

日常生活行動と暑熱環境の関係性分析

尾崎 平¹・櫻井 順平²・北詰 恵一³

¹正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail: ozaki_t@kansai-u.ac.jp

²非会員 八千代エンジニアリング株式会社 (元関西大学)

³正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

E-mail: kitazume@kansai-u.ac.jp

地球温暖化に伴う夏季の暑熱環境の悪化が熱中症の発症など人の健康に影響を与えている。現在、熱中症対策として暑さ指数 (WBGT) による危険度情報が環境省から示されているが、年間の熱中症による救急搬送数は 5~9 万件で推移しており、その対策が急務である。本研究では日常生活において暑熱曝露の影響は環境面だけでなく人の生活や行動が要因となり変化すると仮定し、一般市民の協力のもと、温湿度計、活動量計、GPS 端末を貸与し、ライフスタイルにおける暑熱環境の曝露状況を調査し、日常生活に潜む暑熱環境の危険性について考察した。その結果、暑さ指数で判断すると、平均として警戒レベルでの日常生活が送られており、日中はエアコンなどによる避暑行動がとられているが、睡眠中はやや暑熱環境が高い状態で過ごされている傾向が把握できた。

Key Words: heat exposure, heatstroke, WBGT, living space, daily life behavior

1. 緒論

地球温暖化に伴う夏季の暑熱環境の悪化が熱中症の発症など人の健康に影響を与えている。気象庁の「日本の夏の平均気温偏差の経年変化」によれば¹⁾、日本の夏の平均気温は、様々な変動を繰り返しながら上昇しており、100年あたり 1.1℃の割合で上昇していることが明らかにされている。また、都市部への人口流入が年々進むことによって道路や建物などの建設による地表面の人工被覆率が高くなることでヒートアイランド現象がより進行し、大阪府を見ても 100年間あたりの夏の平均気温が前述の全国平均を大きく上回る 2.1℃上昇している²⁾。この差の 1.0℃はヒートアイランドによる影響だと考えられており、今後、暑熱環境の悪化により日常生活の中で熱中症などの暑熱障害発生のリスクがさらに高まることが懸念される。また、環境省によると³⁾、累積分泌発汗量を指標とした歩行時における熱ストレスの軽減率について、ジャケット着用時を基準としてクールビス対策と日傘の併用で約 20%の熱ストレス軽減効果が見られることや、保水性のある舗道や木陰を歩行した場合、約 23%の熱ストレス軽減効果があることが明らかにされている。

このように、暑熱曝露時の影響差には暑熱環境の悪化だけでなく日常における生活空間の状況や生活行動などの様々な要因が考えられる。

現在、熱中症対策として暑さ指数 (WBGT ; wet-

bulb globe temperature, 湿球黒球温度) による熱中症予防情報が環境省から示されている⁴⁾が、年間の熱中症による救急搬送数は 5~9 万件で推移しており⁵⁾、その対策が急務である。

三坂ら⁶⁾は暑熱環境対策下において人の空間利用に対する研究を行い、公園を対象場所として利用者への心理申告や環境調査を行った結果、暑熱対策による施設利用者数増加の関係を明らかにした。山本ら⁷⁾は温度が高く設定された室内での安静座位時の心拍変動を解析した結果、自律神経機能の低下が確認できたことから、暑熱によって心拍変動に影響が生じることや心拍が暑熱曝露の生体影響の指標となりうることを明らかにした。このように、暑熱と空間、暑熱と生理的反応といった単数要因ごとの分析や、公園、室内といった局所的な場面を対象とした分析は多いが、暑熱と行動と空間といった複数要因で睡眠中も含んだ日常生活全体を対象として暑熱曝露分析は行われていない。

本研究では、暑熱環境が悪化するほど、活動時の生理的・心理的反応はマイナスな結果に近づくこと、また、現在の日本の環境状態と人々の生活様態、著しく変動する生活環境、生活行動には暑熱障害の発生リスクを大きく伴っていると仮説を立て、一般市民を対象に、日常生活においていつ、どこで、どの程度の暑熱に曝露されているのかを把握することを目的とする。

2. 調査概要と参加者属性

(1) 日常生活の暑熱環境調査の概要

実施期間は2019年7月15日～8月11日で、NPO法人の協力のもと、一般市民に参加募集を行い、19名を対象に日常生活の暑熱環境調査を行った。被験者には、上記の期間の4週間、活動量計(ムーブバンド 3WMB-03)、温湿度計(おんどとり TR-72wb)、GPS 端末 (FB-201)を装着あるいは持ち歩いてもらい、日常生活における歩数や睡眠の活動状態と曝露した温湿度、移動履歴を記録し、暑熱との関係性を分析した。調査概要を図-1に示す。また、各機器の計測間隔やデータの取り扱いについての一覧を表-1に示す。なお、2019年の梅雨明けは、気象庁によれば7月24日頃とされている。そのため、1週目(7/15～)は、梅雨明け前、2週目(7/22～)の途中に梅雨が明け、3、4週目(7/29～、8/5～)は、梅雨明け後の期間となる。

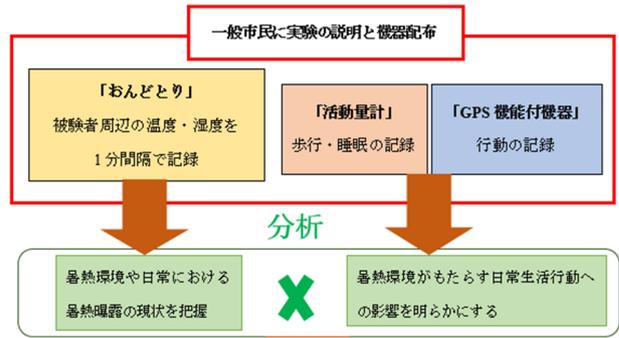


図-1 日常生活の暑熱環境調査の概要

表-1 各機器のデータの取り扱い

| 記録間隔 | 温湿度計 | | 活動量計 | | | |
|------|--------------------|----------|------------|----------|--------|------------------|
| | 1分間隔 | 近くに設置・持参 | 5分間隔 | 基本24時間装着 | | |
| 記録項目 | 温度 | 湿度 | 歩行状況 | | | 睡眠状況 |
| | | | 走行歩数 | 早歩き歩数 | 普通歩行歩数 | 浅い眠り 深い眠り 覚醒 |
| 使用方法 | WBGTに簡易推計(湿球℃-黒球℃) | | 5分間の総歩数を算出 | | | 「浅い眠り」と「深い眠り」に着目 |

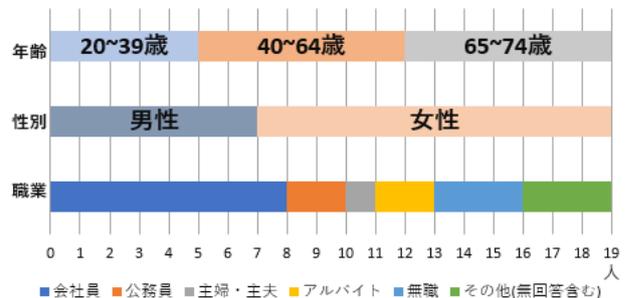


図-2 参加者の属性

(2) 参加者属性

本調査に協力いただいた19名の参加者属性を図-2に示す。年齢は20～39歳が5名、40～64歳が7名、65歳以上が7名である。また、性別は男性7名、女性12名とやや女性が多い。職業は、9名が会社員・公務員、他はパート、無職の方である。

(3) 評価指標 (WBGT)

WBGTは、労働環境や運動環境の指針として有効であると認められ、ISO-7243で規格化されている。わが国においては、日本生気象学会⁸⁾により、表-2のようにWBGTを基準とした日常生活に関する指針として、注意すべき生活活動の目安、注意事項が示されている。このため、予防指針として行動の目安と注意事項が理解できる特徴を有する。

本研究では、温湿度計で計測された温度と湿度のデータを式(1)を用いてWBGTに変換した。

本研究で用いたWBGT変換式は、黒球温度と湿球温度は等しいとした前提条件の下、気温と湿度のみを用いた簡易推計式である。

$$W = (H - 20) \times ((T - 40)^2 \times (-0.00025 + 0.185)) + 11/15 \times (T - 25) + 17.8 \quad (1)$$

ここで、W : WBGT[°C]、H : 湿度[%]、T : 温度[°C]を示す。

表-2 日本生気象学会による日常生活に関する指針⁸⁾

| WBGT, レベル | 注意すべき生活活動の目安 | 注意事項 |
|-----------------|-------------------|--|
| 31°C以上 危険 | すべての生活活動で起こる危険性 | 高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。外出はなるべくさけ、涼しい室内に移動する。 |
| 28～31°C 嚴重警戒 | | 外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。 |
| 25～28°C 警戒 | 中等度以上の生活活動でおこる危険性 | 子運動や激しい作業をする際は定量的に十分に休息を取り入れる。 |
| 25°C未満 注意 | 強い生活活動で起こる危険性 | 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。 |

3. 日常生活の暑熱環境調査結果および考察

(1) 調査期間中の平均 WBGT

a) 期間全体における WBGT

調査期間中の平均 WBGT を図-3 に示す。4週間の平均 WBGT を見ると、日常生活の中で WBGT25～28°C の「警戒」の範囲で過ごしていた方が 19 名中 15 名と約 8 割を占める結果であった。また、期間

中の 19 名の WBGT の平均値と標準偏差は 26.4 ± 1.2°C であったことから暑熱中症発症の危険性がある環境下での生活をしている人が多いといえる。また、平均でも、WBGT28°C 以上の「嚴重警戒」の範囲で過ごしている人も確認された。

b) 週別の平均 WBGT

次に調査期間中における週別の平均 WBGT を同様に図-3 上に、週別の平均 WBGT と標準偏差を図-4 に示す。なお、図-4 中の青色は調査で得た平均

WBGTで、橙色は7月15日から8月11日の気象庁のアメダスの大阪地点における時別の温湿度のデータから式(1)を用いて WBGT を算定し、平均値を求めたものである。

1週目から4週目の市民の平均 WBGT と標準偏差はそれぞれ $26.1 \pm 1.0^\circ\text{C}$, $26.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$, $26.7 \pm 1.7^\circ\text{C}$, $26.3 \pm 1.4^\circ\text{C}$ であり、2週目以降に平均 WBGT が増加傾向にあり、温度差も大きくばらつきが生じる結果であった。週別の平均 WBGT に有意な差は見られないものの、傾向として、梅雨明け前はやや低く (26.1°C)、梅雨明け直後は、やや高く (26.6°C , 26.7°C)、その後、やや低くなる (26.3°C) 傾向が見られた。アメダスデータに基づく平均 WBGT も梅雨明け後、上昇し、4週目はやや減少傾向にある。増減傾向は市民の観測値、アメダスの観測地とも同様の傾向であるが、2、3週目の上昇幅は、アメダスデータに基づく平均 WBGT の方が大きい。

c) 時間帯別の平均 WBGT

時間帯別の平均 WBGT を図-5 に示す。アメダスデータに基づく平均 WBGT は朝方が低く、日中は高いが、市民により観測された平均 WBGT は、朝 7 時~8 時に $27.3 \pm 1.4^\circ\text{C}$ で最大値をとり、14 時~15 時に $25.6 \pm 1.3^\circ\text{C}$ で最小値をとるという結果であった。また、平均 WBGT は朝 8 時まで増加傾向にあるが、その後 15 時まで減少傾向にあり、16 時からまた増加傾向が見られるという結果であった。

時間帯別の WBGT4 区分別での割合の平均値を図-6 に示す。14 時に「注意」の割合が約 45% で最大値をとり、7 時に約 13% で最小値となった。逆に「嚴重警戒」の割合は、7 時に約 53% で最大値をとり、14 時に約 23% で最小値となった。このように、日中では暑熱が和らいでいる環境で過ごす傾向が見られるが、夜に近づくにつれて曝露する WBGT 値が上昇し、暑熱の厳しい環境で過ごす割合が増え、就寝中から朝方にかけて安全とはいえない暑熱環境が続いていることが考えられる。

(2) 暑熱と睡眠状況の関係

a) 睡眠時における週別の平均 WBGT

睡眠時の週別の平均 WBGT を図-7 に示す。なお、本データは、睡眠時にも活動量計の着用に協力いただいた方のみを対象とする。1週目から「警戒」の範囲で睡眠している人の割合が 9 割を超え、2週目以降には「嚴重警戒」の範囲内での睡眠も見られた。1 日の中で睡眠時の暑熱環境が最も厳しい危険な環境であることが明らかになった。また、1週目から4週目までの平均 WBGT と標準偏差は、 $26.8 \pm 1.1^\circ\text{C}$, $27.4 \pm 1.6^\circ\text{C}$, $27.2 \pm 2.7^\circ\text{C}$, $26.7 \pm 3.3^\circ\text{C}$ であり、データのばらつきが徐々に拡大する結果となった。エアコンをつけるなどの対策を行った人は徐々に涼しい環境になり、対策を行わなかった人は厳しい暑熱環境の人は厳しいままの状態であったためと考えられる。

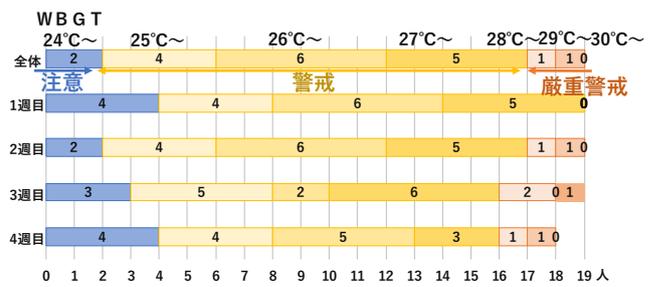


図-3 調査期間中の平均 WBGT

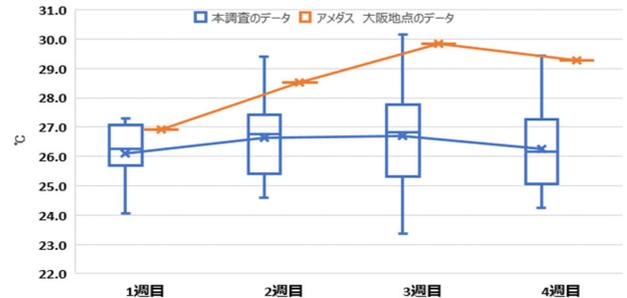


図-4 週別の環境場の様子

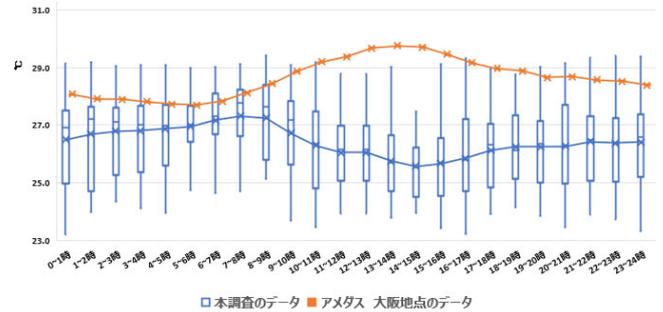


図-5 時間帯別の平均 WBGT

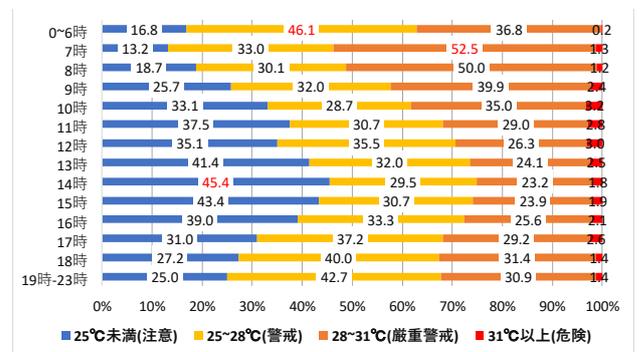


図-6 時間帯別の WBGT4 区分別の割合

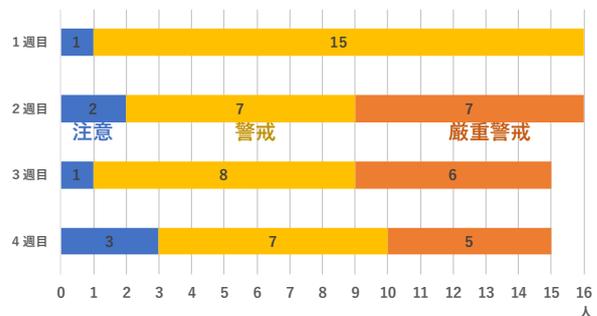
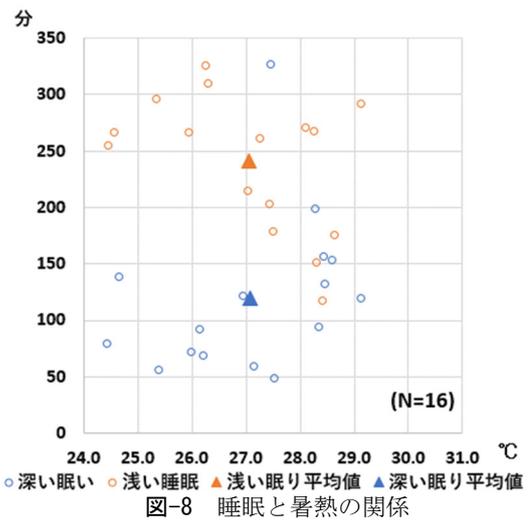


図-7 睡眠時の平均 WBGT

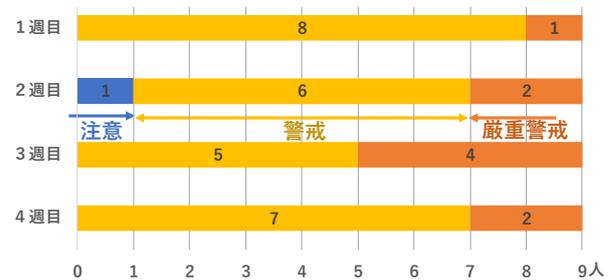
b) 睡眠の質と暑熱との関係性

暑熱環境が睡眠の質にネガティブな影響を与えるという仮説のもとで分析を行った。調査期間全体において被験者 16 名の睡眠中の浅い眠りと深い眠りの平均時間と平均 WBGT を図-8 に示す。また、浅い眠り時と深い眠り時において週別の平均 WBGT に差があるかを SPSS Statics25.0 を用いて有意確率 5% で t 検定を行った。その結果、どの週においても平均 WBGT と睡眠の質の違いに有意な関係は得られなかった(p>0.05)。睡眠状況は、暑熱以外の影響要因が存在すると予想され、暑熱が睡眠の質にネガティブな影響を与えるかを判断するのは難しい結果となった。



(3) 屋外歩行時の暑熱環境

本研究では GPS は起動中は外出中と判断し、5 分間の総歩行数 100 歩を閾値として総歩数 100 歩より多く歩いていた場合を屋外での外出行動を行ったと判断した。その条件の下で算出した歩行時の平均 WBGT を図-9 に示す。本結果より、人によっては、「嚴重警戒」の範囲で外出行動を余儀なくされている、あるいは行っている人が存在している。



次に、期間全体と週別の平均外出時間と平均 WBGT と標準偏差を表-3 に示す。期間全体における平均の外出時間と WBGT はそれぞれ、106 分と 27.3℃であった。週別による違いは外出時間、WBGT とも、差はほとんど見られない。いずれの週においても、100~110 分ほどの外出が見られ、平均 WBGT は 27~28℃となっている。

図-9 外出歩行時の平均 WBGT

表-3 週別の平均外出時間と平均 WBGT

| 期間 | 平均外出時間 (分) | WBGT(°C) 平均±σ |
|------|---------------|------------------|
| 期間全体 | 106 | 27.3±1.0 |
| 1W | 102 | 26.8±0.9 |
| 2W | 110 | 27.1±1.7 |
| 3W | 112 | 27.6±1.5 |
| 4W | 100 | 27.7±1.0 |

(4) 実施後の熱中症対策の変化

日常生活の暑熱環境調査の終了後、被験者に対して、今回の取り組みを通じて昨年に比べてより熱中症対策として実践するようになったことを質問した。その結果を図-10 に示す。

屋外では「水分をこまめにとる」が 9 名と最も多く、屋内では「就寝中にエアコンを使用」が 8 名で最も多い結果であった。また、「日傘・帽子の使用」や「暑い時間帯の外出は避ける・外出を控える」が共に計 10 名と多い結果であった。睡眠時間の確保や水分のこまめな摂取などを含め、日常生活ですぐにでも実践できるような熱中症発症リスク軽減対策や暑熱回避行動への意識が向上したといえる。

また、今後も継続して温湿度の計測を続けたい人が約 7 割を占め、自由記述でも「体感ではなく実際に温湿度計などの数値を見ることの重要性を知った」、「歩数を見て歩き足りないと思ったため夜に歩きに行く日もあった」といった回答が見られた。しかし、エアコンのオン・オフの基準に温湿度計の数値を用いるかどうかは意見が割れており、日常生活の中ですぐに温湿度が目視できるような装置を用いるのにまだ抵抗が見られるような結果であった。

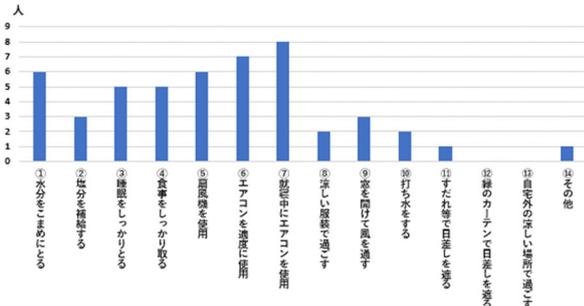
(5) 今後の熱中症対策

現状の日常生活における暑熱環境は、全体的に厳しい環境下であり、熱中症をいつ発症してもおかしくない環境の人もみられた。そのため、1 日のうちで暑熱が和らいでいる夕方以降に活動するようしたり、日中だけでなく就寝中もクーラーを使用したりなどの暑熱回避行動と、自身も熱中症を発症する可能性が十分にあるという自覚、意識を持つことが重要である。そのためにも、温湿度計などを用いた暑熱環境の見える化や、スマホアプリなどを利用した飲水アラームの活用などの支援が有用と考えられる。

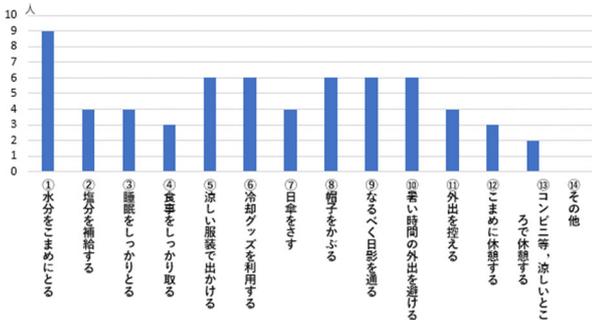
また、今回、開始時のアンケートにおいて、WBGT や熱中症の症状に関する事項を質問したが、WBGT について、定義を含めて知っている人はわずか 3 名であり、多くの人が知らないという状況であった。また、熱中症軽度・中等度・重度の症状についても十分な認識がされていない状況であった。このように熱中症に対する認識の低さも見られた。よって、日常的に熱中症に関して知るきっかけを与え、

熱中症への意識・理解を深める必要があると考える。そのため、今後は、より基本的な熱中症の症状や対策に関する情報提供を実践していくことが重要と考えられる。

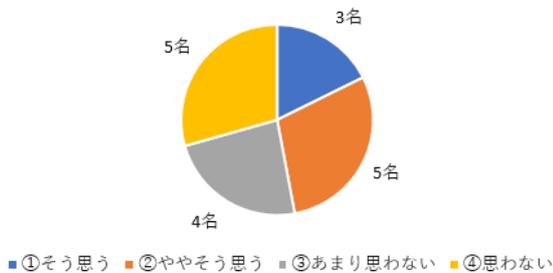
q. 自宅での熱中症対策として、昨年に比べてより実践するようになったことを全て選択してください(N=19, 複数回答可)



q. 屋外での熱中症対策として、昨年に比べてより実践するようになったことを全て選択してください(N=19, 複数回答可)



3) エアコンのオン・オフの判断に気温・湿度をみて決めるようになったと思うか? (N=17)



4) 今後、熱中症対策として、継続して温湿度を計測したいと思いませんか? (N=18)

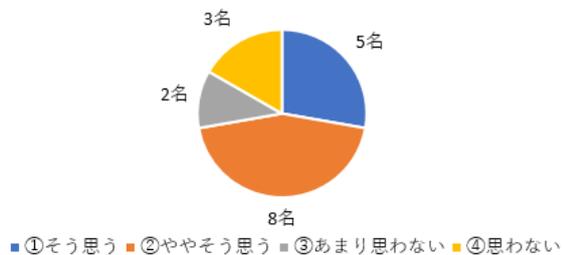


図-10 被験者の事後アンケート調査結果

4. 結論

本研究では日常生活において暑熱曝露の影響は環境面だけでなく人の生活や行動が要因となり変化すると仮定し、一般市民の協力のもと、温湿度計、活動量計、GPS 端末を貸与し、ライフスタイルにおける暑熱環境の曝露状況を 4 週間にわたり調査し、日常生活に潜む暑熱環境の危険性について考察した。

- 1) 期間中全体として、WBGT25℃以上28℃未満の「警戒」レベルで日常生活を送っている人が多数であった。梅雨明け後、暑熱環境が厳しくなった 2,3 週目はエアコンなどを用いた避暑行動が確認された。
- 2) 時間帯別の WBGT の変化に着目すると、日中はエアコンの利用可で過ごしているため、平均で、WBGT が 25℃前後であるが、明け方近くは 27℃を上回っており、4 割の人は 28℃以上の環境下で過ごしていた。
- 3) 睡眠と WBGT の関係では、浅い眠りと深い眠りの関係について、WBGT との相関は見られなかった。また、外出時の WBGT は平均で 27℃程度であり、警戒、嚴重警戒レベルでの活動が確認された。
- 4) 日常生活の暑熱環境調査後のアンケートより「体感ではなく実際に温湿度計などの数値を見ることの重要性を知った」、「歩数を見て歩き足りないと思ったため夜に歩きに行く日もあった」など、状態の見える化を行うことが、健康と環境の好循環を形成する可能性があることが示唆された。

今後は、より基本的な熱中症の症状や対策に関する情報提供ツールを開発し、その効果の検証などを行う予定である。

謝辞：本研究を行うにあたり、実験に協力して下さった被験者の方々、とよなか市民環境会議アジェンダ 21 の職員の方々に謝意を表します。本研究の遂行にあたり熱中症搬送者データの提供をいただいた自治体の消防部局ならびに協力いただいた環境部局に謝意を表します。なお、本研究は(独)環境再生保全機構 2019 年度 環境研究総合推進費「気候変動の暑熱と高齢化社会の脆弱性に対する健康と環境の好循環の政策 (JPMEERF20191005)」(代表：関西大学・北詰 恵一)の支援を得て実施したものである。

参考文献

- 1) 国土交通省気象庁：日本の夏の平均気温偏差の経年変化、2020 年 1 月 6 日更新、https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html, 2019 年 5 月 20 日閲覧
- 2) 大阪府：大阪府のヒートアイランド対策について、<http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/1144/00004753/hibook-let.pdf>
- 3) 環境省：ヒートアイランド現象に対する適応策効果の試算結果について、2012 年 7 月 19 日更新、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14039>, 2019

- 年 7 月 29 日閲覧
- 4) 環境省熱中症予防情報サイト：
https://www.wbgt.env.go.jp/heatillness_rma.php，閲覧日：2020.4
 - 5) 総務省消防庁：平成 30 年(5 月から 9 月)の熱中症による救急搬送状況，https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/item/heatstroke003_houdou01.pdf，閲覧日 2019.8
 - 6) 三坂育正，石丸泰，堀口恭代，成田健一：暑熱環境対策下における人の空間利用に関する研究，第 31 回環境情報科学学術研究論文発表会，pp131-136，2017
 - 7) 山本真二，岩本美江子，井上正岩，原田規章：暑熱曝露の生体影響評価について，産業衛生学雑誌，Vol.48, p442, 2006
 - 8) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 ver.3，2016 年公開，2019 年 6 月 10 日閲覧

(2020. 10. 2 受付)

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DAILY ACTIVITIES AND THE WBGT INDEX

Taira OZAKI , Junpei SAKURAI and Keiichi KITAZUME