった。畑、水田では31℃程度まで上昇した。

ビニールハウスでは18時30分頃まで、畑、水田では17時頃まで気温が28℃以上であり、気温が高い時間が、長時間続くことが分かった。

WBGTは、その値（単位：℃）が大きいほど熱中症の危険性が高くなる指標であり、21～25：注意、25～28：警戒、28～31：嚴重警戒、31以上：危険（運動は原則中止）とされている。

WBGTは、全ての農業作業現場において、気温同様に5時30分頃から上昇が始まった。

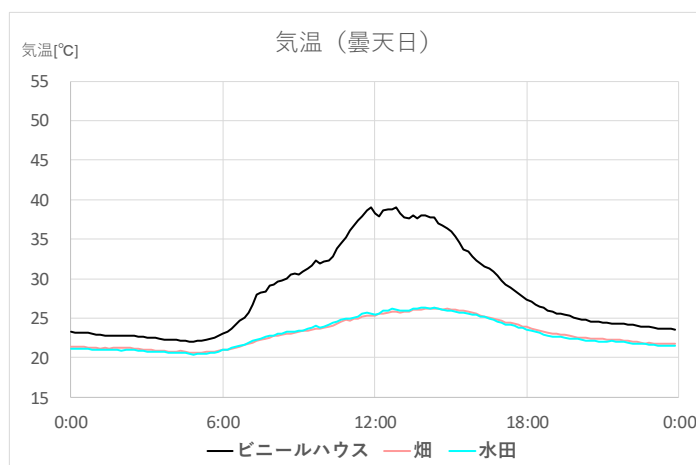
WBGT25℃（熱中症警戒）を超えたのは、ビニールハウスでは7時頃、畑では9時30分頃、水田では8時30分頃であった。その後も、ビニールハウスでは19時まで継続して熱中症警戒レベルを超えており、1日の半分は熱中症警戒レベル以上にあることがわかった。

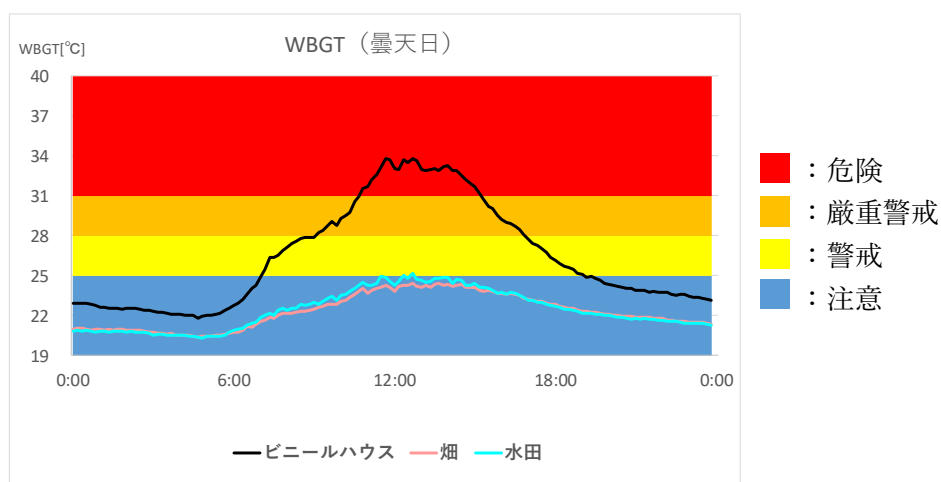
さらに、ビニールハウスでは、WBGT31℃（熱中症危険、運動原則中止）を8時頃から超え、その後17時頃まで続き、最高気温を観測した13時頃には、WBGTも最高となる39℃を観測した。これは、熱中症危険レベルの31℃をはるかに超えており、かなり危険な暑熱環境である。

畑、水田の気温には、あまり差がなかったが、WBGTでは若干の違いが認められ、畑よりも水田のWBGTが高い傾向を示していた。これは、湿度の違いによるものであり、水田は水の蒸発により湿度が高く、その結果WBGTが高くなったためと推察される。熱中症の原因となる要素は、気温（室温）、湿度、輻射熱であり、WBGT（暑さ指数）は、これら3要素から算出される値である。また、3つの要素の人への影響は同等ではなく、湿度の影響が最も大きい（気温の7倍）。水田に関しては、水辺は周辺環境を冷却するという効果を期待できず、水があることが熱中症リスクを上げると思われた。

次に、曇天日における気温とWBGTのアンサンブル平均値の日変化を、図7.30に示す。

図 7.30 曇天日における気温とWBGTのアンサンブル平均値による日変化





快晴日に比べると、曇天日の気温は5℃～10℃程度低い。しかし、気温が低いにも関わらず、快晴日同様に、全ての農業作業現場において、5時30分頃からWBGTの上昇が始まった。ビニールハウスでは7時頃に、水田では12時30分頃に、WBGT25℃（熱中症警戒）を超えた。

ビニールハウスでは、10時30分頃からWBGT31℃（熱中症危険、運動原則中止）を超え、その状態が15時30分頃まで続いた。特に、最高気温を観測した13時頃には、ビニールハウスのWBGTも最高となり、39℃を観測した。これは、熱中症危険レベルの31℃をはるかに超える状況であり、曇天日であっても、かなり危険な暑熱環境であることがわかった。

ビニールハウスにおいて、WBGT25℃（熱中症警戒）以上を観測した時間は、7時から19時までの12時間であり、この点についても快晴日と同様の変化であった。

畑、水田においては気温に大きな変化はなく、WBGTについても若干の差はあるが、同じように推移した。水田では、12時30分頃にWBGT25℃（熱中症警戒）を超えた。その後、わずかに低下し、WBGT24℃程度を推移した。WBGT25℃を超えてはいないが、警戒レベルに近い状態が16時頃まで続いた。

## 7.4 暑熱対策による効果の把握

### 7.4.1 目的

近年の暑熱環境は年々厳しさを増しており、熱中症は必ずしも日射の影響が大きい屋外で発症するだけではない。実際に、栃木県での熱中症による救急要請時の発生場所では、住居が最も多く、2021年においては全体の48%を占めている。そのため、住環境での暑熱対策は重要であり、暑熱状況に応じてエアコンを利用することが呼びかけられている。

しかし、一方では、地球温暖化対策のため、省エネルギーも求められている。

また、エアコンの冷気を好まない人もあり、暑熱対策には工夫が必要である。

そこで、住居に手軽に設置できる暑熱対策用品（シェード、すだれ、遮熱シート）の暑熱緩和効果を検証した。

### 7.4.2 調査期間

8月5日～9月7日に調査した。

### 7.4.3 調査方法

暑熱対策用品以外の影響を極力排除するため、集合住宅の空室（4室）を利用して調査を行った。全て同じ間取りであり、3室には暑熱対策用品（各1種）を設置し、1室は比較対象のため何も対策をしなかった。

観測機器は、暑熱対策用品を設置した各室の室内側、対策を講じない部屋の同じ場所に設置した。

調査中は、換気を行わず、窓や扉は締切り、カーテンを設置しない状態とした。

また、バルコニーに観測機器を1台設置し、屋外環境を調査した。

調査を行った建物の外観および各室の位置は、図7.31のとおりであり、使用した暑熱対策用品の種類及び設置状況は、表7.3及び図7.32に示したとおりである。

図 7.31 設置場所概要

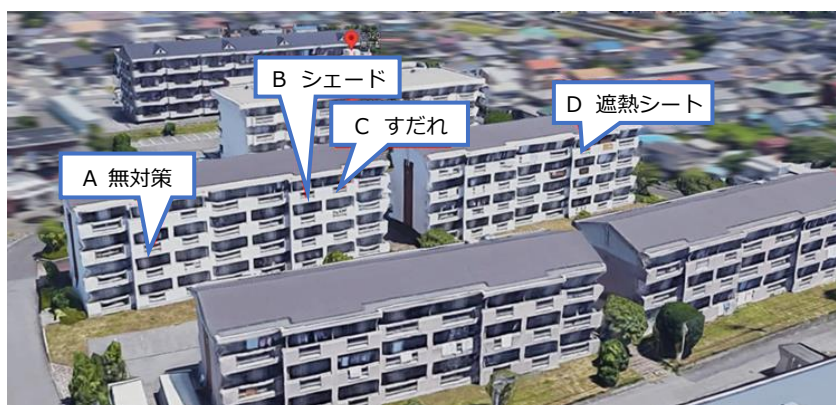


表 7.3 暑熱対策用品の種類と設置場所

室記号	A※	B	C	D
暑熱対策用品	なし	シェード	すだれ	遮熱シート

※：バルコニーに、外気温を測定用の観測機器を設置

図 7.32 暑熱対策用品等の設置状況



A 無対策（ベランダ）



A 無対策（室内）



B シェード（ベランダ）



B シェード（室内）



C すだれ（ベランダ）



C すだれ（室内）



D 遮熱シート（室内）



D 遮熱シート（室内）

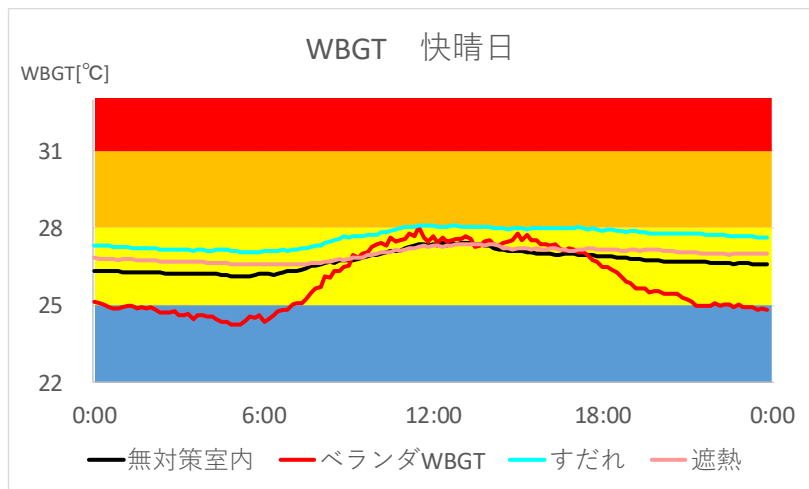
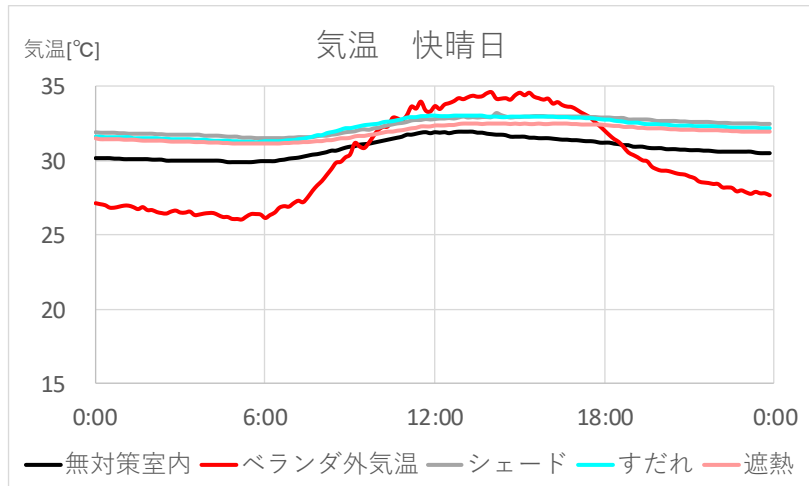
#### 7.4.4 結果

調査期間において、各天候別分類に該当する日は次のとおりである。

快晴日	曇天日	雨天日
8月5日	8月9日	8月13日
8月6日	8月16日	8月14日
8月10日	8月21日	8月15日
	8月25日	9月1日
	8月29日	9月4日
	9月5日	

快晴日のアンサンブル平均値を用いた「暑熱対策用品ごとの気温とWBGT」の日変化を図7.33に示す。

図7.33 快晴日における室温及びWBGTのアンサンブル平均値



- : 危険
- : 嚴重警戒
- : 警戒
- : 注意

快晴日における1日の気温（室温）の変化を見ると、いずれの室内も昼夜の変化が小さく、2～3℃程度であった。「無対策室」と「暑熱対策用品を設置した3室」を比較すると、1日を通して「無対策室」の方が2℃程度低く推移していた。

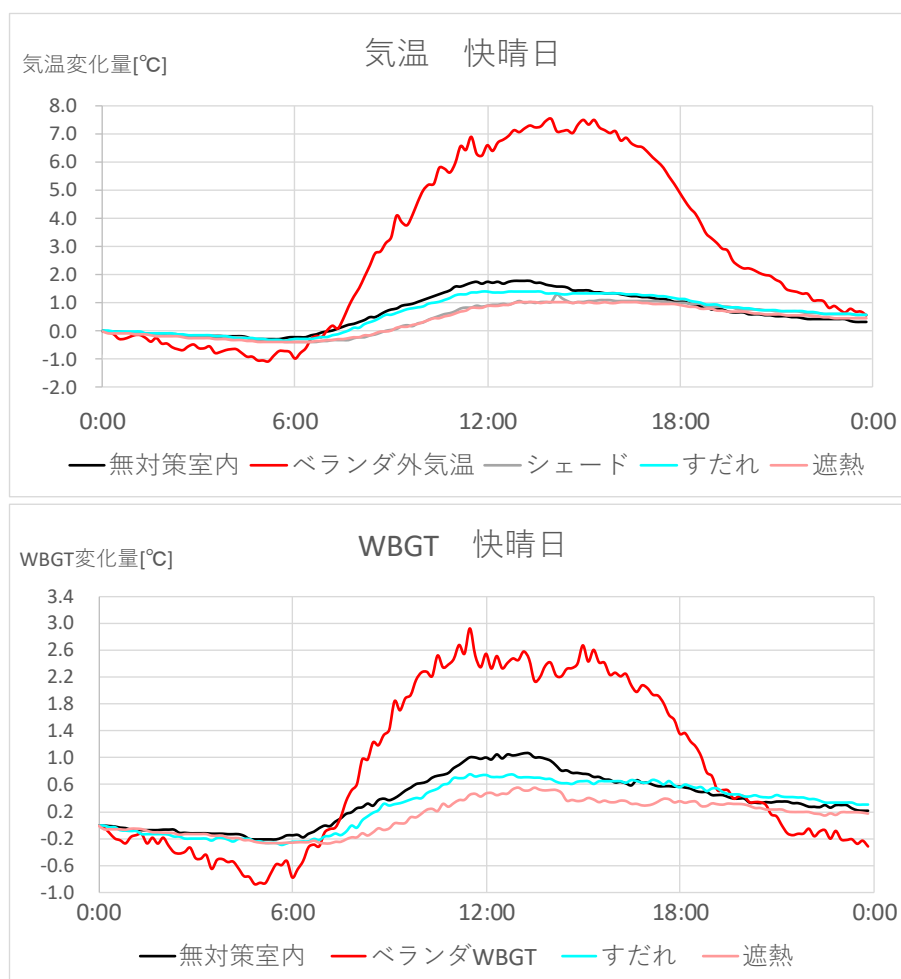
また、WBGTの変化を見ると、気温と同様に、昼夜の変化は1～2℃程度と小さい。「無対策室」と「暑熱対策用品を設置した3室」を比較すると、「無対策室」の方がわずかに低く推移していた。

なお、曇天日及び雨天日においては、昼夜の変化はほとんどなかった。

1日を通して見たときに、「暑熱対策用品を設置した3室」よりも「無対策室」の方が、気温とWBGTがわずかに低く推移したことについては、1日を通した気温変化の傾向に大きな差異が見られないこと、晴天日以外は4室の気温差がほとんどないことから、部屋の場所等立地による無対策室の熱慣性（熱しにくさ、冷えにくさの度合い）が、他の3室と若干異なるために生じた可能性があると思料する。「無対策室」のみが3階であり、「他の3室」は最上階の4階である。3階の方が、屋根からの熱影響が緩和された可能性がある。

そこで、本調査では、室間の気温差ではなく、1日の気温の変化量に着目し、暑熱対策用品を活用することで、気温の変化にどの程度差異が生じるかを解析することとした。具体的には、4室それぞれの午前0時の気温を0℃となるように調整し、その後の変化量を解析した。解析結果を図7.34に示す。

図 7.34 快晴日における気温及びWBGTの変化量



気温やWBGTの変化量が小さい（上昇しない）ほど、暑熱対策効果が高いと考えられる。  
図 7.34 のとおり、気温の変化量が最も大きかったのは「無対策室」であった。一方、気温の変化量が最も小さかったのは「シェード設置室」と「遮熱シート設置室」であり、この2室の気温変化量は、ほぼ同様であった。具体的な変化量は、「無対策室」は 1.8℃程度であったのに対し、「すだれ設置室」は 1.4℃程度、「シェード設置室」と「遮熱シート設置室」では 1.0℃程度であった。

気温が上がり始める時刻を見ると、「無対策室」は5時頃であり、早朝（日の出ごろ）から気温上昇が始まっていた。「暑熱対策用品設置3室」については、いずれも7時頃であり、「無対策室」より2時間程度遅かった。

また、「無対策室」は気温の上昇角度が急であり、変化量も大きい、「暑熱対策用品設置3室」は気温の上昇角度が緩やかで、「無対策室」に比べて気温の変化量が小さかった。

これらのことから、暑熱対策用品は、太陽光や熱を遮ることで、窓を由来とする暑熱をやわらげ、室温上昇を抑える効果があることがわかった。

## 第8 まとめ

地球温暖化による気温上昇が進み、生活に様々な影響をもたらしている（気候変動影響）。

また、都市化の影響（ヒートアイランド現象）による気温上昇も問題となっている。

宇都宮市（宇都宮地方気象台）の年平均気温は、100年あたり約2.4℃上昇しているが、このうち1.6℃程度はヒートアイランド現象によるものと推測される。

しかし、市街地に樹木があり、農地が近在する本県では、ヒートアイランド現象が実感されず、暑熱対策（熱中症対策）が効果的になされていないことが危惧される。

そこで、効果的な熱中症対策に関する普及啓発等に活用し、県民の熱中症リスクに対する適応力向上を図る基礎資料とするため、都市化が進んだ宇都宮市において、「都市化率の異なる3地区（4エリア）を対象とした外気環境」、「一般住宅室内環境」、「農業作業環境」、「暑熱対策用品の効果」に関する調査を行った。

### 8.1 ヒートアイランド現象の実態把握と熱中症リスクの評価

都市化率の異なる地区（商業地区、住宅地区、農業地区）での外気環境調査を行ったところ、商業地区だけでなく、住宅地区においてもヒートアイランド現象が認められた。

なお、ヒートアイランド現象の主な原因は、次の3点であるといわれている。

- ▶ 人工排熱の増加（建物や工場、自動車などの排熱）
- ▶ 地表面被覆の人工化（緑地の減少とアスファルトやコンクリート面などの拡大）
- ▶ 都市形態の高密度化（密集した建物による風通しの阻害や天空率の低下）

昼間の気温に関しては、地区の差がほとんどなく、快晴日の昼間のヒートアイランド強度は、商業地区よりも住宅地区の方が大きい（ヒートアイランド現象が強い）ことがわかった。

また、WBGT（暑さ指数）平均値の比較では、昼間は商業地区よりも住宅地区や農業地区の方が高く、夜間には商業地区が最も高かった。

これは、昼間の気温やヒートアイランド強度は、日射によるところが大きく、昼間は天空率（地表から空が見える割合）の高い場所では、日射の影響を強く受けるためと考えられる。

一方、昼間の商業地区のWBGTが低い要因は、建物により日射が遮られたことで、輻射熱を反映する黒球温度が抑制されたためと考えられる。

住宅地区でも建物が密集し、都市化率（ $U_i$ ）が高く、ヒートアイランド現象が起きており、特に昼間は商業地区よりも熱中症のリスクが高いことが分かった。

また、熱中症リスクの低下には、日射を遮ることが有効であることが分かった。

都市化率との関係では、夜間においては、土地被覆率が高い（土地が建物や舗装などで被覆されている）ほど気温やWBGTが高くなり、特に、WBGTは土地被覆率との関係性が極めて高いことが分かった。

具体的には、都市化率が最も高い商業地区のヒートアイランド強度（農業地区との気温差）が、夕刻から上昇し、高いままに明け方まで推移していることがわかった。

これは、建物や路面に蓄えられた熱が夜間に持ち越されること、夜間は都市の熱が地表付近に滞留すること、高い建物があるために夜間の放射冷却が進まないこと等、夜間特有の要因がある



ためである。

土地被覆率が高い場所では、夜間の熱中症リスクに対して、より注意が必要だと分った。

## 8.2 様々な住環境における熱中症リスクの評価

熱中症は、日射や気温の影響が大きい屋外だけのものではなく、屋内でも注意が必要である。本県における熱中症の救急搬送要請時の場所は、住居が最も多く、2021年には全体の48%を閉めている。

そこで、実際に生活が行われている一般住宅（6世帯）で調査を行い、住居における熱中症リスクを評価した。

調査した世帯には、エアコンを利用していてもWBGTが上昇し、WBGT25℃（熱中症警戒）を超えている世帯があった。外気温や日射の影響で、エアコンの効果が上がらない場合が予想される。外気温、湿度、日射の変化を考慮して、エアコンの設定温度だけでなく、室温計やWBGT計の値を目安に対策すると熱中症予防に有効であると思われる。

就寝までエアコンを使用し、就寝中はエアコンを停止して扇風機のみ運転していた世帯があった。エアコン停止後、すぐに室温、WBGTともに上昇し、就寝中のWBGTが25℃（熱中症警戒）近くまで上がっていた。

熱中症は、朝方に発症する場合も多く、就寝中の高温や高湿度には注意が必要である。

エアコンの設定温度は高めにして、エアコンの除湿機能を使用し、室温は低くないがWBGTは低く維持（熱中症リスクが低い）している世帯があった。

熱中症の原因となる要素は、気温（室温）、湿度、輻射熱であり、WBGT（暑さ指数）は、これらから算出される値であり、これら3要素の人への影響は同等ではなく、湿度の影響が最も大きい。熱中症対策には、湿度を抑えることが有効である。

エアコンの除湿機能を活用する方法は、室温を冷やし過ぎずに熱中症対策ができるので、冷やすことが苦手な高齢者や子どもなどには、効果的なエアコンの使用方法である。

## 8.3 農業環境における熱中症リスクの評価

暑熱環境が厳しさを増す中、労働現場での熱中症死亡者数も増加している。

農業県である本県にとって、農業従事者の熱中症リスクは大きな問題である。

そこで、農業従事者の暑熱環境を把握するため、畑、水田、ビニールハウスにおいて調査を実施した。

快晴日では、全ての場所で5時30分頃から気温が上昇し、畑と水田では17時頃まで、ビニールハウスでは18時30分頃まで28℃以上の状態が続き、高温が長時間続くことが分かった。

快晴日に、WBGT25℃（熱中症警戒）を超えたのは、ビニールハウスは7時頃、水田は8時30分頃、畑は9時30分頃だった。

ビニールハウスばかりでなく、水田や畑も、日の出とともにWBGTが上昇し、日が高くなる

前から熱中症警戒レベルに達しており、注意が必要である。

水田は畑よりもWBGTが高い傾向にあった。これは、湿度の違いによるものであり、水田に関しては、水辺は周辺環境を冷却するという効果を期待できず、水があることが熱中症リスクを上げると思われた。

曇天日の気温は、快晴日に比べて低い。しかし、畑と水田のWBGTは 25℃（熱中症警戒）に達しており、労働（運動）することを考慮すると、日射が弱くても十分注意が必要である。

また、ビニールハウスのWBGTは、快晴日も曇天日も、最高 39℃まで上昇した。熱中症危険レベルのWBGT31℃をはるかに超えており、曇天であってもかなり危険な環境である。

日の出から 2～4 時間程度で熱中症警戒レベル（WBGT28℃）になり、いずれの場所でも農業従事者の暑熱環境は、厳しいことがわかった。特にビニールハウス内での日中の作業はできる限り控えるとともに、熱中症リスクの高い高齢者の農作業などは、朝であっても、曇天であっても、十分注意が必要である。

#### 8.4 暑熱対策用品による効果の把握

熱中症は屋内でも注意が必要であり、エアコン等を効果的に使用することが呼びかけられている。

しかし、一方で、地球温暖化対策のための省エネルギーも求められている。

そこで、容易に設置することができる暑熱対策用品（シェード、すだれ、遮熱シート）の効果を検証した。

各暑熱対策用品を設置した 3 室と無対策室について、1 日の気温の変化を比較した。

無対策室に比べ、暑熱対策用品を設置した 3 室は気温の変化は小さく、気温が上昇し始める時刻も無対策室よりも 2 時間程度遅かった。

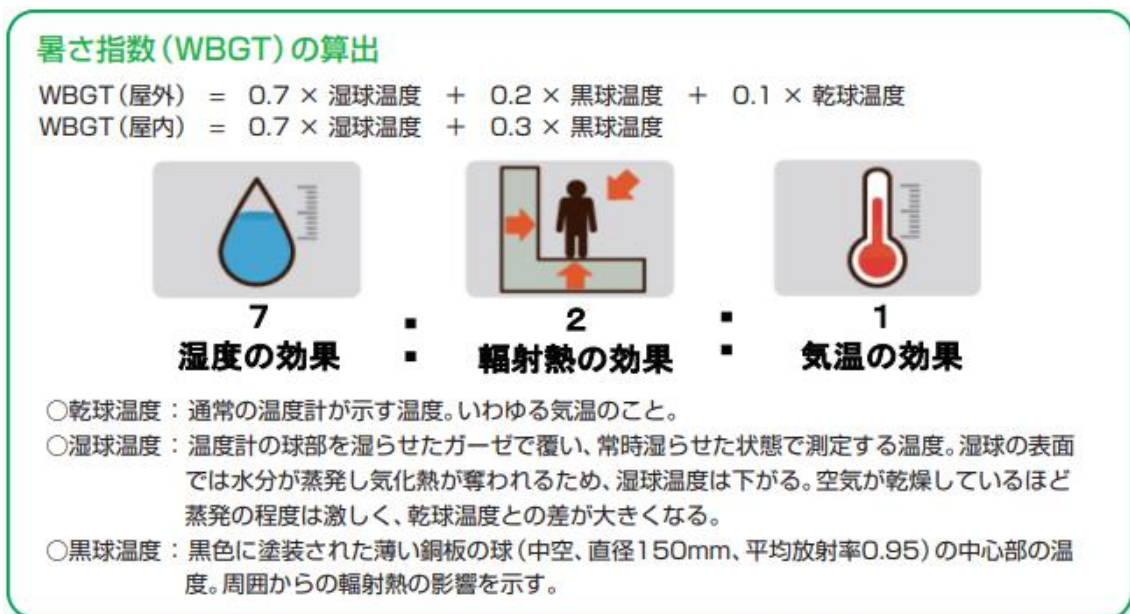
暑熱対策用品は、どの用品においても、太陽光や日射を遮ることで暑熱をやわらげ、室温上昇を抑える効果が認められた。省エネルギーの観点からも、取り入れたい暑熱への適応策である。

## 参考資料（出典：環境省 熱中症予防情報サイト）

熱中症を引き起こす条件として「環境」は重要ですが、我が国の夏のように蒸し暑い状態では、気温だけではリスクは評価できません。

熱中症のリスクを評価する指標にWBGT（Wet Bulb Globe Temperature：湿球黒球温度）があります。WBGTは、1954年にアメリカで提案された指標で、現在は熱ストレスの評価指標としてISO7243で国際的に規格化されています。人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目し、人体の熱収支に与える影響の大きい①湿度、②日射・輻射等による周辺の熱環境（輻射熱）、③気温の3つを取り入れた指標です。

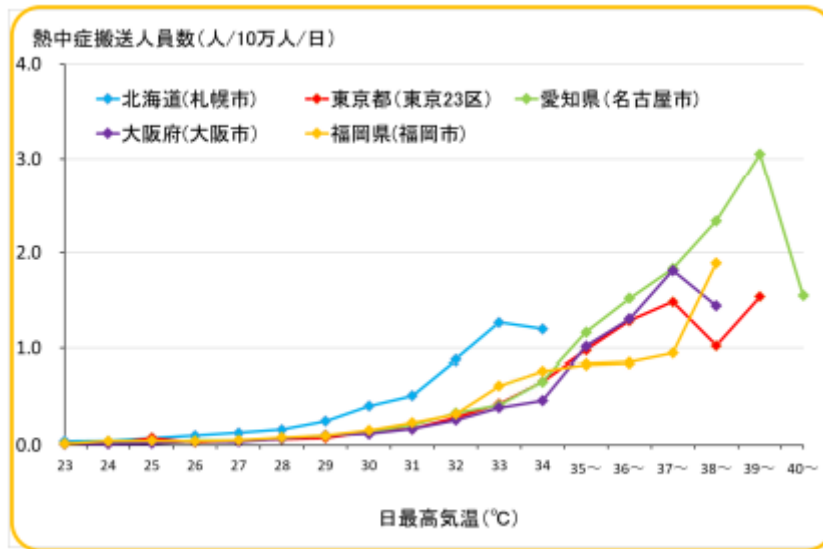
図I WBGTの算出方法



図IIと図IIIは、平成20年から令和元年までの主要都市の熱中症救急搬送人員数データを基にそれぞれ、日最高気温と熱中症患者救急搬送人員数、日最高暑さ指数（WBGT）と熱中症患者救急搬送人員数の関係を示したものです。日最高気温の上昇に対しては必ずしも単調ではない（図II）ですが、図IIIからは、WBGTが28℃（厳重警戒）（北海道では26℃）を超えると熱中症による救急搬送人員数が著しく増加する様子が分かります。

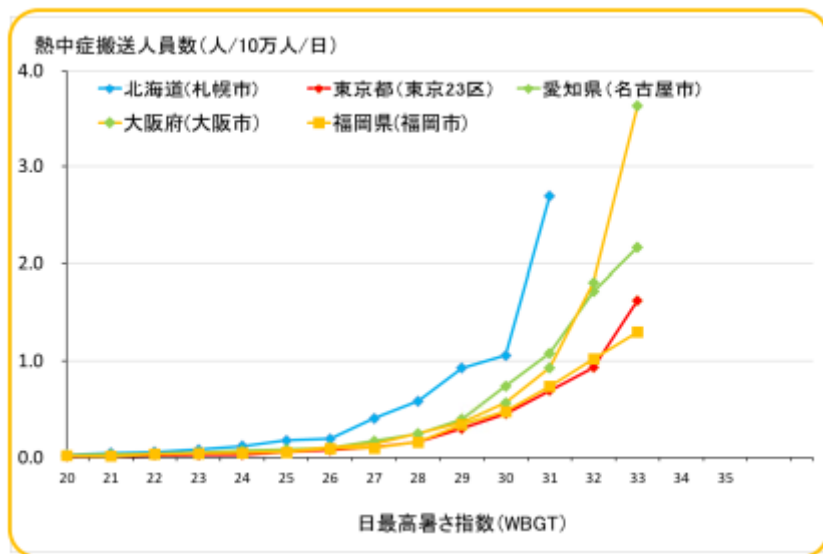
図Ⅱ 日最高気温別熱中症救急搬送人員数（人/10万人/日）

（出典：環境省・熱中症予防対策ガイドンス）



図Ⅲ 日最高暑さ指数（WBGT）別熱中症救急搬送人員数（人/10万人/日）

（出典：環境省・熱中症予防対策ガイドンス）



WBGTは運動環境や労働環境の指針として有効であると認められ、公益財団法人日本スポーツ協会では「熱中症予防運動指針」、日本生気象学会では「日常生活に関する指針」があり、WBGTに応じて表Ⅰに示す注意事項が示されています。また、労働環境では世界的には ISO7243、国内では JIS Z 8504「人間工学－WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価－暑熱環境」として規格化されています。

表 I 暑さ指数に応じた注意事項等

(出典：環境省・熱中症環境保健マニュアル 2018)

暑さ指数 (WBGT)	注意すべき生活活動の目安 <sup>(注1)</sup>	日常生活における注意事項 <sup>(注1)</sup>	熱中症予防のための運動指針 <sup>(注2)</sup>
31℃以上	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	<b>運動は原則中止</b> 特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合は中止すべき。
28～31℃		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。	<b>厳重警戒</b> 激しい運動や持久走は避ける。積極的に休息をとり、水分塩分補給。体力のない者、暑さになっていない者は運動中止。
25～28℃	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。	<b>警戒</b> 積極的に休息をとり、水分塩分補給。激しい運動では、30分おきくらいに休息。
21～25℃	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。	<b>注意</b> 死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意。運動の合間に水分塩分補給。

(注1) 日本気象学会「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3」(2013)より

(注2) 日本体育協会「熱中症予防のための運動指針」(2013)より

## 引用文献

- 1) 重田祥範他、大阪平野を対象とした街区構造ごとの大気熱環境特性－小型計測機器を用いた定点型観測－、日本ヒートアイランド学会第3回全国大会要旨集、98-99、2008.
- 2) 中井誠一、熱中症の疫学、日本臨床、70、934-939、2012.
- 3) 大和広明他、寒候期の晴天静穏夜間における長野市のヒートアイランド現象と冷気湖、山風との関係、E-journal GEO、14、197-212、2019.
- 4) 佐藤真由美他：岡山県倉敷市における夏季ヒートアイランド現象の長期観測、Naturalistae、15、23-30、2011.
- 5) 高橋信人他、東日本大震災後に建設された仮設住宅の室内気候：岩手県宮古市での通年観測に基づく温湿度の実態、季刊地理学、67、22-38、2015.
- 6) Stewart et al. , Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations, International Journal of Climatology, 34, 1062-1080, 2013.
- 7) 環境省、平成 10 年度ヒートアイランド現象に関する対策手法検討調査報告書、1999,  
<https://www.env.go.jp/air/report/h20-04/chpt2.pdf> (2022年2月21日閲覧)
- 8) 藤部文昭、都市のヒートアイランド、天気、54、9-12、2007.