# 高齢者住居における暑熱環境調査の解析

## １．目的

地球温暖化及びヒートアイランド現象等に起因して、本市を含め、全国的に熱中症の被害が増加傾向にあり、特に高齢者（65 歳以上）の被害が多く、市内の熱中症救急搬送者数の約半数を占めている。また、熱中症の発生場所として「住居」が最多であることから、効果的な熱中症予防につながる取組の基礎資料として活用することを目的として、高齢者住居における暑熱環境調査を実施し、データ解析を行った。

## ２　実施機関

川崎市環境局環境総合研究所都市環境担当（川崎市気候変動情報センター）
株式会社ウェザーニューズ※

※本調査研究は、本市が採択された環境省の「令和３年度地方公共団体における効果的な熱中症対策の推進に係るモデル事業」において、株式会社ウェザーニューズと共同で実施したものである。共同実施における役割としては、株式会社ウェザーニューズが測定機器の手配、暑熱環境データの監視を行い、川崎市気候変動情報センターが暑熱環境データの解析を行った。

## ３　調査内容

市内在住の高齢者 20 世帯の住居に対して、居間等に小型の測定機器を設置し、夏期の約１か月間、暑熱環境モニタリング調査を実施した。

## ４　調査方法

（１）　調査期間

令和３年 7 月 28 日～８月 29 日（計 33 日間）

（２）　調査対象

市内在住の高齢者を含む 20 世帯の住居
⇒解析の参考として居住者に対してヒアリングを実施した。
ヒアリング項目：
主なエアコン使用時間帯、機器設置場所、同居家族の有無、建物種類（戸建 or 集合住宅）、築年数など

（３）　測定機器

WxBeacon2（株式会社ウェザーニューズ独自の IoT センサー：図１）２０台
設置場所：生活の中心となる場所（居間等）に設置（１世帯１台設置）

（４）　測定項目

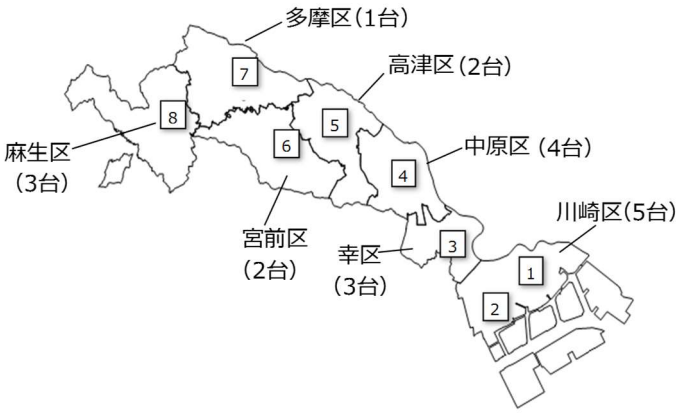
気温（室温）、相対湿度、ＷＢＧＴ（暑さ指数）等の暑熱データを５分毎に観測（図２）
解析では１時間平均値を使用した。

（５）外気温データ

市の大気環境常時監視システムによる一般環境大気測定局８地点（図３）の気温データ（１時間値）を使用
⇒最寄りの測定局の外気温と室温データを比較

図１　WxBeacon2 の写真

図２　測定データイメージ




| 区 | 機器台数 | 外気温データ |
|---|---|---|
| 川崎区 | 5台 | 1 大師局　2 田島局 |
| 幸区 | 3台 | 3 幸局 |
| 中原区 | 4台 | 4 中原局 |
| 高津区 | 2台 | 5 高津局 |
| 宮前区 | 2台 | 6 宮前局 |
| 多摩区 | 1台 | 7 多摩局 |
| 麻生区 | 3台 | 8 麻生局 |

図３　一般環境大気測定局の設置地点及び各区における測定機器の台数

## ４　解析方法

調査期間中の 20 世帯のデータに対して、室温と外気温を比較し、目視によりエアコン使用判定を行った（図４）。エアコン使用判定方法は、外気温に対して室温が連動していないデータをエアコン使用と判定し、エアコンの使用判定時間数を集計した。具体的な解析方法としては、エアコン使用判定時間数別にグループ分けを行い、各グループのＷＢＧＴデータを比較した。また、個別世帯のデータを使用して、ＷＢＧＴ、湿度データの解析を行った。

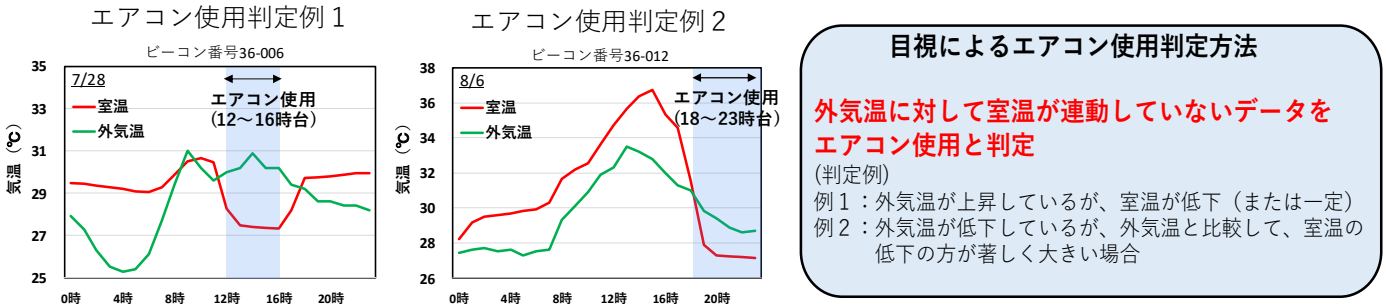



図４　目視によるエアコン使用判定方法の例

## ５　調査結果

### 5.1 エアコン使用判定時間数の集計結果

調査期間 33 日間における各世帯のエアコン使用判定時間数を集計したデータを図５に示す。測定機器（WxBeacon2）の管理番号であるビーコン番号（36-001～36-020）について、36-014、36-016 は、調査期間の半分程度がデータ欠測であったため、集計対象外としている。

図５から、エアコン使用判定時間の割合に応じて、「小グループ（エアコン使用判定時間割合：20%以下）」、「中グループ（エアコン使用判定時間割合：30～55%）」、「大グループ（エアコン使用判定時間割合：80～100%）」の３つのグループに分類した。なお、ビーコン番号 36-017 はエアコン使用判定時間数が 0 時間であるが、これは、調査期間中にエアコンを１度も使用していないことをヒアリングで確認している。また、ビーコン番号 36-009 は、エアコン使用判定時間数が 792 時間（使用判定時間割合：100%）であるが、これは、自動空調システムで、常に空調が稼働していることをヒアリングで確認している。

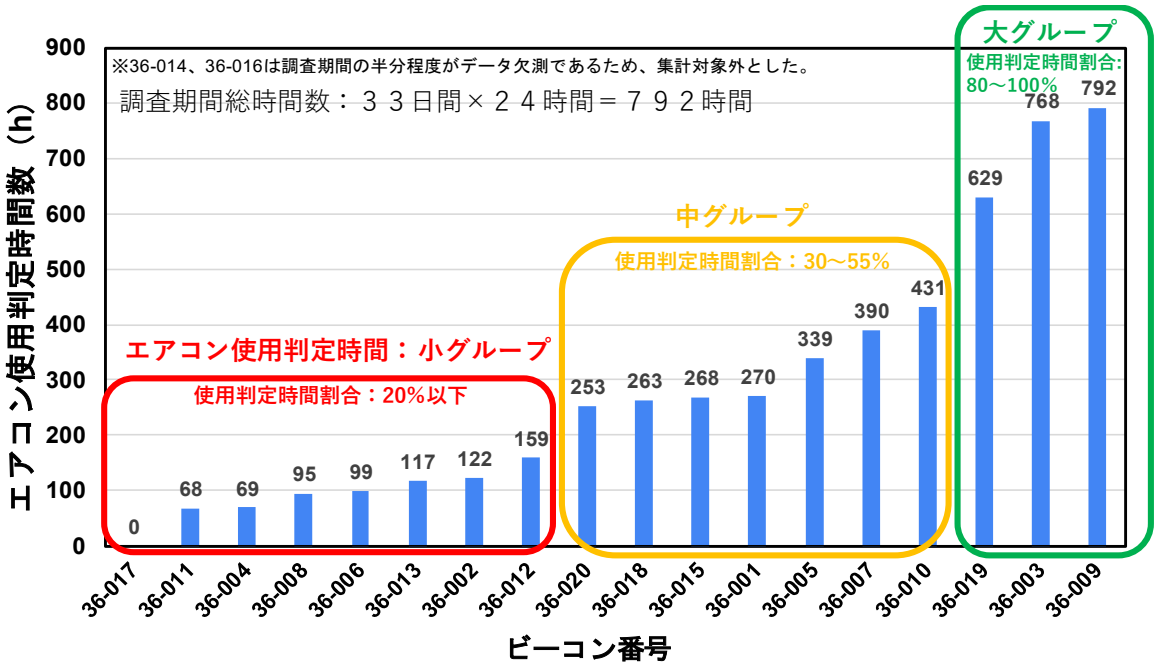



図５　各世帯におけるエアコン使用判定時間数の集計結果

### 5.2 各グループにおける室内ＷＢＧＴの比較

5.1 でエアコン使用判定時間の割合に応じて、「小グループ」、「中グループ」、「大グループ」の３つのグループに分類した。各グループにおける暑熱環境を比較するために、各グループのＷＢＧＴ（１時間平均値）の度数分布を図６に示す。また、ＷＢＧＴの基準として、「日常生活に関する指針（日本生気象学会）」を表１に併せて示す。図６は、調査期間（33 日間＝792 時間）における各世帯のＷＢＧＴ（１時間平均値）の度数分布を、グループごとに平均化して作成したデータである。表１で、「厳重警戒」及び「危険」の区分では、注意すべき生活活動の目安として「すべての生活活動でおこる危険性」とされているため、図６で、「厳重警戒」及び「危険」の時間数の割合を比較した。その結果、「小グループ」では、「厳重警戒」の時間数が分布全体の 47%、「危険」の時間数が分布全体の 2%を占めていた。一方、「中グループ」では、「厳重警戒」の時間数が分布全体の 15%、「大グループ」では、「厳重警戒」の時間数が分布全体の 5%を占め、両グループにおいて、「危険」の時間数は 0%であった。このことから、「小グループ」では、調査期間の約半分の時間が「厳重警戒」以上のＷＢＧＴの基準であるため、「小グループ」の住環境で長時間過ごす場合、「中グループ」、「大グループ」と比較して、熱中症リスクが著しく高いと考えられる。ただし、「厳重警戒」及び「危険」の時間数には、居住者が外出により不在にしている時間も含まれるため、「厳重警戒」及び「危険」の時間数が、居住者が受ける室内の熱中症リスクと一致しているとは限らない点に留意する必要がある。

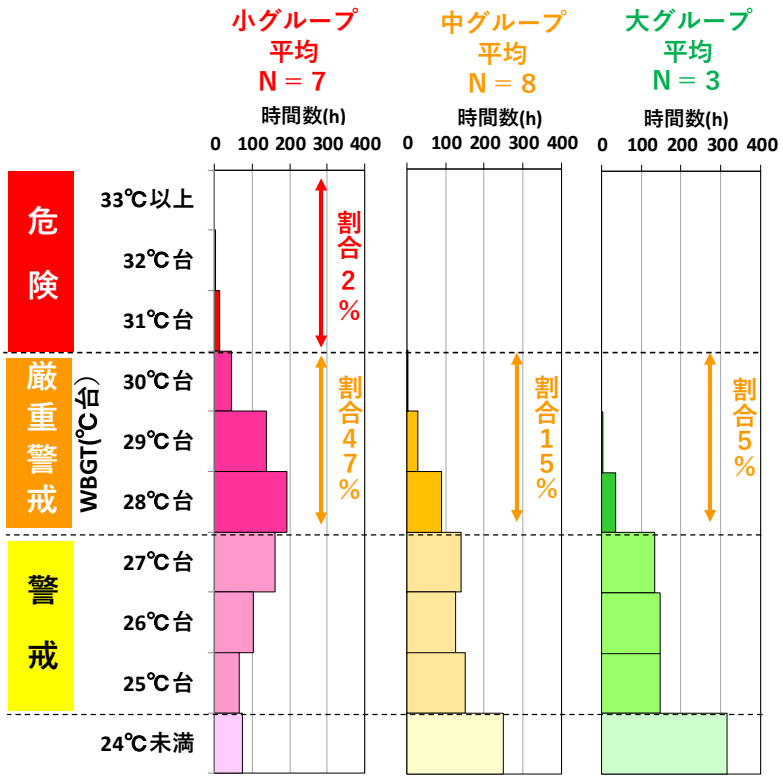



図６　各グループにおけるＷＢＧＴの度数分布（グループ平均値）

| 温度基準<br>WBGT | 注意すべき<br>生活活動の目安 | 注意事項 |
|---|---|---|
| 危険<br>31℃以上 | すべての生活活動で<br>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。<br>外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。 |
| 厳重警戒<br>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。 |
| 警戒<br>25～28℃ | 中等度以上の生活活動<br>でおこる危険性 | 運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休息を取り入れる。 |
| 注意<br>25℃未満 | 強い生活活動でおこる<br>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。 |

※ここで、28～31℃、25～28℃とはそれぞれ 28℃以上 31℃未満、25℃以上 28℃未満の意味である

表１　日常生活に関する指針
出典：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 3（日本生気象学会、2013）

### 5.3 エアコン使用による室温、絶対湿度、ＷＢＧＴの経時変化

5.3 以降では、個別データを使用した解析結果について示す。図 7 は、ビーコン番号 36-006 の住居内における室温、絶対湿度、ＷＢＧＴの経時変化のグラフであり、エアコンを使用することにより室温及び絶対湿度が低下し、これに伴いＷＢＧＴが低下している。ビーコン番号 36-006 の住居内では、エアコンの使用パターンがシンプル（日中の暑い時のみエアコンを使用）であるため、この住居内の暑熱データを使用して、エアコン使用による暑熱改善効果の解析を行った。

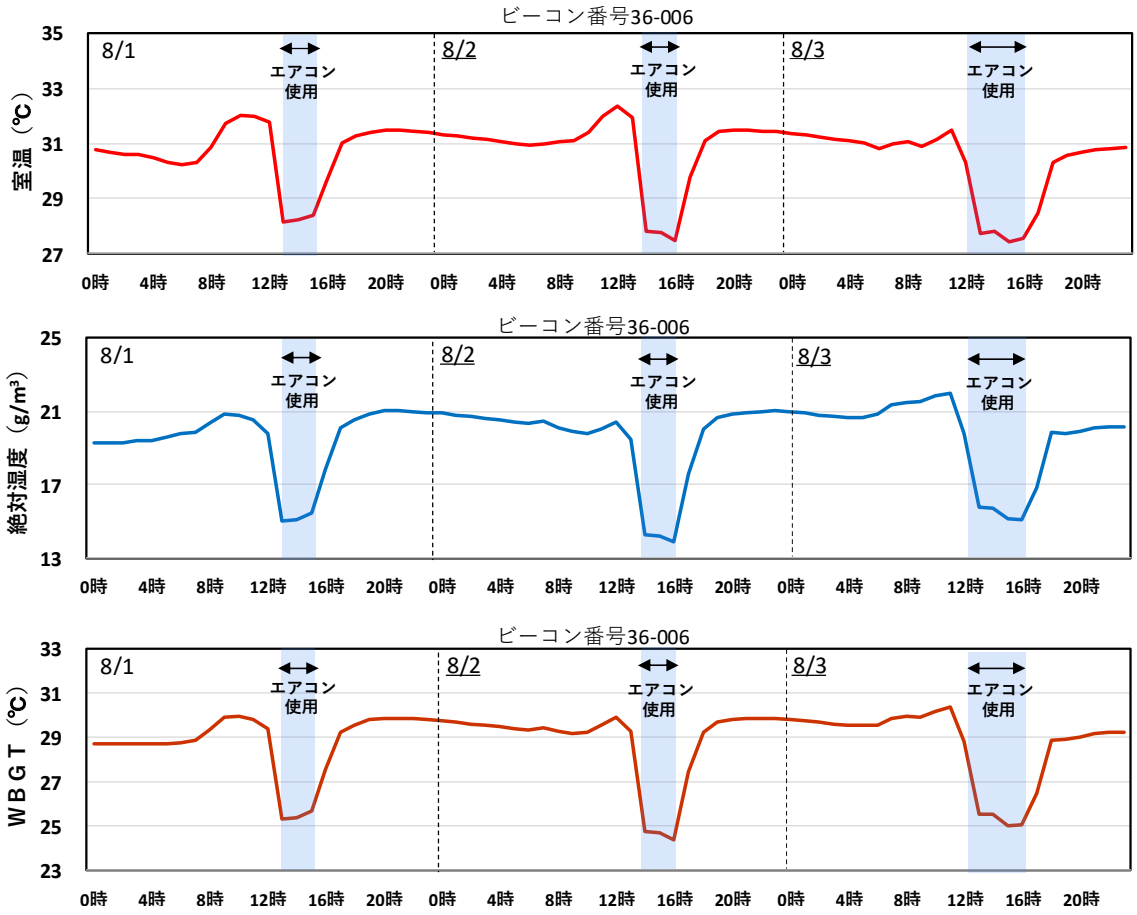



図７　ビーコン番号 36-006 の住居内における室温、絶対湿度、ＷＢＧＴの経時変化

### 5.4 エアコン使用によるＷＢＧＴ低下と室温低下の比較

5.3 でエアコン使用による室温の低下とともにＷＢＧＴの低下を確認したが、室温の低下に対して、ＷＢＧＴがどれだけ低下したかを調べるために、図８のとおり、エアコン使用によるＷＢＧＴ低下分の最大値を求め、併せてそのときの室温の低下分を求めた。

図９は、ビーコン番号 36-006 の住居内において、エアコン使用のあった計 22 日分の「ＷＢＧＴ低下分」、「室温低下分」、「ＷＢＧＴ低下分／室温低下分」である。「ＷＢＧＴ低下分」は、３～６℃程度の範囲であり、平均 4.4℃であった。一方、「室温の低下分」は、２～５℃程度の範囲であり、平均 3.6℃であった。「ＷＢＧＴ低下分／室温低下分」は、104～147%の範囲であり、平均 124%であった。これらのことから、エアコンを使用することにより、室内のＷＢＧＴが室温の低下分を上回るほど大きく低下することがわかった。これは、エアコン使用により室内の室温が低下するだけでなく、除湿効果により絶対湿度が低下することが大きいためであると考え、5.5 でその効果を定量的に試算した。

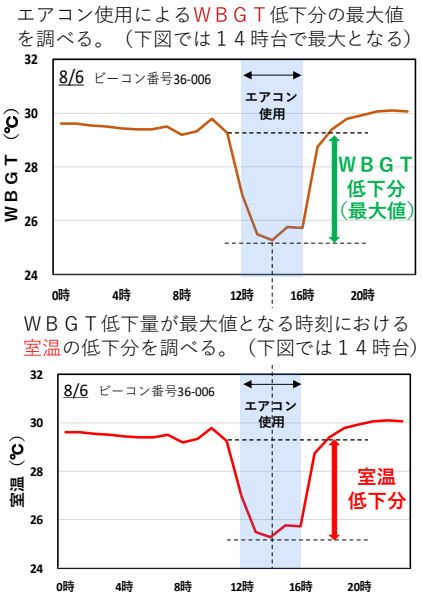



図８　エアコン使用によるＷＢＧＴ低下分及び室温低下分

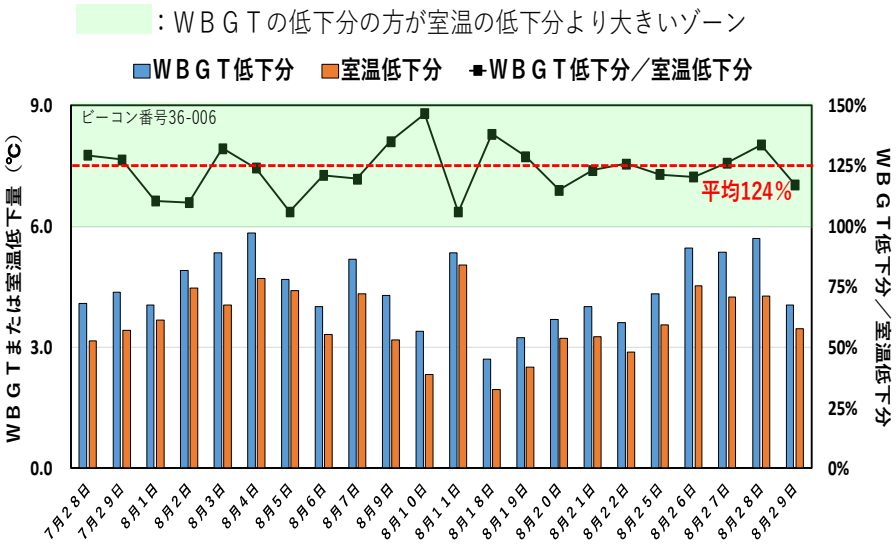



図９　エアコン使用によるＷＢＧＴ低下分と室温低下分の比較

### 5.5　エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率の試算

5.4 でエアコンを使用すると室内のＷＢＧＴが室温の低下分を上回るほど大きく低下することがわかり、この低下には、エアコン使用の除湿効果が大きいと述べた。この効果について、定量的に把握するため、エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率の試算を行った。以下、試算の方法及び試算の一例（図 10）を示す。

屋内でのＷＢＧＴの算出式[1)]は次のとおりである。

$$WBGT = 0.7 \times 湿球温度 + 0.3 \times 黒球温度 \qquad (1)$$

室温または絶対湿度が低下すると（１）式の湿球温度が低下する。このため、エアコンを使用した場合、室温と絶対湿度の低下に伴い湿球温度が低下するが、これには室温の低下分と絶対湿度の低下分が含まれる。（図 10①）

↓

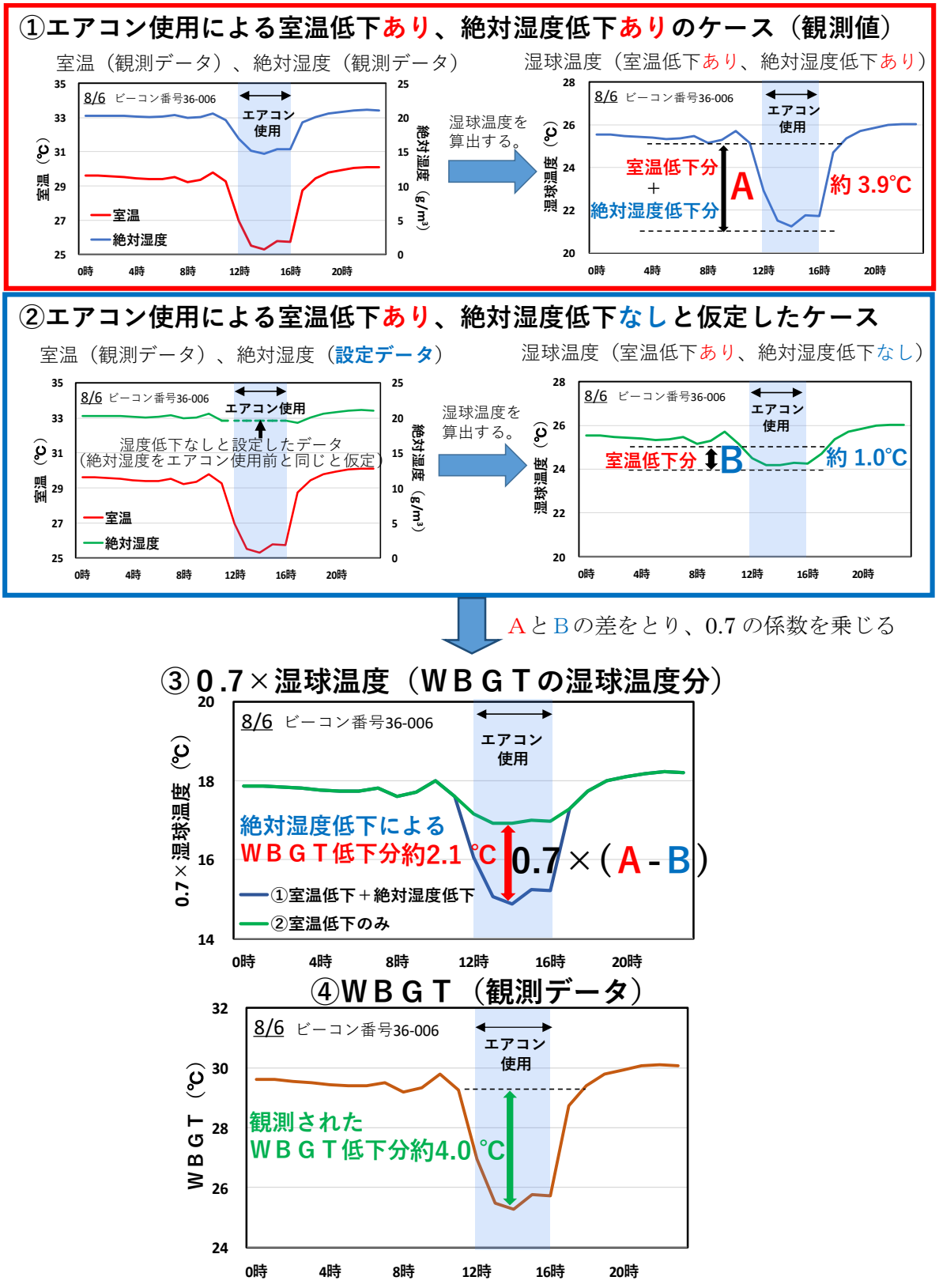
湿球温度の室温の低下分のみを算出するために、エアコンの室温による室温低下はあり、絶対湿度低下はなしと仮定する。室温データは図 10①と同じ観測値を使用し、絶対湿度のデータはエアコン使用時間帯において、エアコン使用前の絶対湿度と同じに設定する。これらのデータを用いて、湿球温度を算出し、この湿球温度の低下分は室温の低下分のみ含まれる。（絶対湿度は低下しないと設定したため、湿球温度に絶対湿度の低下分は含まれない。）（図 10②）

↓

湿球温度の低下分（室温の低下分＋絶対湿度の低下分）から室温の低下分の差をとることで絶対湿度の低下分を算出する。これに 0.7 の係数を乗じ、絶対湿度低下によるＷＢＧＴ低下分を算出する（図 10③）。

↓

観測されたＷＢＧＴの低下分で除することで、エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率を算出した（図 10④）。




**エアコン使用によるＷＢＧＴ低下分の湿度の寄与率**

$$= \frac{\text{絶対湿度低下によるＷＢＧＴ低下分（③）}}{\text{観測されたＷＢＧＴ低下分（④）}} \times 100 = \frac{\text{約2.1℃}}{\text{約4.0℃}} \times 100 = \mathbf{51\%}$$

図 10　エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率の試算例

エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率について、エアコン使用のあった計 22 日分のデータを図 11 に示す。寄与率は、46～54%の範囲であり、平均 50%であったことから、エアコン使用によるＷＢＧＴの低下に除湿の効果が平均 50%あると試算した。このことから、エアコンの使用は、室温の低下だけでなく除湿によりＷＢＧＴを大きく低下させることがわかった。

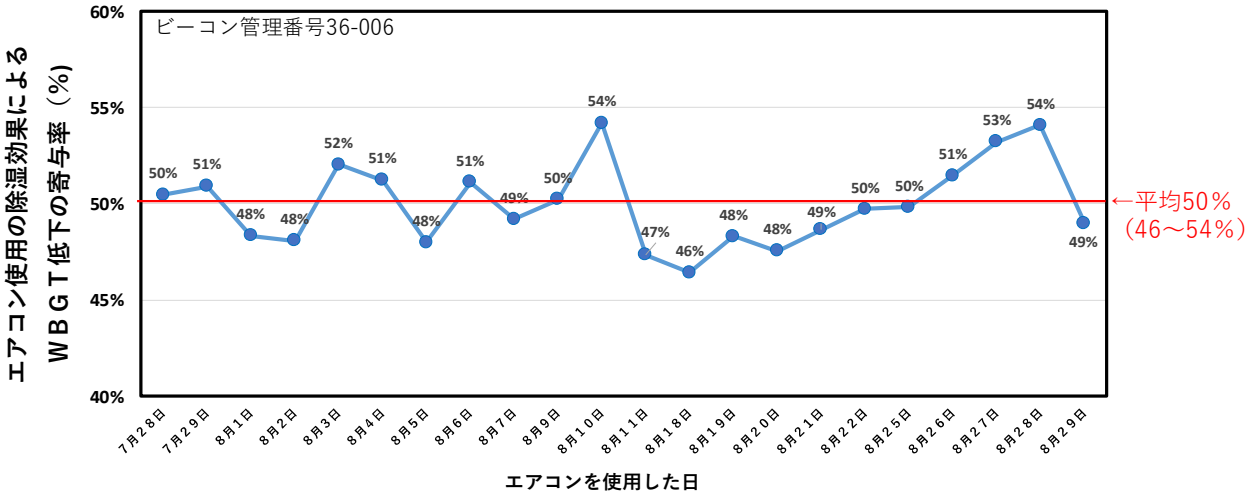



図 11 エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率（エアコン使用計 22 日分データ）

### 5.5 戸建住宅と集合住宅（マンション）の室温及びＷＢＧＴの経時変化の比較

戸建住宅と集合住宅の室温の経時変化の比較を図 12 に示す。８月２７日のケースから、戸建住宅は、外気温が高い日中に室温が上昇しやすい傾向にあった。また、８月１７日のケースから、集合住宅（マンション）は、外気温が低い夜間において室温が下がりにくい傾向にあった。これらのことから、戸建と集合住宅で室温の経時変化に違いがあることがわかり、経時変化のパターンを考慮して効果的にエアコンを使用することが大切であると考えられる。

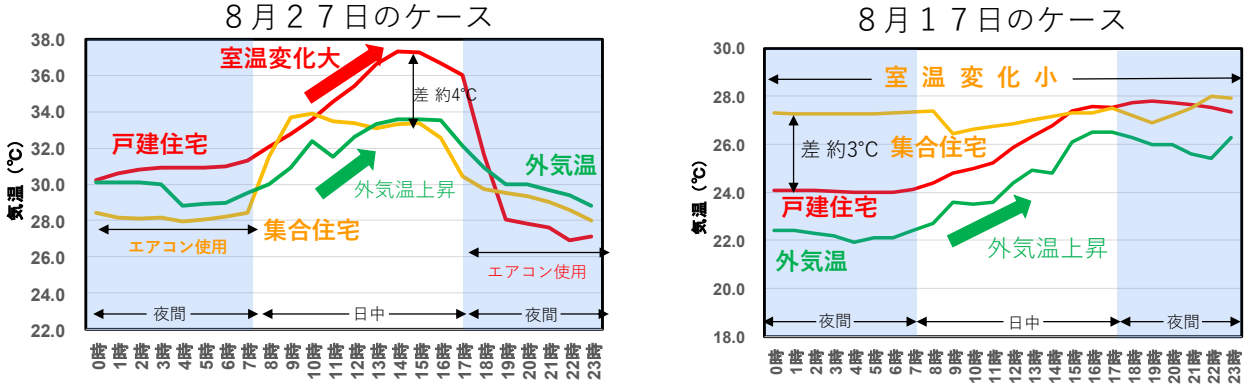
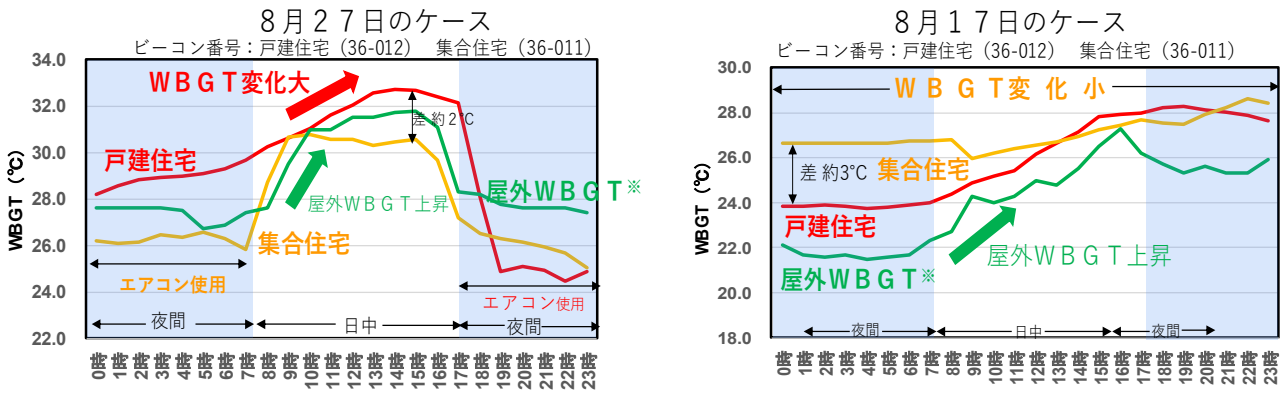



図 12　戸建住宅と集合住宅（マンション）の室温の経時変化の比較

戸建住宅と集合住宅のＷＢＧＴの経時変化の比較を図 13 に示す。８月２７日のケースから、戸建住宅は、屋外ＷＢGT が高い日中にＷＢＧＴが上昇しやすい傾向にあった。また、８月１７日のケースから、集合住宅（マンション）は、屋外ＷＢGT が低い夜間においてＷＢＧＴが下がりにくい傾向にあった。これらのことから、戸建住宅と集合住宅でのＷＢＧＴの経時変化は、室温と概ね同様の傾向であることがわかった。




※屋外ＷＢＧＴは、大気常時監視一般局データの気温、湿度、風速、日射量データから小野ら（2014）の推定式を用いて算出

WBGT＝0.735×Ta＋0.0374×RH＋0.00292×Ta×RH＋7.619×SR－4.557×SR2－0.0572×WS－4.064

Ta は気温（℃）、RH は相対湿度（%）、SR は全天日射量 kW/m2)、WS は平均風速(m/s)

図 13　戸建住宅と集合住宅（マンション）のＷＢＧＴの経時変化の比較

## 6 まとめ

・エアコン使用判定時間の割合に応じて、「小グループ（エアコン使用判定時間割合：20%以下)」、「中グループ（エアコン使用判定時間割合：30～55%)」、「大グループ（エアコン使用判定時間割合：80～100%)」の３つのグループに分類した。(5.1)

・エアコン使用判定時間数の「小グループ」では、調査期間の約半分の時間が「厳重警戒」以上のＷＢＧＴの基準であるため、「小グループ」の住環境で長時間過ごす場合、「中グループ」、「大グループ」と比較して、熱中症リスクが著しく高いと考えられる。(5.2)

・エアコンを使用することにより、室内のＷＢＧＴが室温の低下分を上回るほど大きく低下することがわかった。 (5.3)

・エアコン使用の除湿効果によるＷＢＧＴ低下の寄与率を試算したところ、その寄与率は平均 50%あり、エアコンの使用は、室温の低下だけでなく除湿によりＷＢＧＴを大きく低下させることがわかった。(5.4)

・戸建住宅は、外気温が高い日中に室温、ＷＢＧＴともに上昇しやすい傾向にある一方で、集合住宅（マンション）は、外気温が低い夜間において室温、ＷＢＧＴともに下がりにくい傾向にあった。このことから、戸建住宅と集合住宅での室内ＷＢＧＴの経時変化は、室温と概ね同様の傾向であることがわかった。(5.5)

## 文献

１）環境省：熱中症予防情報サイト「暑さ指数の詳しい説明」
https://www.wbgt.env.go.jp/doc_observation.php