

2022年度第2回 日本産業衛生学会 温熱環境研究会

2022年8月27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

13:10～14:10 日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針」

—WBGT簡易推定図の改訂について— 労働安全衛生総合研究所 齊藤 宏之 先生

14:10～14:20 休憩

14:20～16:20 一般演題（口演）

演題1 ヘルメット装着型全身発汗量測定システムによる暑熱リスクの評価

○永野千景、森貴美代、嶋崎優、前田妃、角建太朗、田崎恵一、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）

小須田司、橋元伸晃

（公立諏訪東京理科大学 工学部 機械電気工学科 センシング・アーキテクチャ研究室）

演題2 暑熱環境下における耳垂部での発汗機能の定量的評価

○角建太朗、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 ドライアイスジャケットについて—経緯と効果—

○宮城克行（E N E O S 株式会社）

演題4 年齢と地域の気候差が熱中症発症に与える影響

○上野 哲（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）

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）

日本生気象学会 「日常生活における熱中症予防指針」

—WBGT簡易推定図の改訂について—

○齊藤宏之（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）,

佐古井智紀（信州大学），土川忠浩（兵庫県立大学），渡邊慎一（大同大学）

※日本生気象学会 热中症予防研究委員会 WBGT 簡易推定図検証 WG

1. はじめに

WBGT（湿球黒球温度）は軍隊の演習における熱中症リスク評価のために開発され、労働環境における熱中症発症予防を目的として、ISO 7243¹⁾ (JIS Z 8504²⁾) にて規定されたという経緯があるが、労働環境のみならず、一般生活環境やスポーツ環境においても用いられている。このうち、一般生活環境については日本生気象学会から「日常生活における熱中症予防指針」³⁾が出されており、基準値が提案されている。WBGTを測定するためには原則として黒球の付いたWBGT測定器が必要だが、一般生活環境では使用できないケースが多いことが想定されることから、気温と相対湿度から簡易的にWBGTを推定する「WBGT簡易推定図」が本指針にて提案されている。今回、この簡易推定図の改訂が行われたので、その経緯ならびに検証結果について報告する。

2. 日常生活における熱中症予防指針

「日常生活における熱中症予防指針」は、日本生気象学会に設けられた「熱中症予防研究委員会」³⁾にて作成されたもので、初版⁴⁾が2008年4月に発行されて以降、2011年(Ver.2⁵⁾)、2013年(Ver.3確定版⁶⁾)、2021年(Ver.3訂正版⁷⁾～Ver.3.1⁸⁾)に改訂が行われ、現時点での最新版は(2022年5月に発行されたVer.4⁹⁾)である。指針の主たる目的は日常生活における熱中症防止であり、表1に示す通り、WBGT値によって注意、警戒、厳重警戒、危険の4つに区分し、それぞれ注意すべき生活活動の目安と注意事項を示している。

表1：日常生活における熱中症予防指針

WBGTによる 温度基準域	注意すべき 生活活動の目安	注意事項
危険 31°C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。
厳重警戒 28°C以上 31°C未満		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 25°C以上 28°C未満	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充 分に休息を取り入れる。
注意 25°C未満	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。

3. WBGT簡易推定図の提案と改訂の経緯

WBGT簡易推定図は、黒球付きのWBGT測定器がない場合に気温及び相対湿度から簡易的にWBGTを推定するために開発されたもので、熱中症予防指針Ver.1(2008年4月発行)⁴⁾に「WBGTと気温、湿度との関係」として掲載されたものが最初である。当初は室内に限定していなかったが、Ver.2(2011年5月発行)⁵⁾にて「室内で測定したWBGTとはよく一致するが、屋外においては輻射熱の寄与が大きいため・・・との注意書きがなされ、Ver.3確定版(2013年3月発行)⁶⁾では「室内で日射がない状態(黒球温度が乾球温度と等しい)」の条件が明記された。

しかし、この簡易推定図の根拠となるデータ自体は屋外で収集されたものであることから、Ver.3

訂正版（2021年3月発行）⁷⁾では「室内で日射がない状態」の条件は削除され、「屋外では黒球温度計を有するWBGT測定器を用いて測定」、及び「日射がない室内においては、熱中症のリスクを見落とすことがないよう、実際の値より高い値を示している」と記した。この一連の流れを表2に示す。

初版～Ver.3にて用いられてきた簡易推定図（以下、旧版）は、屋外の実測値を用いて作成されたものであるが、「室内で日射のない状態」にも適用されてきた。実態として、旧版の簡易測定図は曇天の屋外において最もよく適合しており、日射のある環境では過小評価、日射のない室内ではやや過大評価の傾向があることが指摘された。このことから、改めて科学的根拠に基づく、日射のない室内用の推定図を検討することとなった。

表2：熱中症予防指針の改訂の推移

指針	推定図	本文等における記述等
Ver.1 ⁴⁾ 2008/4	旧版 (図1)	<ul style="list-style-type: none"> 特に室内に限定せず。 図の下に「本指針におけるWBGTはその日の最高気温と湿度から推定されるものである」と記載。
Ver.2 ⁵⁾ 2011/5		<ul style="list-style-type: none"> 本文に「室内で測定したWBGTとはよく一致するが、屋外においては輻射熱（放射熱）の寄与が大きいため、低温域では実測値よりも大きく、高温域では実測値よりも小さくなることが多いので注意が必要である」と記載。
Ver.3 確定版 ⁶⁾ 2013/3		<ul style="list-style-type: none"> 本文に「この図は気温と湿度から簡単にWBGTを推定するために作成したものであり、室内で日射がない状態（黒球温度が乾球温度と等しい）としたので、正確なWBGT値と異なる場合がある」と記載。
小冊子 初版 ¹⁰⁾ 2016/5		<ul style="list-style-type: none"> 図タイトルに「室内で日射がない場合」と記載
Ver.3 訂正版 ⁷⁾ 2021/3		<ul style="list-style-type: none"> 簡易推定図が屋外のデータを元にしたものであり、「室内で日射がない状態（黒球温度が乾球温度と等しい）」を適用範囲としていたことが誤りであったことから、下記の修正が行われた。 <ul style="list-style-type: none"> 「室内で日射がない状態」を削除 「日射が強い屋外においては、WBGTを過小評価し、リスクを見落とす可能性があるため、屋外では黒球温度計を有するWBGT測定器を用いて測定」 「日射がない屋内においては、熱中症のリスクを見落とすことのないよう、この図に示したWBGTは実際の値より高い値を示している」
小冊子 訂正版 2021/3		<ul style="list-style-type: none"> 図タイトルの「室内で日射がない場合」を削除 図の下に「注意：屋外では黒球温度計のあるWBGT測定器を用いて測定し、熱中症の危険度を評価しましょう」と明記。
Ver.3.1 ⁸⁾ 2021/6	新版 (図2)	<ul style="list-style-type: none"> 日射のない「室内用」として新たに開発。 「室内用」であることを図中に明記し、旧版と混同しないようデザインに配慮した。 図の下部に「この図は「日射のない室内専用」です。屋外では使用できません。また、室内でも日射や発熱体のある場合は使用できません。そのような環境では、黒球付きのWBGT測定器等を用いて評価して下さい」と明記。
小冊子 第2版 ¹¹⁾ 2021/6		(2022年度内に発行予定)
Ver.4 ⁹⁾ 2022/5		
小冊子 第3版		

4. WBGT簡易推定図の改訂

日射のない室内用のWBGT簡易推定図の作成ならびに検証は、熱中症予防研究委員会内に設置

された、WBGT 簡易推定図検証 WG（渡邊、佐古井、土川、齊藤）にて検討した。推定式の検討は、佐古井委員（信州大学）が担当し、下記の方針にて検討した。

- 日射のない条件下における WBGT 算出式 (ISO 7243:2017¹⁾, JIS Z 8504:2021²⁾) を用いる。
 $WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.3 t_g \quad (1)$
- t_{nw} 及び t_g について、熱収支式による推定を行う。
- 黒球温度の熱収支式は、ISO 7726:1998¹²⁾より、下記の式を用いる。
 $\varepsilon_g \sigma [(t_r + 273)^4 - (t_g + 273)^4] + h_{cg}(t_a - t_g) = 0 \quad (2)$
- 自然湿球の熱収支式は、ISO 7243 (JIS Z 8504) より、下記の式を用いる。
 $4.18 v_a^{0.444} (t_a - t_{nw}) + 10^{-8} [(t_r + 273)^4 - (t_{nw} + 273)^4] - 77.1 v_a^{0.421} [p_{as}(t_{nw}) - RH \cdot p_{as}(t_a)] = 0 \quad (3)$
- 飽和水蒸気圧 ($P_{as}(t)$) については、Antoine の式 (ISO 7730:2005¹³⁾に記載) を用いる。
 $p_{as}(t) = e^{\left(\frac{16.6536 - 4030.183}{235+t} \right)} \quad (4)$

これらの式を用いて作成した、日射のない室内において気温と相対湿度から WBGT を簡易的に推定する図を作成し、2021年6月に発行された熱中症予防指針 Ver.3.1⁶⁾にて、「室内用の WBGT 簡易推定図」として公開した。改訂前後の簡易推定図を図1, 2に示す。

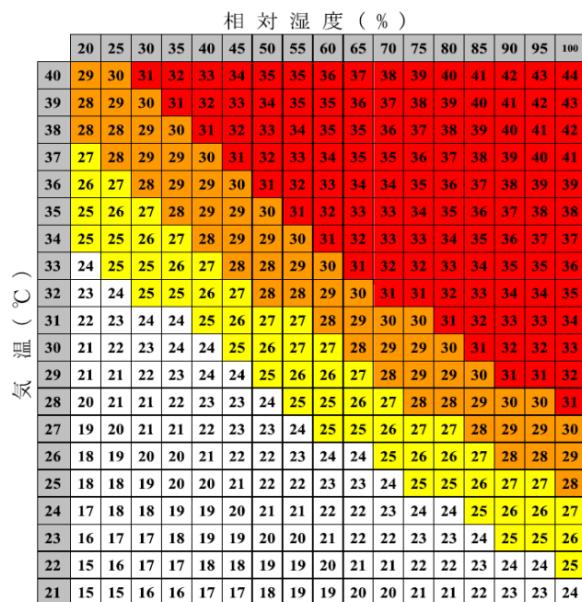


図1：改訂前の簡易推定図（Ver.1～Ver.3）

日本気象学会	相対湿度 [%]																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
40	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
39	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	42	43
38	28	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	42
37	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	
36	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	39		
35	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34	35	36	37	38	38	
34	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34	35	36	37	37	
33	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33	34	35	35	36
32	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	31	32	33	34	34	35
31	22	23	24	24	25	26	27	27	28	29	30	30	31	32	33	33	34
30	21	22	23	24	24	25	26	27	27	28	29	29	30	31	32	32	33
29	21	21	22	23	24	24	25	26	26	27	28	29	29	30	31	31	32
28	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	30	31
27	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	27	28	29	29	30
26	18	19	20	20	21	22	22	23	24	24	25	26	26	27	28	28	29
25	18	18	19	20	20	21	22	22	23	23	24	25	25	26	27	27	28
24	17	18	18	19	19	20	21	21	22	22	23	24	24	25	26	26	27
23	16	17	17	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	24	24	25	26
22	15	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	23	23	24	
21	15	15	16	16	17	17	18	19	19	20	20	21	21	22	23	23	

図2：改訂後の簡易推定図（Ver.3.1～Ver.4）

5. 新旧 WBGT 簡易推定図の検証実験

熱中症予防指針 Ver.3.1⁸⁾に掲載された改訂版の WBGT 簡易推定図は、日射のない室内を想定して熱収支式を用いて理論的に算出されたものであり、実測による検証が必要であることから、実環境における検証を行った。

- 実環境（屋内、屋外）において、黒球付き WBGT 測定器 (ISO 7243/JIS Z 8504 準拠の自然湿球型測定器、又は JIS B 7922 準拠の電子式指數計¹⁴⁾を用いた実測を行い、測定器にて測定された WBGT 値と、気温と相対湿度から導出した推定値を比較した。
- 比較する WBGT 推定値は、(1) 旧簡易推定図から読み取った値、(2) 新簡易推定図を作成する際に用いた算出式から導出した値、(3) 新簡易推定図から読み取った値、とし、各々推定値から WBGT 値を引いた値 ($\Delta WBGT$) で評価した。

(1) 屋内における検証結果

屋内における検証結果の例を図3、図4に、検証実験の結果をとりまとめたものを図5に示す。旧簡易推定図による推定値は、実測値よりも平均 1.5°C 程度高い値となった。一方、新版の算出式及び新簡易推定図による推定値は、実測値とよく一致していた。

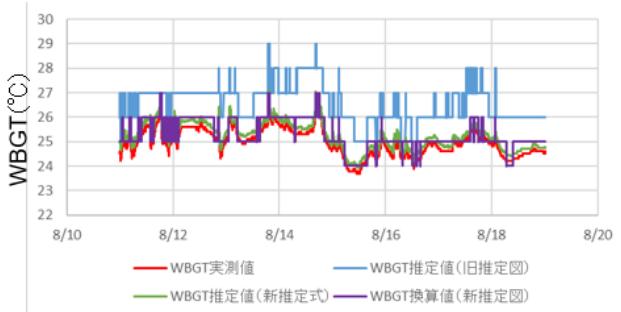


図3：屋内での検証結果例（WBGT）

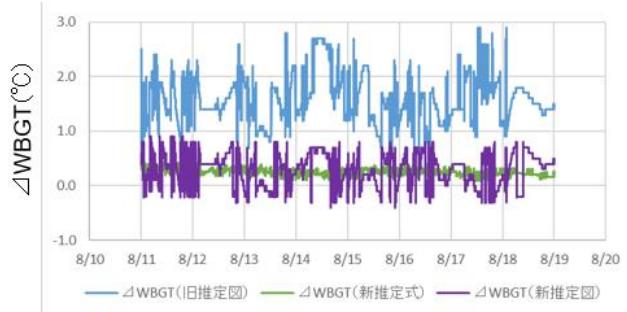


図4：屋内での検証結果例（ Δ WBGT）

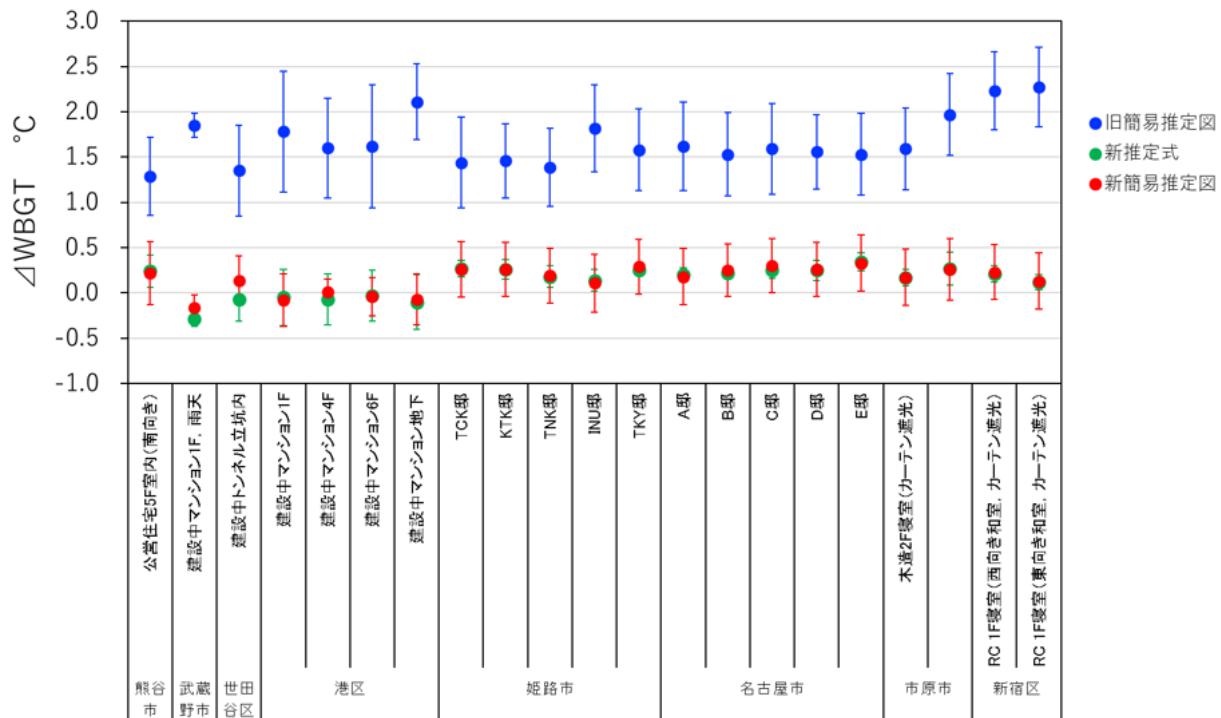


図5：屋内における検証実験のまとめ（平均値±SD）

(2) 屋外における検証結果

屋外における検証結果を図6, 7に示す。屋外では日中、特に日射の強い時間帯において新旧どちらの推定値も実測値よりかなり低い値となった。夜間は新版の算出式及び新簡易推定図を用いた推定値は比較的実測値に近い値であった。

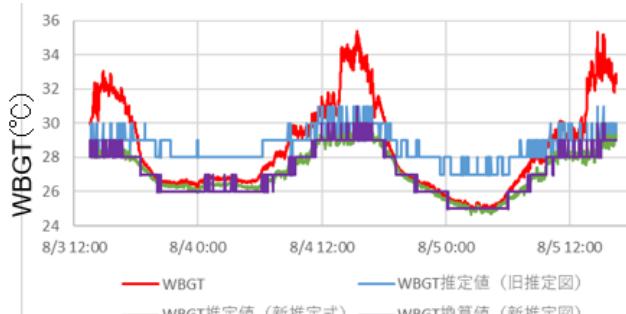


図6：屋外での検証結果（WBGT）

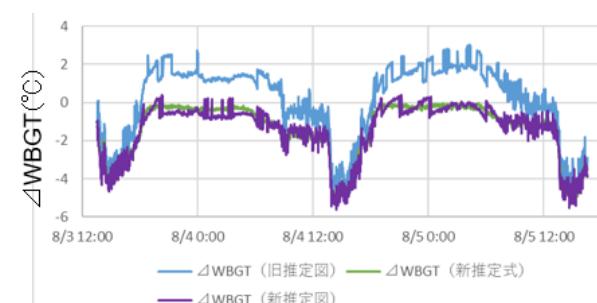


図7：屋外での検証結果（ Δ WBGT）

6. 考察

WBGTは労働環境のみならず、一般生活環境やスポーツ環境でも活用されており、熱中症予防対策に大きく寄与している。特に一般生活環境での熱中症死亡事故は労働環境と比べて非常に多く、一般生活環境における熱中症対策は非常に重要である。このことから、日本気象学会から発行されている「日常生活における熱中症予防指針」の果たす役割は大きいと考えられる。

一方で、WBGT値を把握するにあたり、本来であれば黒球付きのWBGT測定器を用いて実測す

るのが最善であるが、一般生活環境でそれを求めるのは困難である。したがって、熱中症予防指針に掲載されている簡易推定図の必要性は大きいと考えられる。しかしながら、従来の推定図は幾つかの問題があったことから、新たに日射のない室内専用の簡易推定図を作成し、置き換えを行った。この新推定図は、自然湿球及び黒球の熱収支式に基づくものであり、理論的に導き出されたものである。実環境における検証実験の結果、日射のない室内において非常によく推定できることを確認した。のことから、新推定図は一般生活環境において、熱中症死亡事例が多く発生している住居内等において活用可能であると考えられる。但し、屋外や日射のある環境では実際の WBGT 値よりも低値を示すことから、あくまでも「日射のない室内専用」であることを強調すべきである。

なお、旧推定図は、厚生労働省の「職場における熱中症予防対策マニュアル」¹⁵⁾や、各団体のパンフレット等に転載されて活用されていたが、推定図のみが独り歩きしてしまい、室内専用という注意事項が必ずしも明記されず、屋外現場にて使われているケースが散見されるという問題点があった。新推定図ではこれを防ぐため、図中に「室内用」と明記した上で、図の下部に注意事項を記載し、図のみが転載されても室内用であることが徹底されるよう、デザインを配慮した（図 8）。

近年ますます夏季の猛暑が著しくなっており、一般生活環境での熱中症防止対策は急務である。熱中症予防指針ならびに簡易推定図が普及し、熱中症の防止に繋がることが期待される。

室内用のWBGT簡易推定図 Ver.4

室内用 Ver. 4		相対湿度 [%]																
日本気象学会		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	40	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	36	37	38	38	39	39	40
	39	27	28	29	30	31	32	33	33	34	35	35	36	37	37	38	38	39
	38	27	28	29	29	30	31	32	33	33	34	35	35	36	36	37	37	38
	37	26	27	28	29	29	30	31	32	32	33	34	34	35	35	36	36	37
	36	25	26	27	28	29	29	30	31	31	32	33	33	34	34	35	35	36
	35	24	25	26	27	28	28	29	30	30	31	32	32	33	33	34	34	35
	34	24	25	25	26	27	28	28	29	30	30	31	31	32	32	33	34	34
	33	23	24	25	25	26	27	27	28	29	29	30	30	31	31	32	33	33
	32	22	23	24	24	25	26	26	27	28	28	29	29	30	31	31	32	32
	31	21	22	23	24	24	25	26	26	27	27	28	29	29	30	30	31	31
	30	21	21	22	23	23	24	25	25	26	26	27	28	28	29	29	30	30
	29	20	21	21	22	23	23	24	24	25	26	26	27	27	28	28	29	29
	28	19	20	21	21	22	22	23	24	24	25	25	26	26	27	27	28	28
	27	18	19	20	20	21	22	22	23	23	24	24	25	25	26	26	27	27
	26	18	18	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25	26	26
	25	17	17	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25
	24	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24
	23	15	16	16	17	18	18	19	19	20	20	20	21	21	22	22	23	23
	22	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	20	21	21	22	22
	21	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	19	20	20	21	21

WBGTによる
温度基準域

危険 31°C以上
厳重警戒 28°C以上31°C未満
警戒 25°C以上28°C未満
注意 25°C未満

【注意】この図は「日射のない室内専用」です。屋外では使用できません。また、室内でも日射や発熱体のある場合は使用できません。そのような環境では、黒球付きのWBGT測定器等を用いて評価して下さい。

日本気象学会: 日常生活における熱中症予防指針 Ver.4, 2022

図 8：室内用の WBGT 簡易推定図 Ver.4

参考文献

- ISO 7243:2017 : Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index.
- JIS Z 8504:2021 : 热環境の人間工学—WBGT（湿球黒球温度）指数を用いた热ストレス評価
- 日本気象学会 热中症予防研究委員会 <https://seikishou.jp/committee/>

- 4) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 1, 日本生気象学会雑誌 45(1) 34-42, 2008.
- 5) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 2, 日本生気象学会雑誌 49(2) 104-118, 2012.
- 6) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 3 確定版
<https://seikishou.jp/cms/wp-content/files/news/shishin.pdf>
- 7) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 3 訂正版
<https://seikishou.jp/cms/wp-content/files/yobousisin/20210305-104200.pdf>
- 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. 1
<https://seikishou.jp/cms/wp-content/files/yobousisin210603/20210604-114336.pdf>
- 9) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 4
<https://seikishou.jp/cms/wp-content/uploads/20220523-v4.pdf>
- 10) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防（小冊子）初版（2013年）
<https://seikishou.jp/cms/wp-content/files/message/heatstroke.pdf>
- 11) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防（小冊子）第2版（2021年）
<https://seikishou.jp/cms/wp-content/files/syousassi210603/20210625-093252.pdf>
- 12) ISO 7726:1998 : Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities
- 13) ISO 7730:2005 : Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- 14) JIS B 7922:2017 : 電子式湿球黒球温度（WBGT）指数計
- 15) 厚生労働省：職場における熱中症予防対策マニュアル（令和3年4月改訂版）,
<https://www.mhlw.go.jp/content/11200000/000636115.pdf> (2022/8/7閲覧)

ヘルメット装着型全身発汗量測定システムによる暑熱リスクの評価

○永野千景、森貴美代、嶋崎優、前田妃、角建太朗、田島慶一、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)

小須田司、橋元伸晃

(公立諏訪東京理科大学 工学部 機械電気工学科 センシング・アーキテクチャ研究室)

1. 背 景

暑熱環境下で身体作業を行う際は暑熱リスクを把握することにより、早期に熱中症発症を予測し、対策を講じることが重要である。しかし、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連続測定することは容易でない。そこで公立諏訪東京理科大学で、多くの労働現場で使用されている頭部保護のためのヘルメットに頭部発汗量を計測できる装置を組み込んだヘルメット装着型全身発汗量測定システム（以下、ヘルメット型発汗量測定デバイス）が開発された。これはヘルメットを装着することでできる頭部表面とヘルメットの間の空間における水分量の変化を計測することで、頭部発汗量および全身発汗量を推測するものである。

2. 目 的

本研究はヘルメット型発汗量測定デバイスを人工的に設定した暑熱環境下で運動をした際に使用して実際に正確に発汗量を計測できるかを実験的に評価した。また、核心温を同時に測定することで、そのデバイスが熱中症を予測するツールとして有用かを調べた。

3. 方 法

対象者は9人の健康な成人男性とし、2022年3~7月にヘルメット型発汗量測定デバイスおよび長袖夏服作業服、綿製肌着、靴下を着用のうえ、WBGT約31°C（温度40°Cあるいは35°C、相対湿度35%あるいは60%）の環境下で30分間、一定の負荷で自転車エルゴメーター運動をおこなわせた。ヘルメット型発汗量測定デバイスにより頭部発汗量を計測するとともに、据置型発汗計（POS-02、スキノス株社製、前腕にセンサーを装着）、直腸温、食道温、前額部皮膚温、心拍数を連続測定した。また、測定前後で体重測定を行い、その変化量から発汗量を推定した。なお、当ヘルメット型発汗量測定デバイスは隨時、改良されており、今回は改良型の試作品を使用した。

4. 結 果

ヘルメット型発汗量測定デバイスにより測定した推定全身発汗量は高温低湿条件で平均 556.3 ± 181.4 SD g、低温多湿条件で平均 943.9 ± 562.7 SD g、体重変化量により推定した全身発汗量は高温低湿条件で平均 726.3 ± 220.3 SD g、低温多湿条件で平均 627.7 ± 172.8 SD gであり、その差は高温低湿条件で 170.0 ± 273.8 SD g（中央値27.6）g、低温多湿条件で 316.3 ± 576.6 SD g（中央値162.4）gであった。

5. 考 察

ヘルメット型発汗量測定デバイスにより測定した推定全身発汗量と体重変化量を比較すると、高温低湿条件より低温多湿条件の方が大きな差を認めた。対象者が長髪であった者において、その傾向が顕著であり、高温多湿で水分が蒸発しにくい環境では頭髪内に水分が保持され、リアルタイムにヘルメット空間内の水蒸気量を測定できていない可能性がある。

暑熱環境下における耳垂部での発汗機能の定量的評価

○角建太朗、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、労働現場において複数のウェアラブルデバイスを試用した結果、耳垂装着型温度計測デバイスが最も作業干渉が少なく、作業者の装着感が優れていた。皮膚温を計測する場合、発汗が測定部位の温度変化に影響するが、一般に耳垂を含む耳介部は汗をかきづらいと認識されている。一方、先行研究で耳垂部の汗腺について詳細に言及しているものを見つけることはできなかった。

2. 目 的

人工的に設定した暑熱環境下で安静にさせた際に、耳垂部とほかの体表面の発汗量を同時に測定することで、耳垂部の発汗機能について定量的に評価する。

3. 方 法

2022年2月から6月にかけて、健康な成人男性5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として3条件(①気温 30°C、②気温 35°C、③気温 40°C、いずれも相対湿度は 50%)を設定した。前室において、左前腕部と、左耳垂部内側、左耳垂部外側のいずれかに発汗計を装着して測定を開始し、発汗計の値が安定したことを確認後、暑熱3条件のうちいずれかに設定した実験室内に移動した。45分間、座位安静とし、終了後は前室で安静を取らせた。発汗量は、体重変化と発汗計(据置型発汗計 POS-02、(有)スキノス技研)で測定した。

4. 結 果

いずれの環境条件下でも、左耳垂部では左前腕部よりも発汗量は明らかに少なかった。また、左耳垂部の中でも、外側よりも内側において発汗量が少なかった。

5. 考 察

耳垂部の中でも特に耳垂部内側の発汗量が少なかったことから、耳垂部内側にはとりわけ汗腺が少ないのでないかと考える。労働環境下でも比較的容易に装着でき、なおかつ発汗による影響の受けづらい皮膚温の測定部位として耳垂部内側は有用である可能性がある。ただし、発汗量は0ではなく、発汗による影響を多少なりとも受けると考えられるため、耳垂部内側の温度と核心温との相関の有無についてはさらなる検討が必要であると考える。

年齢と地域の気候差が熱中症発症に与える影響

○上野 哲（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）

1. はじめに

熱中症発症を予防するための基準には地域の夏季気象条件や年齢の違いを考慮したものはなく一律の基準となっている。しかし地域差や年齢差が熱中症発症に影響することは過去の疫学研究において示されている。本研究では、地域差や年齢差が熱中症発症に与える影響を定量的に評価し、今後の熱中症対策のための情報提供を行うことを目的とした。

2. 方 法

2017～2020 年の各年 7 月下旬から 8 月下旬までに総務省消防庁が都道府県ごとに発表している日別熱中症救急搬送数を救急搬送日の日最高気温(気象庁)及び日最高 WBGT(環境省)とリンクして分析した。各都道府県の日最高気温及び WBGT は、人口が最も多い 3 つの都市(北海道は 6 つの都市)での観測値を各都市の人口で加重平均した値を用いた。各都道府県の 3 つの年齢階層(少年(7～17 歳)、成人(18～64 歳)、高齢者(65 歳以上))別に 1°C 刻みの日最高気温及び WBGT に対する人口 10 万人当たりの熱中症救急搬送者数を求めた。各都道府県の各年齢層で日最高気温及び WBGT に対して熱中症救急搬送者数の対数がほぼ回帰直線上にプロットされたことから、1 日に人口 10 万人当たり 1 人の割合で熱中症救急搬送が発生する日の日最高気温(T_1)及び WBGT(W_1)を各回帰直線の式から求めた。各都道府県の夏季日最高気温及び WBGT の平均値に対して各都道府県の 3 つの年齢階層の T_1 及び W_1 をプロットして両者の関係を分析した。

3. 結 果

T_1 及び W_1 の年齢差に関しては、成人で最も高く、次が少年で高齢者が最も低かった。夏季の日最高気温の平均値が 32°C の都道府県で比較すると T_1 は 35.2°C(成人)、33.5°C(少年)、31.9°C(高齢者)であった。日最高 WBGT の平均値が 30°C の都道府県で比較すると 32.4°C(成人)、31.1°C(少年)、29.8°C(高齢者)であった。気象条件の地域差に関しては、 T_1 の最大差は成人で 5.6°C(北海道と山梨県)、少年で 4.9°C(北海道と愛知県)、高齢者では 4.0°C(福島県と山梨県)だった。日最高気温の平均値が 1°C 上昇するにつれて、 T_1 は平均して 0.70°C(成人)、0.61°C(少年)、0.53°C(高齢者) 上昇した。

4. 考 察

年齢に関しては高齢者では成人に比べて日最高気温で 3.3°C 低い日に同じ人数だけ熱中症により救急搬送されていた。日最高 WBGT では 2.6°C 低い日に成人と同じ人数の熱中症搬送者数があった。高齢者は放熱機能や温熱感覚が衰えているのが原因に考えられる。加えて高齢者では屋内での熱中症が多く、クーラーが動作していない場合は屋内の気温が屋外に比べて高くなる可能性が高いことも原因として考えられる。少年については、熱中症で救急搬送される主な原因是スポーツなので、身体内で発生する代謝熱により成人よりも低い温度で熱中症を発症していると考えられる。また、思春期に達していない年齢では発汗等による放熱機能が十分に発達していないことも原因として考えられる。

地域差では夏季日最高気温の平均値が低い地域、特に北海道や東北地方で熱中症発症日の日最高気温が低く、最も高い都道府県と比較すると 4～5°C 以上低かった。北海道や東北地方では暑熱順化が十分進んでいないため熱中症が発症しやすくなっていると考えられる。

熱中症の警戒情報は全国一律であり年齢差や地域差を設けていないためこれらを考慮した熱中症基準の検討が求められる。

なお、本発表の内容は <https://doi.org/10.1186/s12199-021-01034-z> に掲載。

ドライアイスジャケットについて

—経緯と効果—

○宮城克行（E N E O S 株式会社）

1. 背景・目的

猛暑が年々激しさを増す中、より効果の高い熱中症対策が求められてきている。

世の中に熱中症対策用品が数多く販売されるなか、着衣型の対策用品として、昨今、保冷剤を用いたクールベストや送風機能付き作業服が広く使用されている。

しかしながらクールベストの問題点として、冷却効果が30分程度しか持続しないこと、結露により作業服が濡れ不快であること、等が挙げられる。

また、送風機能付き作業服の問題点として、気温が35℃を超える環境では、熱風を体表に吹き付けることになり、特に高齢者に対し逆に熱中症リスクを高めてしまう懸念があること、防爆エリアや粉じんの舞う作業環境では使用出来ないこと、等が挙げられる。

以上の問題を解決するために、弊社ではドライアイスを用いたクールジャケットを検討した。

弊社は、製油所で石油製品の副産物として生成されるCO₂を大量排出しているので、その有効活用も開発の理由の一つである。

2. 方 法

ドライアイスを用いたジャケットを使用する際の懸念としては、凍傷と、ドライアイスの気化によるCO₂中毒、酸欠が挙げられる。

凍傷対策としては、人の皮膚に接する部分の生地を厚くし、更に、温度調整用のパックを用いることで着用条件、作業環境、体感温度の個人差等に適応出来るようにした。

また、CO₂中毒、酸欠対策については、原則、CO₂が滞留しない場所でのみ使用するルールを定めた。

なお、ドライアイスの昇華を最小限にするため外側には断熱シートを貼って外部からの熱を遮断し、ドライアイスの冷熱を無駄なく身体に取り込む構造とした。

完成したプロトタイプ（図1）は、弊社の製油所等28箇所で合計503人に対し、2021年の7～8月に使用テストを行った。

3. 結 果

上記使用テストの結果、ジャケットを使用した人から熱中症は発生しなかった。

また、CO₂、酸欠対策として、閉所等での使用を禁止してテストしたため問題は発生しなかった。

ドライアイスは1度ジャケットに装着すると結露がほとんど出ないまま冷却効果が3～4時間持続し、使用者が作業を中断することなく終始快適に着用出来たため非常に好評で、使用テスト期間終了後も継続・追加使用の希望が多かった。

なお、作業休憩中に、手のAVA血管を冷やすように、脇の近くにドライアイスピケットを取り付け（⇒図2）、更に、ジャケットを上下逆に着用すると、首周りを冷やすことができる仕様としたため、使用者が好みや状況により冷却方法を選択出来たことも好評理由のひとつであった。

4. 考 察

上記の通り、昨年度の使用テストでは良好な結果が得られたが、作業者の改善意見等を取り入れて、今年度版のドライアイスジャケットには、保冷シート部分や脇の下部分の生地の厚さ調整、アタッチメントの位置と形状の設計変更等を行った。

なお、昨年の使用テストは、閉所内で使用することを禁止し実施したが、今年からの外部販売開始に伴い、閉所で使用する人が出てくる可能性もあるため、ジャケットには酸素濃度計を装着して、万が一酸素が低下した場合はアラームで作業者に知らせる設計とした。

現在、外部販売先および使用者数は順調に拡大しているが、継続的に使用者の意見を収集し、より熱中症リスク低減効果が高く、快適で安全なジャケットの改良を続けていきたい。

図 1



図 2

