

2023 年度第 2 回 日本産業衛生学会 温熱環境研究会

2023 年 9 月 2 日 (土) 13:00~16:30 気象業務支援センター (ハイブリッド形式)

プログラム

13:00~13:05 開会の挨拶 代表世話人 クボタ 加部 勇

13:05~13:10 議事進行の説明 労働安全衛生総合研究所 齊藤 宏之 先生

13:10~14:50 一般演題 (口演)

演題 1 衣服に吸収された汗からの微量元素の抽出

○山田理恵¹⁾, 遠藤孝二¹⁾, 赤堀由佳¹⁾, 水落佑典¹⁾, 飯田裕貴子¹⁾, 村口貴紀¹⁾,
大井謙一¹⁾, 阿部大¹⁾, 水落憲吾¹⁾, 各務竹康²⁾

(¹⁾ 株式会社環境管理センター, ²⁾ 福島県立医科大学医学部衛生学・予防医学講座)

演題 2 暑熱環境下における核心温と耳垂温の相関について

○角建太郎, 前田妃, 嶋崎優, 田島慶一, 永野千景, 堀江正知

(産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学)

演題 3 建設業において IoT 技術を用いて取得した心拍数・WBGT 値についての検討

○齊藤宏之¹⁾, 澤田晋一²⁾

(¹⁾ 独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所, ²⁾ 東京福祉大学)

演題 4 公立小学校の教室への空調機導入前後の気温の変化について

○伊藤武彦¹⁾, 脇本いづみ²⁾, 伊藤恵子³⁾, 鈴木久雄¹⁾

(¹⁾ 岡山大学, ²⁾ 兵庫教育大学, ³⁾ くらしき作陽大学)

14:50~15:00 休憩

15:00~16:30 特別講演

1) 健康で安心な住まい

福島県立医科大学名誉教授 (前・温熱環境研究会代表世話人) 田中正敏先生

2) 「JIS B7922 (電子式 WBGT 指数計) の改正内容についての解説」

(独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 齊藤宏之先生

16:20~16:30 閉会の辞

代表世話人 クボタ 加部 勇

【世話人】

伊藤武彦 (岡山大), 井奈波良一 (岐阜大), 川波祥子 (産業医大), 各務竹康 (福島医大),
齊藤宏之 (安衛研), 澤田晋一 (東京福祉大), 永野千景 (産業医大),
堀江正知 (産業医大), 宮下和久 (和歌山医大), 森岡郁晴 (和歌山医大), 加部勇 (クボタ)

衣服に吸収された汗からの微量元素の抽出

○山田理恵¹⁾、遠藤孝二¹⁾、赤堀由佳¹⁾、水落佑典¹⁾、飯田裕貴子¹⁾、村口貴紀¹⁾、
大井謙一¹⁾、阿部大¹⁾、水落憲吾¹⁾、各務竹康²⁾

1) 株式会社環境管理センター

2) 福島県立医科大学医学部衛生学・予防医学講座

1. 目的

熱中症予防としての適切な塩分摂取の必要性は広く知られているが、塩分としては従来塩化ナトリウムが着目されており、その他の成分については重要視されていなかった。一方で、微量元素を含んだ水分を摂取すると水分の体内への吸収がよくなるなど、微量元素の重要性を示唆する研究もある。本研究では、発汗中の微量元素を同定することにより、今後の塩分摂取への示唆を与えることを目的とした。

2. 方法

レーシングドライバーより、走行後の衣服の提供を受けたものおよび、社内ボランティアから提供を受けた汗を分析した。衣服の分析は、提供を受けた衣服をポリバッグに入れ、純水を加え3時間浸漬後、衣服を絞り、抽出された液体を誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) にて分析した。一部の検体は溶出試験を行わずに衣服を絞り、汗を直接採取した。こちらも同様に ICP-MS にて分析を行った。ナトリウム、カリウムなど発汗成分として知られている項目を含む、69項目の元素について分析を行った。比較対象として、同一素材の衣服についても同様の手順を行い、検出された成分については衣服から析出されたものとして、分析結果から差し引いた値を汗からの析出分とした。

3. 結果

ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウムは全ての試料より検出された。多くの検体より臭素、ストロンチウム、鉄が検出された。その他、一部の試料より、アルミニウム、亜鉛、ルビジウム、クロム、銅、マンガン、ニッケル、バリウムが検出された。

4. 考察

今回の研究では、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム以外に、8種類の微量元素が同定された。過去の文献では、微量元素については食事ですで十分に接種できているため、喪失分の補充については必要ないとしているものと、今後検討の余地としているものなど意見が分かれている。また、NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health : 米国労働安全衛生研究所) は電解質と水分の適切な摂取量については、情報が不足しており、熱中症予防について、今後の研究が期待される分野の一つとしている。

今後、微量元素を含む電解質の出納についての研究を更に進めていきたい。

暑熱環境下における核心温と耳垂温の相関について

○角建太郎、前田妃、嶋崎優、田島慶一、永野千景、堀江正知
産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

1. 背景

早期に熱中症発症を予測することは重症化防止において重要であるが、労働現場で核心温、発汗量、心拍数といった生体指標をリアルタイムに測定することは容易ではない。近年、通信技術の進歩により様々な熱中症発症予測ウェアラブルデバイスが開発され、労働現場での応用が検討されているが、その有用性を検証した研究は少ない。今回、体表面の温度計測時に適した部位として耳垂部に着目した。皮膚温を計測する場合、発汗が計測部位の温度変化に影響するが、耳垂部は動脈静脈吻合が豊富なため、温度調節機能に優れて汗をかきづらく、心臓血の温度を反映しやすいと考えられる。

2. 目的

暑熱環境下における安静時と運動時において、皮膚温である耳垂温と核心温との相関関係の有無について検証した。

3. 方法

2023年1月から3月にかけて、健康な成人男性15名を対象に実験を行った。産業医科大学の人工気候室内に前室(気温28°C、相対湿度50%)と暑熱環境となる実験室(気温35°C、相対湿度50%)を設定した。前室において、温度計を直腸、食道、前額部、右前腕部、右耳垂部に装着し、心拍モニターを装着し、測定を開始した。各指標の値が安定したことを確認後、実験室内に移動した。25分間、座位安静させた後、20分間、エルゴメーターで50%HRR(Heart Rate Reserve: 心拍数予備能)の運動を行わせ、各指標がどのように変化するかを評価した。運動終了後は前室に移動し、15分安静後、測定を終了した。

4. 結果

安静時と運動時の耳垂温と核心温の推移について、全被験者の平均値を図1に示す。核心温のうち、食道温と皮膚温(耳垂温・前腕温・前額温)について、安静時と運動時、それぞれ10秒ごとの測定値を用いてPearsonの積率相関係数を使用し、相関分析を行った。運動時と安静時における食道温と皮膚温の関係を表に示す。運動時は食道温に対して耳垂温、前腕温、前額温の全てにおいて有意な相関を認め($p < 0.001$)、特に食道温と耳垂温において最も強い相関を認めた(Pearsonの積率相関係数: 耳垂温0.764、前腕温0.705、前額温0.744)。安静時は食道温に対して耳垂温、前腕温、前額温の全てにおいて有意な相関係数を認めた($p < 0.001$ 、Pearsonの積率相関係数: 耳垂温0.699、前腕温0.464、前額温0.744)。

5. 考察

核心温の指標として、直腸温と食道温を測定したが、今回、食道温が心臓近くに位置し、心臓の血液温度を反映していることから直腸温よりも耳垂温とよく相関していると考え、食道温と耳垂温との相関関係を検討した。耳垂温は暑熱環境における運動時に食道温と並行して上昇する傾向を認めた。また、相関分析においても、耳垂温は安静時より運動時の方が、食道温と強い相関を示した。これは、前腕温と前額温では汗の影響と思われる運動後5分~15分経過後の温度降下が見られたのに対し、耳垂温は汗の影響を受けず、運動時も一貫して上昇していたことが一因と考える。

また、運動時と比較して安静時に耳垂温と食道温との相関が弱い理由としては、安静時には耳垂

部の動静脈吻合の開き具合に個人差があることが影響していると考えられる。安静時に動静脈吻合が開かれていない、または開ききれていない状態では、血管内を静脈血が主に流れているのに対して、運動時には動静脈吻合が開き、心臓からの動脈血が流れ込み、その温度を反映していたからであると推測する。その他、耳垂付近の血管の走行や耳垂部の面積に個人差があることも静脈血流量と関係していると考えられる。

本研究の限界として、環境条件を気温 35°C、相対湿度 50% の 1 条件のみに限定しているため、他条件でも同様の結果が得られるか検証する必要があるだろう。また、運動の種類も自転車エルゴメーターによる下肢運動のみであり、上半身の運動や歩行運動では検証していないこと、運動負荷も 50%HRR の 1 種類であること、風速は 0 の環境であり、送風の影響を考慮できないこと、若年日本人男性のみが対象であることなどもあげられる。

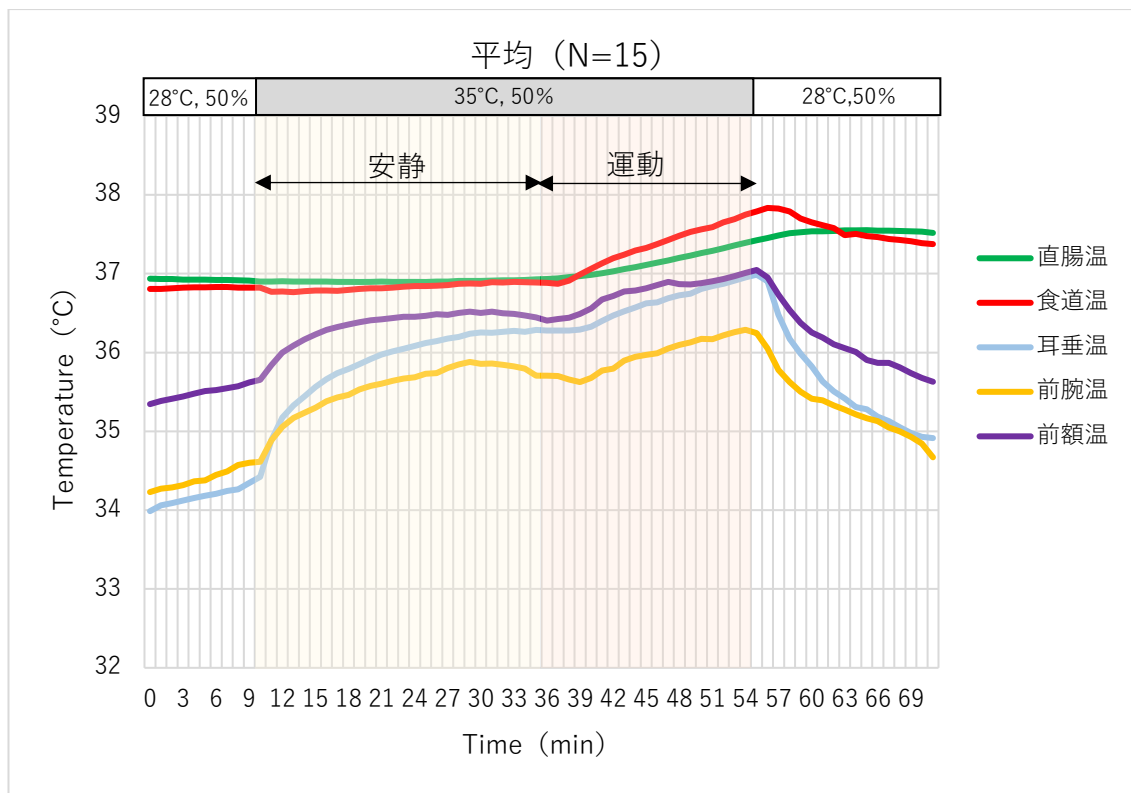


図 1 温度 35°C 相対湿度 50%における平均核心温と皮膚温の推移 (N=15)

表 温度 35°C・相対湿度 50%における核心温と皮膚温の相関関係

身体の状態	体温の相関 (°C)	Pearson の積率相関係数*	P
運動時	耳垂温－食道温	0.764	<0.001
	前腕温－食道温	0.705	<0.001
	前額温－食道温	0.744	<0.001
安静時	耳垂温－食道温	0.699	<0.001
	前腕温－食道温	0.464	<0.001
	前額温－食道温	0.744	<0.001

*Pearson の積率相関係数： 0.7～1.0 は強い正の相関、0.4～0.7 は正の相関、0.2～0.4 は弱い正の相関、0.2～0.2 は相関なし、-0.4～-0.2 は弱い負の相関、-0.7～-0.4 は負の相関、-1.0～-0.7 は強い負の相関を示す。

建設業においてIoT技術を用いて取得した心拍数・WBGT値についての検討

○齊藤宏之¹⁾，澤田晋一²⁾

1) 独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所

2) 東京福祉大学

1. はじめに

熱中症予防のための暑熱環境基準として、WBGT（湿球黒球温度）による作業強度（代謝率）別の基準値が広く用いられている。心拍数は熱中症リスクの指標の一つとされており、リストバンド型心拍計等を用いたウェアラブル心拍計や、IoTを用いた集中管理システムが熱中症対策用として活用されている。しかしながら、どの心拍数でアラートを出すかについては結論が出ていないのが現状であり、熱中症防止に有効なシステムとするためには、心拍数と熱中症リスクの関連性について、作業強度や年齢を加味した検討が必要である。本研究は、実際の建築作業現場においてIoT技術を用いて心拍数及びWBGT値を取得し、作業強度、年齢を考慮した上で、暑熱ばく露（WBGT値）と心拍数との関連性を確認した。

2. 方法

(1) データの取得

2020～22年の夏季建設現場において、建設現場の作業員20名にIoT接続リストバンド型心拍計を装着し、作業中の心拍数を得た。WBGT値は作業現場に複数台設置したクラウド型WBGT計により測定し、リストバンド型心拍計とゲートウェイ機器とのビーコン通信により、作業場所の把握を行い、作業員近傍のWBGT値を得た。心拍数、WBGT値および位置情報は、作業員向け体調管理システム（大林組 Envital (R)）によりクラウドに送られ、保存された。

(2) 作業中の代謝率、作業強度の把握

作業員の腰に活動量計（オムロンHJA-750C）を装着し、作業中の活動量（METs値）を得た。また、作業員装着した小型カメラまたは現場に設置したカメラにて撮影した動画を目視確認することにより、時間帯別の作業内容を推定し、ISO 8996に基づいて作業強度（代謝率区分）を割り当てた。

(3) データ解析

有効なデータが得られた20名分のデータについて、下記の解析を行った。

- 1) 活動量計による活動量の値（METs値）と、動画から推定した作業内容に基づく代謝率区分の関連性を見ることにより、建設作業における作業強度の把握についての検討を行った。
- 2) 暑熱ばく露と心拍数の関連について、①WBGT値と心拍数（年齢、代謝率区分ともに考慮せず）、②作業内容に基づく代謝率区分によるWBGT基準値からの超過度と心拍数、③作業内容に基づく代謝率区分によるWBGT基準値からの超過度と、[180-年齢]からの心拍数の超過度 についての相関の有無を若齢群（40代以下、n=12）と高齢群（50代以上、n=8）に分けて確認した。

3. 結果

(1) 作業強度と代謝率区分の関係

活動量計による活動強度（METs値）と、作業内容から割り当てた代謝率区分の関係を図1に示す。代謝率区分0（安静）に比べて区分1（低代謝率）ではMETs値は上昇したが、区分2（中程度代謝率）で低下し、区分3（高代謝率）で再び上昇した。ピアソンの相関係数は $r=0.16$ と、有意な相関は認められなかった。

(2) 暑熱ばく露と心拍数の関連

WBGT値と心拍数の関連を図2に、代謝率区分によるWBGT基準値からの超過度と心拍数の関連を図3に、代謝率区分によるWBGT基準値からの超過度と、[180-年齢]からの心拍数の超過度の関連を図4に示す。WBGT値と心拍数の間には、若齢群・高齢群ともに相関は認められなかったが、WBGT超過度と心拍数の間では、若齢群に弱い相関が認められ、高齢群の方が若齢群よりも心拍数が低い傾向を示した。WBGT超過度と心拍数超過度の間では、若齢群、高齢群ともに弱い相関が認められ、高齢群の方が若齢群よりも心拍数超過度が高い傾向が見られたほか、両群の回帰直線には有意な差が見られた。

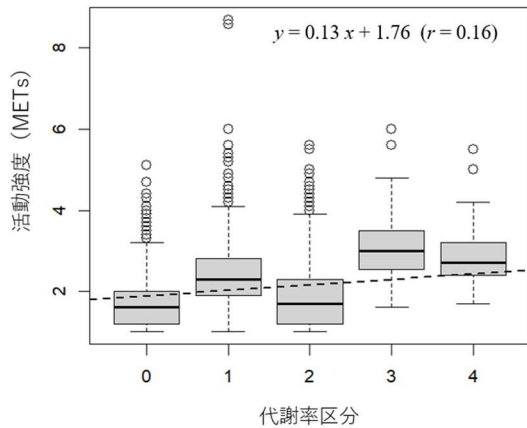


図1：活動量計による活動強度と、作業内容に基づく代謝率区分の関係

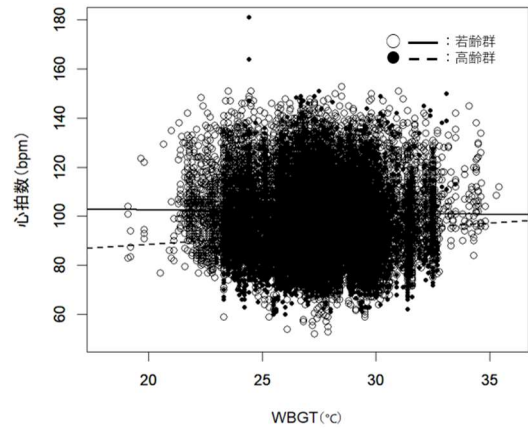


図2：WBGT 値と心拍数の関係

若齢群： $y = -0.116x + 105.02, r = -0.019$

高齢群： $y = 0.583x + 76.92, r = 0.076$

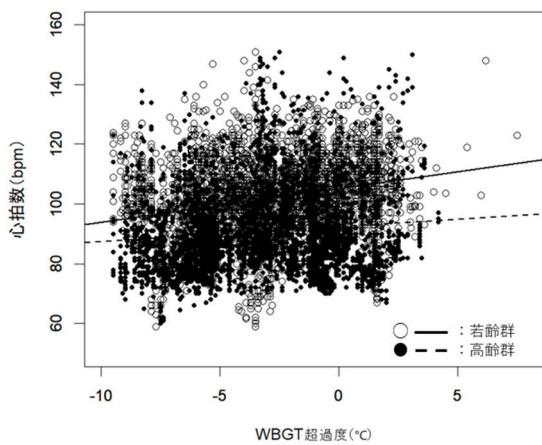


図3：WBGT 超過度と心拍数の関係

若齢群： $y = 1.118x + 105.11, r = 0.25$

高齢群： $y = 0.484x + 92.32, r = 0.11$

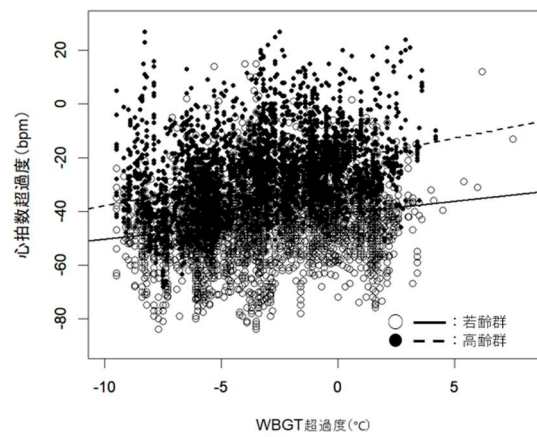


図4：WBGT 超過度と心拍数超過度の関係

若齢群： $y = 0.94x - 40.93, r = 0.20$

高齢群： $y = 1.67x - 21.08, r = 0.36$

4. 考察

暑熱ストレスの指標である WBGT と、暑熱ストレインの指標である心拍数の間には、双方の生データを用いた場合には目立った関連性は認められなかったが、代謝率区分に基づく WBGT 基準値からの超過度を暑熱ストレスの指標とした場合においては、若齢群にて弱い相関が認められ、さらに暑熱ストレインの指標として年齢を加味した心拍数基準値からの超過度を用いた場合は、若齢群、高齢群ともに弱い相関が認められた。これは、WBGT と心拍数による熱中症リスクを検討する場合において、作業強度に基づく代謝率の把握が重要であることを意味すると考えられる。一方で作業内容（作業強度）の把握は容易ではなく、目視にて推定するため誤差が大きい危険性がある。活動量計による METs 値の方が客観性は高いが、腰に装着した活動量計では建設業で想定される作業における作業強度が十分に把握できない可能性がある。作業中の熱中症リスクを検討するに当たり、作業強度の把握方法についてはさらなる検討が必要である。また、作業強度と年齢の双方を加味した場合において、高齢群の方が心拍数超過度が有意に高い結果が得られた点については、高齢者の熱中症リスクの高さを示唆していると考えられる。対象者数が少ないため結果は限定的ではあるが、高齢労働者の熱中症発症防止のためには、将来的には高齢労働者の WBGT 基準値の引き下げも検討すべきではないかと考えられる。

謝辞 本研究は（株）大林組との共同研究として実施した。（株）大林組の赤川宏幸氏、山田昇吾氏、笠井泰彰氏に感謝申し上げます。

公立小学校の教室への空調機導入前後の気温の変化について

○伊藤武彦（岡山大学）， 脇本いつみ（兵庫教育大学）， 伊藤恵子（くらしき作陽大学）， 鈴木久雄（岡山大学）

1. はじめに

空調機が導入されていない小学校の普通教室では，終日 30℃以上の環境で子どもたちが学習をしていることが普通の光景であった。しかし学校の暑熱環境に対する関心の高まりや，学校で発生する熱中症の予防を求める声も大きくなり，某市の公立小・中学校ではコロナ禍の期間中に全ての普通教室に空調機が導入された。私たちは 10 年以上，当地の学校の教室や運動場の環境の観察を続けてきたが，今回空調機導入前後で同一の教室の観察結果を比較できたので報告する。

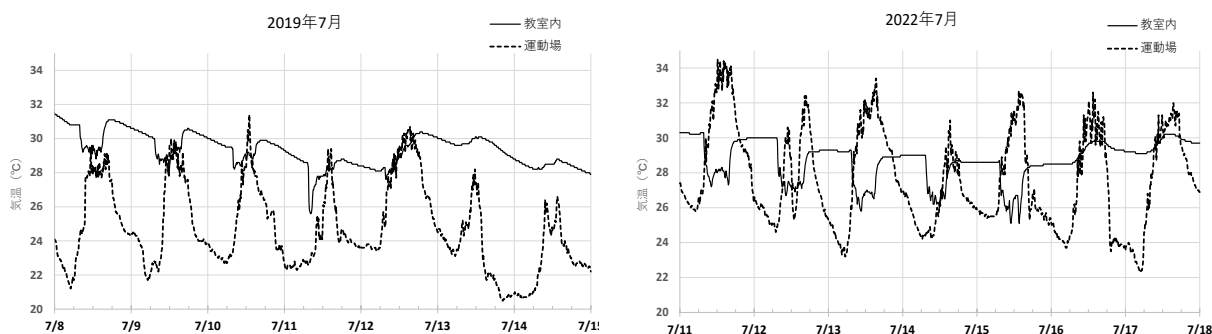
2. 方法

某市内の公立小学校 7 校の普通教室内において気温，相対湿度の自動測定を行った。また運動場に湿球黒球温度（WBGT）の自動測定器を置き，経時的測定を行った。教室内の測定では 10 分間隔でデータを記録可能なデータロガー（RTR-503，TandD 社）を用いた。WBGT の測定は，著者らが開発した装置（測定部分は RTR-503 及び RTR-502，TandD 社）を用いた。

この観察は 10 年以上継続して行っているものであるが，今回は空調機導入前の 2019 年 7 月の第 2 週と，空調機導入後の 2022 年 7 月の第 2 週の測定結果を 7 校のうちの 1 校の 2 階教室と運動場について気温を比較した。

3. 結果と考察

この小学校の校舎は昭和 30 年代に建てられた鉄筋校舎で，天井が高く内装は旧式であるが，観察をした 7 校の教室の中では標準的な暑さであった。2020 年夏から空調機導入が導入されたので，今回の観察は空調機導入前後の比較である。同じ時期とはいえ，外気温は最高気温に随分差があり，2022 年の方が全般に暑かったが，空調機導入前は昼間の授業がある時間帯は，2019 年は外気温とほぼ同等であったのに対し，空調機導入後は外気温よりも教室内の温度の方が低くなっており，空調機の冷房効果は明瞭である。また空調機が稼働しない夜間や週末の温度変化のパターンも空調機導入前後で変化していた。



小学校の普通教室の気温の経時変化（左は 2019 年 7 月，右は 2022 年 7 月）。実線は教室内，破線は運動場を示している。

学校保健安全法にもとづく学校環境衛生基準は，気温について 18～28℃であることが望ましいと定めている。この観察研究を始めたきっかけは，多くの教室で児童の生活時間の大半が 30℃以上になるために，空調機導入を含む暑さ対策を考えるための基礎データを集めることであった。コロナ禍になる直前に普通教室への空調機導入が決まり，空調機が稼働している現在は，児童の生活時間帯の教室内の気温は 28℃をほぼ下回っていた。感染症対策のために窓開け換気を励行しているので，冷房中も外気の取入れにより気温は高い方になりがちと思われたが，以前のように 30℃を超えることはなくなっていた。

今後は可能であれば空調機導入によって児童の学習意欲が向上したかどうかや，教員の作業環境がよくなったと感じられるかどうかについて，調査ができればと考えている。

健康で安心な住まい

田中正敏（一級建築士・医師）

火山列島の日本には地震が多く、近年では関東大震災、東日本大震災があり、北海道地震では全道の電気が止まりました。阪神淡路大震災の直下型地震では鉄筋コンクリート造の幹線道路もビルも危うい状態です。天候、空模様でも線状降水帯の発生がみられ、河川は瞬間に濁流と化し、洪水、氾濫となります。線状降水帯は、雨雲の積乱雲が列をなして数時間にわたってほぼ同じ場所に停滞、または次々に発生し長さは50～300Km、幅は20～50Kmの規模となり、強い降水をとまなう雨域で洪水をおこします。

空調機器（エアコン）の普及；オフィスビルなどでは冬でもシャツ姿で仕事をしている人もみられます。温度・湿度の基準は国により異なり、日本のビル衛生管理法では湿度40～70%、温度17～28℃としています。ビルなどではこの範囲内で年間一定の温度、湿度に設定している場合が多くみられますが、省エネルギーの観点からは季節やその地域の風土、そして衣服による調節をおこない、夏冬で室内環境を調整することが推奨されます。

人に影響する暑さ寒さの条件には、気温、湿度、風速、そして太陽などからの熱源による幅射があります。室内では気温と共に風速と幅射の影響が大きく、窓やカーテンなどでコントロールが出来ます。室内では気温と湿度が、特に健康と生活への影響が大きくなります。夏の暑さ、直射日光を木陰が和らげ微風を家に呼び込み、縁側の風鈴で風を感じることも出来ます。冬には今では多くの住宅で高断熱・高気密の室内にエアコンが整っていますが、重ね着をして、コタツの生活により頭寒足熱でエネルギーアップ、そして省エネルギーになります。

湿度に関しては、日本の夏、梅雨時には湿度が高くジメジメ状態の高温多湿です。部屋を閉め切って置くとカビの発生です。冬にはエアコンにより定温・低湿状態となり、暖房のきいた室内と外の気温差によりガラス窓には結露が、壁の中までカビが発生します。部屋には二重窓がお勧めです。

冬には低温低湿の環境で風邪やインフルエンザなどの感染症に罹りやすく、特に高齢者は重症化し肺炎で死亡することもしばしばです。低温で乾燥した空気を呼吸していると、喉が渇き粘膜が荒れ、肺への通り道である気管が障害され、細菌やウイルスに感染されやすく気管支炎や肺炎になります。乾燥した空気は、のど、気道を障害するだけでなく、肌あれ、皮膚のかさつき、痒みの原因にもなります。

身体的には寒さで手足の末梢血管が収縮し、血の巡りが悪くなり、手足の指先が冷えやすくなります。血管は収縮し抵抗が増し血圧は高めになり、高血圧や脳卒中、脳血管障害、狭心症、心臓発作が起こりやすくなります。筋肉はこわばり、関節痛や肩こりが起こりやすくなり、急に立ち上がり、重い物を持ち上げ一時的に力が過剰に加わると、ギックリ腰の危険性があります。炬燵で丸くなるのではなく、背を伸ばして運動をして身体を鍛えることが必要です。

日射病 熱中症：都市部にはコンクリートの建物が多く、道路はアスファルト、となると、夏には太陽からの熱の逃げ場がなく灼熱地獄となり、街はヒートアイランド化します。熱中症は炎天下での仕事やスポーツの時に多く見られますが、家の中でも熱中症で死亡する事例が高齢者で特に多くみられます。

年齢別には、体温調節機能が発達途上にある乳幼児期での発生が多く、学童、学生期の場合の発生率は低く、20歳以降からは次第に増加し、中年期、高齢者と多くなっています。一日の最高気温が30℃以上の真夏日が多くなり、夜も日の最低気温が25℃以上の熱帯夜で睡眠不足になりや

すく、熱中症が多発します。

熱中症の原因は気温だけでなく、家の中の風通しが関係します。庭やベランダの植栽も関係し、日の当たる窓ぎわに朝顔やヘチマなどの植栽で緑のカーテンを育てるのが効果的です。スタレは、太陽の熱を室内に入れないよう窓の内側でなく外側に設け、外からの熱をシャットアウトするようにすると効果的です。樹木の緑陰により日差しを遮り温度差が生じ、空気が流れ、緑のカーテンにより微風となり室内に涼しさを運んできます。室内には程好い空気の流れが大切です。部屋に窓や換気孔、窓があり、窓からの空気が他の窓やドアから出ると空気の通路となります。

湿度が低くカラリとした環境で木陰からの微風が加われば気温が少々高くとも涼しくて心地よい環境となります。同じ気温であっても多湿・無風の条件になると「ムシムシ」し不快になり、熱がこもり熱中症になります。

衣服は薄着にして屋外では過度の直射日光を受けないよう肌の露出は控えましょう。衣服は少し緩めに、衣服内で空気が流れ皮膚からの汗を衿首や手首から放出し涼しくなります。夏場のノーネクタイは省エネリックとして定着していますが、その場でのマナーに留意し、やり過ぎには注意しましょう。

冷房機器は、日本の蒸し暑い夏にオフィスなどでは無くてはならない存在になっています。一方で適切に使用しないと室内が冷えすぎて冷房病になり身体の調子を崩します。熱帯夜で就寝時に冷房の温度を下げ過ぎると夏風邪やお腹の調子を崩します。

室内の温熱環境が適切かを知るのに、ある程度は気温で見当は付きますが、湿度や風速、そして太陽光のような輻射熱の組み合わせることにより的確に把握できます。同じ30℃の部屋でも湿度80%の蒸し暑い場合と、湿度30%のからりとした場合とでは大違いです。温度と湿度から求める不快指数は、日本の夏のような高温多湿な環境を知るのに便利です。

寒さ対策に、二重窓 暖房:寒冷地の北国と温暖な南国の住まいには大きな違いがあります。北海道では家全体を暖める全体暖房が多く、窓も二重窓、更には三重窓の場合もみられます。津軽海峡を隔てた本州、東北地方になると電気コタツや石油、ガスストーブなどの局所暖房が多く、窓も一重窓が多くなります。近年は、省エネルギーの呼びかけがあり、住宅改修により窓の二重サッシやペアガラス、そして床や壁の断熱なども行われています。

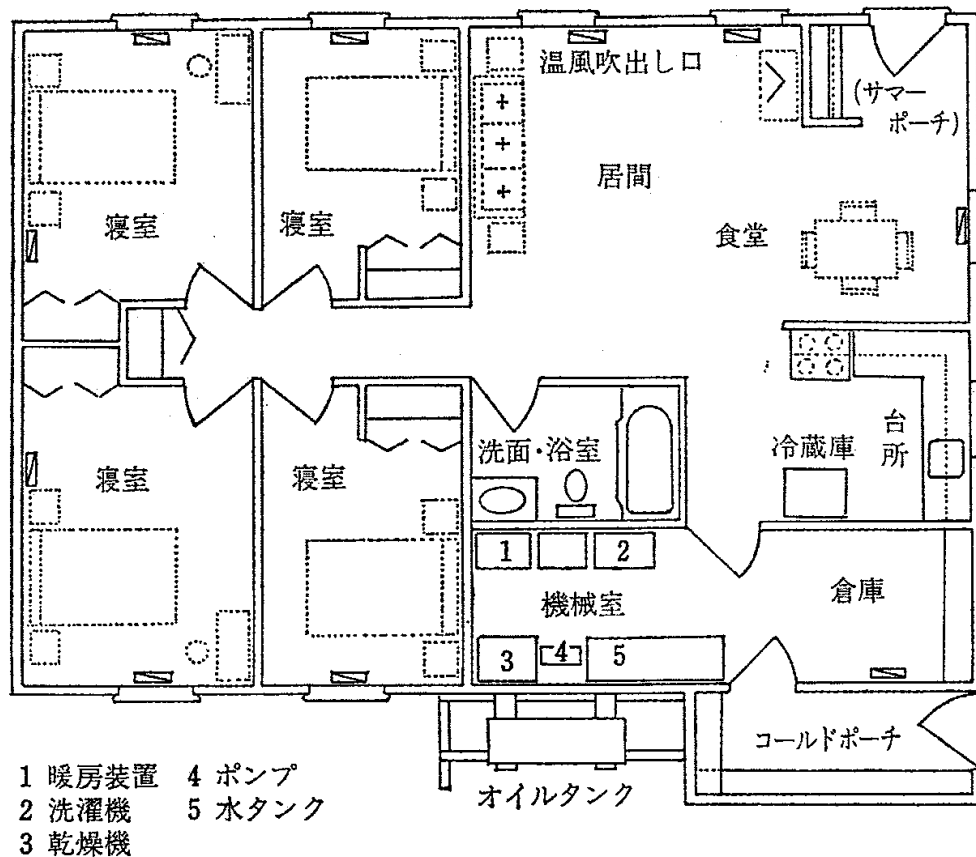
東日本大震災の仮設住宅の福島県内の調査で、暖房に電気コタツやエアコンの使用、電気コタツと電気カーペットの併用も多く、石油ファンヒーター（煙突なし）や小型石油ストーブもみられました。寝室の暖房は就寝前の短時間のエアコン使用が多くみられ、各戸の設定温度は14℃から30℃と広く、25℃の設定温度が多くみられました。

床暖房の場合には床から次第に暖まるので、部屋全体の空気が暖まるには時間がかかりますが、頭寒足熱からはお奨めです。石油ストーブやエアコンは空気を循環・対流させ暖めるので、室内空気は暖かくなりますが、床付近はなかなか温度が上がりません。



(写真 南アフリカの木陰での作業) 南アフリカ・ケープタウン；2010 ワールドサッカーに向けての道路工事 2009. 3. 日中30℃、夕方20℃弱、

(図面 エスキモーの家)



イヌイットの人々が暮らす一般住宅の平面図の一例(作成:著者)
 夏期の出口はサマーポーチ、冬期には倉庫を通ってのコールドポーチが出入口となる。
 出典:田中正敏(1980)「厳寒地における生活空間—イグルーリック・エスキモーの冬—」『ビル
 の環境衛生管理 9号 別冊』

JIS B7922（電子式WBGT指数計）の改正内容についての解説

独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所
齊藤宏之

1. はじめに

WBGTはISO7243(JIS Z8504)にて測定方法が規定されているが、自然湿球を湿度センサーに置き換えた電子式WBGT計が広く普及しており、2017年3月にJIS B7922として規格化されている。しかしながら、制定後に特に日射のある条件下において本来のWBGT値よりも低めの値を示す機種が多いことが明らかとなった。日射のある条件は熱中症発症リスクが高いことが想定されることから、熱中症予防の観点からこの誤差は看過できないと考え、電子式WBGT測定器の精度向上を目的としたJIS B7922の改正についての議論を行い、2023年2月にJIS B7922:2023として制定された。ここでは、改正に至る経緯ならびに改正内容について解説する。

2. 改正に至った背景

電子式WBGT指数計は本来のWBGTと異なり、自然湿球温度を測定するための自然湿球を有しないため、何らかの方法で自然湿球温度を推測する必要がある。この測定方法の違いに起因する測定誤差が存在し、特に日射のある条件下において低めの値を示すことが明らかとなったことから、その誤差要因についての検討を行った結果、自然湿球温度の推定において、日射の影響を十分に評価できていないことが主たる原因であり、実測結果に基づく適切な自然湿球温度推定式を用いることにより解決可能であることを突き止めた。下記の図1、図2のとおり、日射のある環境下(～11:00)では自然湿球型と電子式で測定結果に差が見られ、推定式①、②(T_a とRHからのみ算出した推定式)では電子式に、日射の影響を加味した推定式③では自然湿球型に近い値が得られたことから、日射の影響を加味した推定式が必要なこと、ならびにハードウェアでなくソフトウェアの問題であることを示した。(2020年度第二回温熱環境研究会にて報告済み)

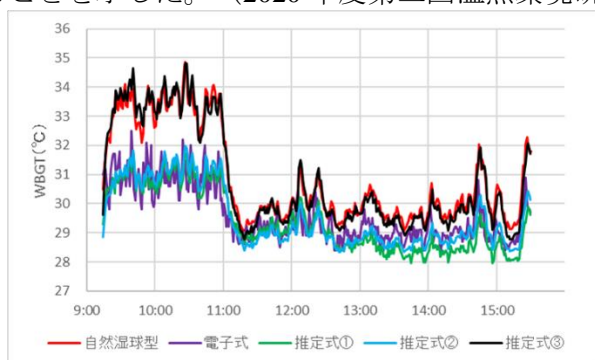


図1：自然湿球型・電子式における湿球温度と、各推定式による自然湿球推定値

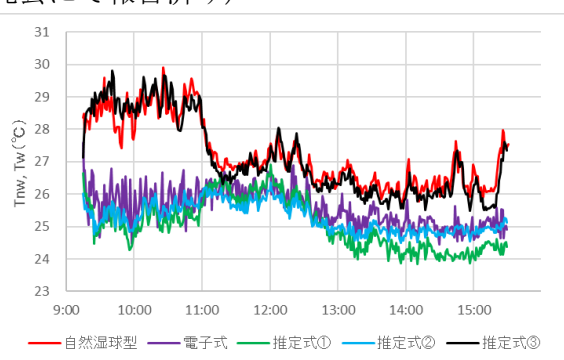


図2：自然湿球型・電子式のWBGT測定値と、各推定式による自然湿球推定値を用いたWBGT

値

$$\textcircled{1} T_w = 0.09T_a + 0.0099T_a \times RH - 0.143RH + 5.7 \quad (\text{中井ほか, 1992})$$

$$\textcircled{2} T_w = (T_a + 10) \times \left(\frac{RH}{250} + 0.615 \right) - 10 \quad (\text{中井ほか, 2007})$$

$$\textcircled{3} 4.18v^{0.444}(T_a - T_{nw}) + 10^{-8}[(T_r + 273)^4 - (T_{nw} + 273)^4] - 77.1v^{0.421}[p_{as}(T_{nw}) - RHp_{as}(T_a)] = 0$$
$$T_r = \sqrt[4]{(T_a + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8}{D^{0.4}\epsilon} v^{0.6}(T_g - T_a) - 273}$$

$$p_{as}(T) = 6.11 \times 10^{(7.5T/(T+237.3))} \quad (\text{Malshaire 1976, ISO7243: 2017})$$

T_a : 乾球温度, T_w : 湿球温度, T_{nw} : 自然湿球温度, T_g : 黒球温度, T_r : 平均放射温度, v : 風速,
 $p_{as}(T)$: 温度 T における水蒸気圧, D : 黒球の直径(mm), ϵ : 黒球の放射率

熱中症リスクが高いと想定される日射のある条件下において低めに出る誤差の存在は問題であることから、制定から5年目の定期見直しのタイミングにて、JIS B7922を改正することとなり、

日本規格協会の2021年度公募区分D(2022年1月～8月)に応募し、素案作成委員会を組織した。委員会組織前から開催した作業部会6回、親委員会2回、分科会4回を開催して議論を重ねた結果、2022年8月に日本規格協会に素案を納品し、2023年2月20日にJIS B7922:2023として改正版が発行された。

3. 主な改正点

適用範囲	適用範囲を、“湿球黒球温度指数を測定する電子式指数計”から、“自然湿球の代わりに湿度センサを用い、演算によってWBGT指数を算出する電子式WBGT指数計”と変更して明確化した。 (注：自然湿球を用いる測定器[ISO 7243/JIS Z8504にて規定]及び、黒球を持たない簡易型を適用範囲から明確に除外)
種類	“設置形指数計”及び“携帯型指数計”の区分は指数計の種類ではなく、使用方法に基づく区分であるとの判断によって、種類の規定から削除した。
測定原理	自然湿球温度として推定自然湿球温度($T_{nw,est}$)、黒球温度として推定黒球温度($T_{g,est}$)を用いてWBGT指数を算出する必要があることから、WBGT指数の算出式を $T_{nw,est}$ 及び $T_{g,est}$ を用いた式に変更した。
精度	旧規格で精度試験の条件として、風速0.3 m/s～3 m/sの範囲を規定していたが、精度試験の実施場所として想定される恒温恒湿槽では風速の制御が困難であることから、試験条件から風速範囲を削除した上で、クラスで規定している誤差の説明として“測定範囲及び風速0.3 m/s～3 m/sの範囲内において理論的に導き出される最大誤差である”と明記した。
演算機能	「構造」の項目に「演算機能」を新たに規定し、測定機能及び演算機能をつかさどる部分が分離した指数計については、全体をもって指数計とするとした。 (注：クラウド型の測定器を念頭に置いた改正。)
近似計算による推定	自然湿球温度及び黒球温度は、近似計算による推定を行わなければならないことから、“a) 自然湿球温度の推定”及び“b) 黒球温度の推定”を規定した。 (注：自然湿球温度の推定は、「日射による影響を考慮の上、実測に基づく近似計算を行わなければならない」とし、附属書Aに近似計算の例を示した。黒球温度の推定は「指数計に用いる黒球が直径150 mm以外である場合、平均放射率が0.95以外である場合、及び表面性状がつや消し以外である場合は、黒球温度の推定を行わなければならない」とし、附属書Bに近似計算の例を示した。 また、推定値の測定条件として、「一定の条件[($T_g - T_a$) $\geq 7^\circ\text{C}$, $T_a \geq 25^\circ\text{C}$, 及び相対湿度30%～90%]を満たす日射のある屋外環境、又はそれに類似する人工環境において、JIS Z 8504の附属書Bで規定された測定方法との併行測定を行った結果によって(又は、基づいて)算出する必要がある。」とした。
精度	“30%～90%の範囲の低湿度、中湿度及び高湿度”とだけ規定していた相対湿度を、“各相対湿度間の差を20%以上とする”と厳格化した。また、“20°C～60°Cの範囲の低温度、中温度及び高温度”とだけ規定していた黒球温度及び気温の低温度、中温度及び高温度の各温度間の差を“10°C以上とする”と規定した。
安定性	旧規格では「携帯型指数計で1時間、及び設置型指数計で8時間それぞれ経過した後に測定する」としていたものを、携帯型と設置型との区分を廃止したことから、全ての指数計で1時間に統一した。
付 属 書	自然湿球温度への近似換算の例にて、「黒球温度と気温を用いた簡易換

A (参考)	算式の例」を追加した。
-----------	-------------

4. 重要な改正ポイントの解説

1) WBGT 算出式の変更

JIS Z8504 にて規定された WBGT は、自然湿球温度 (T_{nw})、黒球温度 (T_g)、乾球温度 (T_a) を用いて算出されるが、電子式 WBGT 測定器では T_{nw} の推定が必要である (黒球サイズが小さい場合は黒球温度 (T_g) も同様)。これを明確化するために、推定自然湿球温度 ($T_{nw,est}$)、推定黒球温度 ($T_{g,est}$) を定義し、WBGT の算出式を別に定めた。これにより、自然湿球温度、黒球温度には推定が必須であることを明確に示した。

本来の WBGT の算出式 (ISO 7243, JIS Z8504)

$$\text{(日射のある場合)} \quad \text{WBGT} = 0.7 T_{nw} + 0.2 T_g + 0.1 T_a$$

$$\text{(日射のない場合)} \quad \text{WBGT} = 0.7 T_{nw} + 0.3 T_g$$

今回の改訂によって新たに規定した、電子式 WBGT 測定器における WBGT 算出式

$$\text{(日射のある場合)} \quad \text{WBGT} = 0.7 T_{nw,est} + 0.2 T_{g,est} + 0.1 T_a$$

$$\text{(日射のない場合)} \quad \text{WBGT} = 0.7 T_{nw,est} + 0.3 T_{g,est}$$

2) 実測に基づく近似計算による推定

自然湿球温度、黒球温度の推定には、実環境 (原則として日射のある夏季の屋外、条件を満たせば人工環境でも可) における実測結果に基づき、推定式を求める必要があることを明記した。旧規格では実測による推定を明記していなかったが、特に自然湿球温度の推定において、実測に基づく適切な推定式を用いることが、日射のある環境での精度担保に必要であることが判明したことによる。実測に基づく適切な推定式を導入することにより、精度向上が期待される。

なお、推定を行う環境としては、「一定の条件 [$(T_g - T_a) \geq 7^\circ\text{C}$, $T_a \geq 25^\circ\text{C}$, 及び相対湿度 30%~90%] を満たす日射のある屋外環境、又はそれに類似する人工環境」と規定した。

3) 精度試験方法の明確化

精度試験における温湿度の測定ポイントについて、下記の通り明確化した。

- ・ 相対湿度：「30%~90%の範囲の3点」に「各相対湿度間の差は20%以上」を追加。
- ・ 黒球温度：「20~60°Cの範囲の3点」に「各温度間の差は10°C以上」を追加。
- ・ 気温：「20~50°Cの範囲の3点」に「各温度間の差は10°C以上」を追加。

これは、旧規格の規定では恣意的に狭い温湿度範囲での3点を選択することも可能であり、その結果、期待された精度が担保できない可能性が否定できないことを考慮した改訂である。

4) 自然湿球の簡易推定式の例示

改訂前の規格では、附属書 (参考) として、JIS Z8504 の附属書 C に掲載されている自然湿球温度推定式を示していたが、推定式が煩雑であり、電子式 WBGT 測定器の内部にて演算することが困難であることが予想されることから、日射の程度として「 $T_g - T_a$ 」を用いた簡易換算式を例として示した。

5. 改訂によって期待されること、ならびに注意点

今回の改訂により、熱中症リスクが特に高いと思われる夏季屋外環境における測定精度が向上することが期待される。改訂 JIS B7922 に準拠した電子式 WBGT 測定器が市場に引き渡ることにより、よりの確な暑熱環境の管理が実施でき、熱中症発症防止に寄与するこ

とが出来ると考えられる。

その一方で、既に市販された WBGT 測定器については、旧規格に基づいて製造されたものであり、改訂 JIS B7922 には適合していない可能性が高い。また、今回改訂された規格に適合した製品の供給には時間がかかることも想定される。このため、しばらくの間は消費者の手元に新旧の JIS 規格に基づいた WBGT 測定器が混在することになる。このことから、熱中症防止対策を適切に行うためには、旧機種に対するアフターサポートが必須と思われる。旧機種のユーザーに対して、改訂 JIS B7922 適合品への買い替えを促すことはもちろん、旧機種を使い続ける場合における注意点（例：日射のある環境では、測定値に 1～2℃ 加算する、など）を提供することも必要ではないかと考える。