

建設作業に従事する高齢者の暑熱作業における 心拍数と暑熱環境の関連性についての研究

齊藤 宏之^{*1} 澤田 晋一^{*2} 赤川 宏幸^{*3}

建設作業者に装着した IoT 接続型のリストバンド型心拍計にて作業中の心拍数を取得するとともに、心拍計からのビーコン信号による作業場所データと、現場の複数箇所に設置した WBGT 測定器の結果より、作業者がばく露されている WBGT 値を推定した。また、作業者に装着した小型カメラまたは作業場に設置したカメラによる動画を解析することにより作業内容・作業強度を推定し、作業強度別の WBGT 基準値からの WBGT 超過度と、心拍数の関連性についての解析を行った。若齢群 (40 代以下) 12 名、高齢群 (50 代以上) 8 名の計 20 名から得られた有効なデータを解析した結果、作業強度に基づいた WBGT 基準値からの超過度と、心拍数基準値 (180 年齢) からの超過度の関連性において、若齢群 ($r=0.20$) と高齢群 ($r=0.36$) の双方で弱い相関関係が見られ、かつ高齢群の方が若齢群に比べて傾き・切片ともに有意に大きい結果が得られた。さらに、高齢群では WBGT (-) かつ心拍数 (+)、すなわち WBGT 値が基準値未満であるにも関わらず心拍数が基準値を超過しているケースが若齢群よりも多く観察され、カイ 2 乗検定でも有意であった ($p<0.05$)。これらの結果より、今回の研究では対象者数が少ないため限定的ではあるものの、高齢者の熱中症発症リスクが高いことの一端を表している可能性が示唆された。

キーワード: 建設作業, 暑熱環境, WBGT, 心拍数.

1. はじめに

近年、労働者に占める高齢者の割合は増加の一途をたどっており、労働災害に被災する高齢者も増加傾向にある¹⁾。熱中症が多発している建設業や警備業でも高齢労働者の増加傾向は顕著であり²⁾、今後、高齢者の熱中症労働災害についても増加する可能性が高い。熱中症のリスク要因として、高血圧、糖尿病、心疾患などの基礎疾患とともに高年齢が挙げられており、高齢者の熱中症リスクが高いことは認識されている³⁾。来るべき高齢化社会において、高年齢労働者の熱中症対策を行うことは急務である。

熱中症防止のための指標としては、暑熱環境指標である WBGT が広く用いられている。これは米軍の演習における熱中症対策として提言されたもの⁴⁾で、WBGT は ISO 7243⁵⁾ (JIS Z 8504⁶⁾) にて規定されており、厚生労働省の通達⁷⁾や、「職場における熱中症予防対策マニュアル」⁸⁾でも用いられている。WBGT と熱中症発症者数の間に有意な相関関係を認めた例も多く^{9,10)}、測定や評価が簡便であることもあり、熱中症対策用の指標として広く用いられている。WBGT は作業者が受ける暑熱ストレスに相当する指標であり、ISO (JIS) 及び通達等では、代謝率 (作業強度) 及び暑熱順化の有無別に、熱中症の発症リスクが高くなるとされる WBGT 値をばく露限度として示している⁵⁻⁸⁾。

一方、暑熱ストレスを受けた結果として人体が受ける温熱負担を暑熱ストレインという。代表的な暑熱ストレインである体温 (深部体温) および心拍数については暑熱ストレス (WBGT) と相関があることが報告されており^{11,12)}、熱中症予防のための指標として使用することが可能とされている。一方で、作業中の深部体温をモニタリングする手法は現時点では確立されておらず、深部体温との間にある程度の相関があることが報告¹³⁾されている心拍数での評価が一般的であるのが現状である。心拍数については、リストバンド型等のウェアラブル心拍計と IoT 技術を用いた熱中症対策システムが複数の事業者にて運用されており、これらを活用することは作業現場における熱中症予防対策に有用であると考えられる。その一方で、心拍数の基準値として用いられる「180 から年齢を引いた値」が、アラートを発出する「しきい値」として適当であるかどうかについては、作業中にこの値を容易に超過してしまうとの報告もある。この値は ISO 9886¹⁴⁾を根拠とするもので、ISO 9886 では作業時間の持続心拍数として、この値を超えてはならないとしているが、実際の熱中症リスクが、暑熱ストレス、運動強度、着衣の他、年齢、持病など、個人差も大きいことから、熱中症防止に有効なシステムとするためには、ある程度の根拠に基づくしきい値の採用が求められる。

本研究を行うに当たり、暑熱ストレス (WBGT) と暑熱ストレイン (心拍数) の分布についての分類を行った (図 1)。パターン 1 は、暑熱ストレス、暑熱ストレイン共に基準値 (許容限度) を下回っている状況で、望ましい状態である。それに対し、パターン 2 は暑熱ストレス (WBGT) が基準値よりも高くても暑熱ストレイン (心拍数) が許容限度以下である状況であり、WBGT 基準値が低すぎる (WBGT 基準値を高くできる余地がある) と考えられる。パターン 3 は WBGT 基準値以下の暑熱ストレスでも暑熱ストレイン (心拍数) が許容限度を超過

*1 労働安全衛生総合研究所 化学物質情報管理研究センター
ばく露評価研究部

*2 東京福祉大学

*3 株式会社大林組

連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1

労働安全衛生総合研究所 化学物質情報管理研究センター

ばく露評価研究部 齊藤宏之

E-mail: saitoh@h.jniosh.johas.go.jp

しているケースで、WBGT 基準値が高すぎる（WBGT 基準値をより厳しくする必要がある）状況と考えられる。現在、WBGT の基準値は年齢による差を設けていないが、仮に高齢者においてパターン3のような傾向が見られた場合には、高齢者の熱中症リスクが若齢者よりも高く、熱中症発症防止のために高齢者の WBGT 基準値を検討することが有用になる可能性がある。

本研究では、実際の建設作業現場にて、作業強度及び年齢を考慮した上で、暑熱ストレス（WBGT）と心拍数の関連を見ることにより、この分類に基づいた基礎的なデータを得るとともに、特に高年齢労働者における基準値についての検討に資する情報を得ることを目的とした。

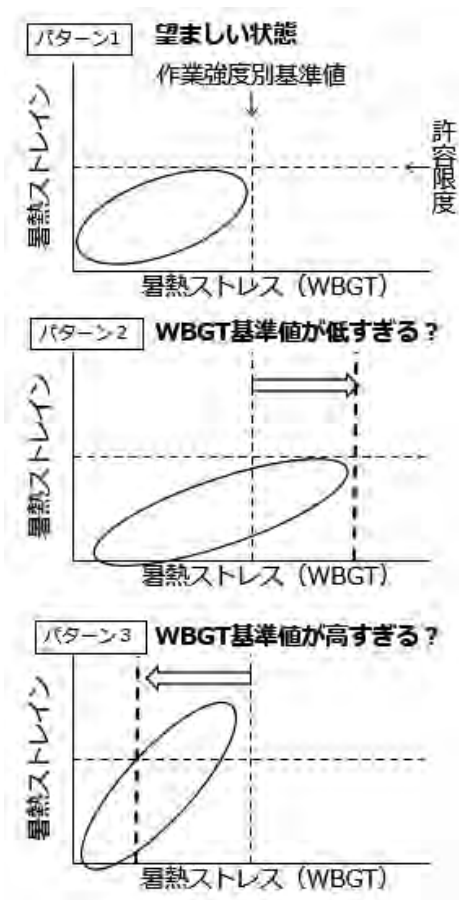


図1. 暑熱ストレスと暑熱ストレインに関する分類

2. 方法

2.1 調査対象者の内訳

2020～2022年の夏季に建設現場の作業者を対象とした調査を行った。調査対象期間は、2020、2021年が1日間、2022年が5日間である。調査対象者のうち、心拍数、WBGT、活動量、作業内容（作業強度）の有効なデータセットを取得できた20名の内訳を表1に、年齢別内訳を表2に示す。40代以下を若齢群（n=12）、50代以上を高齢群（n=8）に分類した。各職種の代表的な作業例を表3に示す。

表1. 調査対象者の内訳

調査年月	年齢	性別	職種	有効データ数 (注)
2020年 8月	44	男	配管工	287
	47	男	配管工	205
	46	男	土工	207
	62	男	ボード工	209
	51	男	はつり工	200
2021年 8月	52	男	解体工	768
	56	男	警備	487
	47	男	警備	268
2022年 8月	73	男	杭工	1408
	22	男	杭工	693
	62	男	杭工	641
	38	男	オペレーター	442
	32	男	杭工	433
	44	男	杭工	318
	28	男	杭工	233
	18	男	施工	177
	69	男	杭工	117
	22	女	管理	68
	24	男	管理	40
	56	男	管理	35

(注)「有効データ数」は、心拍数、WBGT、活動量、作業内容（作業強度）を満たすデータ数である。

表2. 調査対象者の年齢別内訳

群	年代	人数（うち女性）
若齢群 (40代以下)	10代～20代	6(1)
	30代	1
	40代	5
高齢群 (50代以上)	50代	4
	60代	3
	70代以上	1
		12(1)
		8

表3. 各職種の代表的な作業例

職種	代表的な作業例
配管工	高車作業、配管設置作業
土工	軽いはつり、手腕作業
ボード工	ボード切断・貼り付け、ロックウール詰め
はつり工	グラインダー、軽作業
解体工	バックホー運転、事務作業
杭工	運転、杭打ち、手腕作業、運搬
施工	手腕作業
管理	巡視
オペレーター	運転
警備	警備

2.2 心拍数及び WBGT 値の取得

対象者に IoT 接続リストバンド型心拍計を装着し、作業中の心拍数の値を得た。測定間隔は 20 秒であるが、他のデータと統一するため、1 分毎の値に平均化した値を用いた。WBGT 値は作業現場に複数台設置したクラウド型 WBGT 計（暑さ指数ウォッチャー、大林組）により 1 分間隔で測定され、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把握した作業場所推定データとの照合により、作業員近傍の WBGT 値を取得した。心拍数、WBGT 値及び位置情報は、作業員向け体調管理システム（Envital®, 大林組）によりクラウドサーバーに送られ、保存された^{15,16)}。システム全体の概要を図 2 に、ゲートウェイ機器とのビーコン通信による作業場所及び近傍の WBGT 値取得のイメージを図 3 に示す。

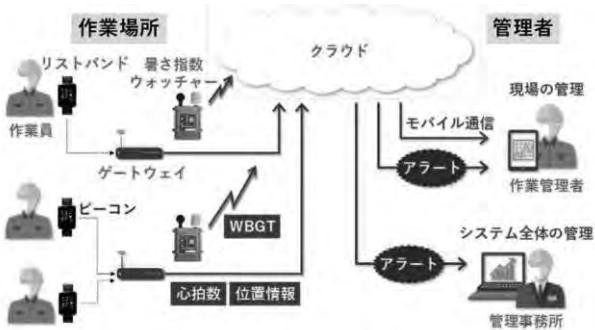


図 2. IoT 機器を用いたバイタルデータ及び WBGT の取得システムの概要

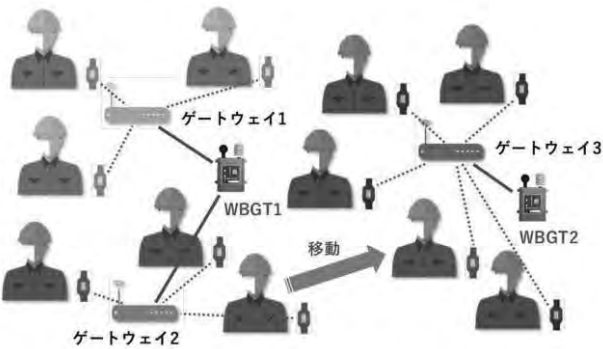


図 3. ゲートウェイ機器とのビーコン通信による作業場所及び近傍 WBGT 値の取得のイメージ

2.3 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（1 分間隔）。また、作業者に装着した小型カメラまたは現場に設置したカメラで撮影した作業中の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 8996¹⁷⁾及び ISO 7243（JIS Z 8504）に基づく作業強度（代謝率区分）を割り当てた（表 4）。

表 4. 主な作業内容と代謝率区分^{6,7)}

代謝率区分	作業例
0 安静	安静, 楽な座位
1 低代謝率	軽い手作業(書く, タイピング, 描く, 縫う, 簿記); 手及び腕の作業(小さいペンチツール, 点検, 組立て又は軽い材料の区分け); 腕及び脚の作業(通常の状態での乗り物の運転, フットスイッチ及びペダルの操作). 立位でドリル作業(小さい部品); フライス盤(小さい部品); コイル巻き; 小さい電機子巻き; 小さい力で駆動する機械; 2.5 km/h 以下での平たん(坦)な場所での歩き.
2 中程度代謝率	継続的な手及び腕の作業 [くぎ(釘)打ち, 盛土]; 腕及び脚の作業(トラックのオフロード運転, トラクター及び建設車両); 腕と胴体の作業(空気圧ハンマーでの作業, トラクター組立て, しっくい塗り, 中くらいの重さの材料を断続的に持つ作業, 草むしり, 除草, 果物及び野菜の収穫); 軽量の荷車及び手押し車を押したり引いたりする; 2.5 km/h ~ 5.5 km/h での平たんな場所での歩き; 鍛造
3 高代謝率	強度の腕及び胴体の作業; 重量物の運搬; ショベル作業; ハンマー作業; のこぎり作業; 硬い木へのかんな掛け又はのみ作業; 草刈り; 掘る; 5.5 km/h ~ 7 km/h での平たんな場所での歩き. 重量物の荷車及び手押し車を押したり引いたりする; 鋳物を削る; コンクリートブロックを積む.
4 極高代謝率	最大速度の速さでのとても激しい活動; おの(斧)を振るう; 激しくシャベルを使ったり掘ったりする; 階段を昇る; 平たんな場所でする; 7km/h 以上で平たんな場所を歩く.

2.4 データ解析

心拍数、WBGT、活動量及び作業強度（代謝率区分）が揃っているデータについて、下記の解析を行った。統計解析は R 4.3.1¹⁸⁾を用いて行った。

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、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について、箱ひげ図により分布の確認を行うとともに、Holm の方法による多重比較にて有意差の有無を確認した。

2) 年齢区分と活動量、代謝率区分の関係

若齢群（40 代以下）と高齢群（50 代以上）における活動量と代謝率区分について、箱ひげ図による分布の確認と、及びピアソンの積率相関係数を用いた関連の確認を行った。

2) 年齢区分と活動量, 代謝率区分の関係

活動量計による活動量別, ならびに作業内容から割り当てた代謝率区分別の心拍数について, 箱ひげ図により分布の確認を行うとともに, Holmの方法による多重比較にて有意差の確認を行った。

また, 年齢区分(若齢群, 高齢群)別の心拍数についても同様に箱ひげ図による分布の確認と, ピアソンの積率相関係数を用いた相関の確認を行った。

4) WBGT と心拍数の関係

暑熱ストレス(WBGT)と暑熱ストレイン(心拍数)の関連について, ① WBGT値と心拍数(年齢, 作業強度ともに考慮せず), ② 作業内容に基づく代謝率区分によるWBGT基準値からの超過と心拍数(作業強度のみ考慮), ③ 作業強度に基づく代謝率区分によるWBGT基準値からの超過と, [180-年齢]からの心拍数の超過(年齢, 作業強度ともに考慮)について, 若齢群(40代以下)と高齢群(50代以上)における相関の有無をピアソンの積率相関係数にて確認した上で, 相関が認められた両群の組み合わせについて, 共分散分析(ANCOVA)による群間の比較を行った¹⁹⁾。

5) WBGT, 心拍数の基準値からの超過の有無に関する評価

WBGTと心拍数それぞれの基準値超過の有無についての四分表を若齢群, 高齢群ともに作成し, カイ2乗検定により, 独立性の評価を行った。

3.2 年齢区分と活動量, 代謝率区分の関係

年齢区分(若齢群, 高齢群)による活動強度及び代謝率区分の分布を図5に示した。いずれも若齢群と高齢群の間に有意な差は認められなかった。

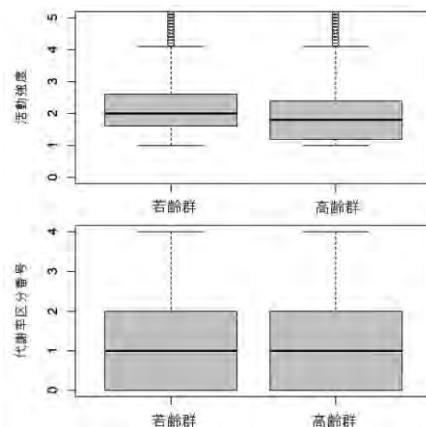


図5. 年齢区分による活動強度及び代謝率区分の分布

3.3 活動量・代謝率区分と心拍数の関係

活動量計による活動強度区分と心拍数との関係を図6に示した。ピアソンの相関係数は $r=0.44$ と, 弱い相関が認められた。箱ひげ図による心拍数の分布は活動強度区分5 METs付近までは上昇傾向にあったが, 活動強度区分6 METs以上においては上昇傾向が見られなかった。一方, 作業内容に基づく代謝率区分と心拍数の関係(図7)では, ピアソンの相関係数 $r=0.15$ と, 有意な相関は認められなかった。

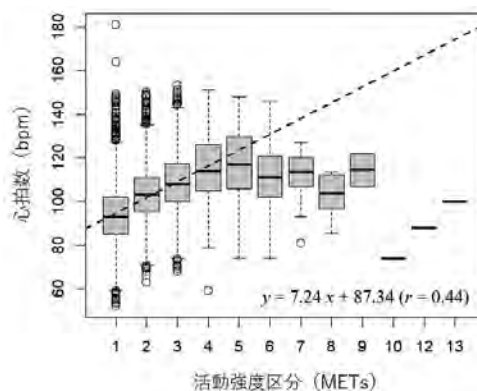


図6. 活動量計による活動強度と, 心拍数との関係

3. 結果

3.1 作業強度と代謝率区分の関係

活動量計によって得られた活動強度(METs値)と, 作業中の動画から割り当てた作業内容に基づく代謝率区分との関係を図4に示した。代謝率区分と活動強度の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。特に, 代謝率区分2(中程度代謝率)で活動強度が低下していた。

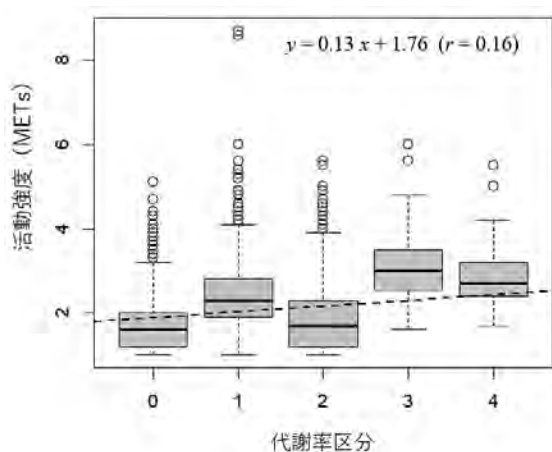


図4. 活動量計による活動強度と, 作業内容に基づく代謝率区分の関係

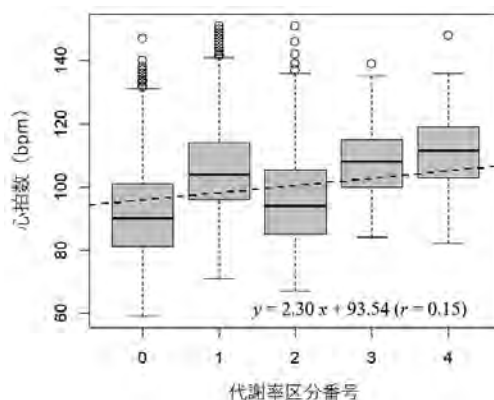


図7. 作業内容に基づく代謝率区分と心拍数の関係

3.4 年齢区分別の心拍数及び心拍数超過度

年齢区分別（若齢群，高齢群）の心拍数の分布を図8に，年齢区分別の心拍数超過度（180-年齢からの超過度）の分布を図9に示した．心拍数は若齢群より高齢群の方が有意に低かった（ $p < 0.001$, t-test）．その一方で，心拍数基準値（180-年齢）からの超過度は若齢群よりも高齢群の方が有意に高かった（ $p < 0.001$, t-test）．

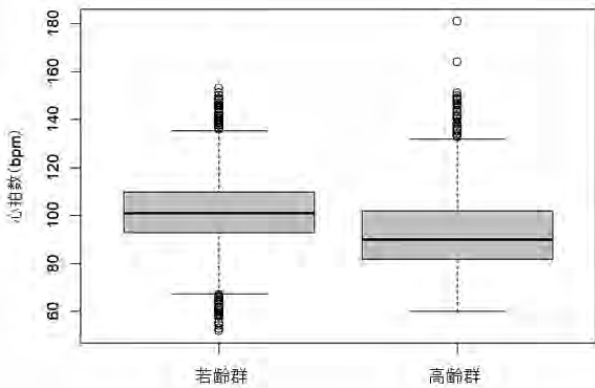


図8. 年齢区分別の心拍数の分布

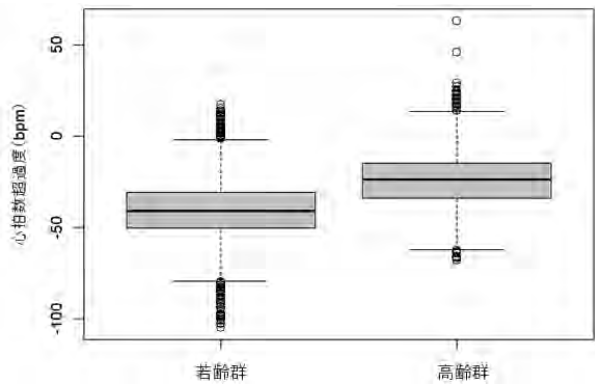


図9. 年齢区分別の心拍数超過度の分布

3.5 WBGT と心拍数の関係

年齢区分別のWBGT値と心拍数の関係を図10に示した．ピアソンの相関係数は若齢群で $r = -0.019$ ，高齢群で $r = 0.076$ と低く，両群ともに相関は認められなかった．

年齢区分別のWBGT基準値からの超過度と心拍数の関係を図11に示した．ピアソンの相関係数は若年群で $r = 0.25$ と弱い相関が認められた一方，高齢群では $r = 0.10$ と，相関は認められなかった．

年齢区分別のWBGT基準値からの超過度と，心拍数基準値（180-年齢）からの超過度の関係を図12に示した．ピアソンの相関係数は若年群で $r = 0.20$ ，高齢群で $r = 0.36$ といずれも弱い相関が認められた．両群の回帰直線の差について共分散分析を行ったところ，傾き，切片ともに $p < 0.001$ で有意な差がみられ，若齢群に比べて高齢群の方が同じWBGT超過度での心拍数超過度が有意に高い結果であった．

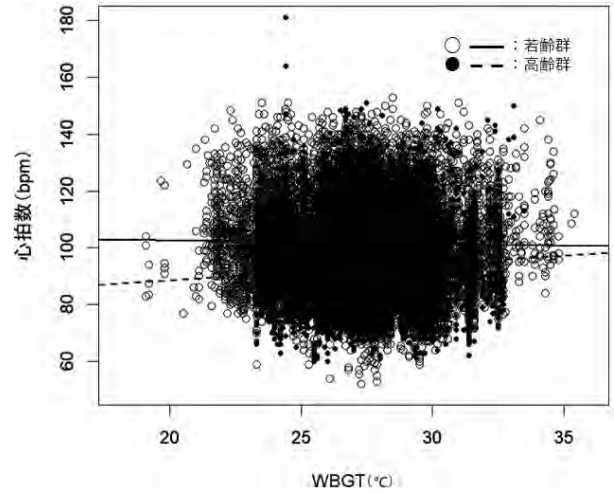


図10. WBGT値と心拍数の関係

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

高齢群： $y = 0.583x + 76.92, r = 0.076$

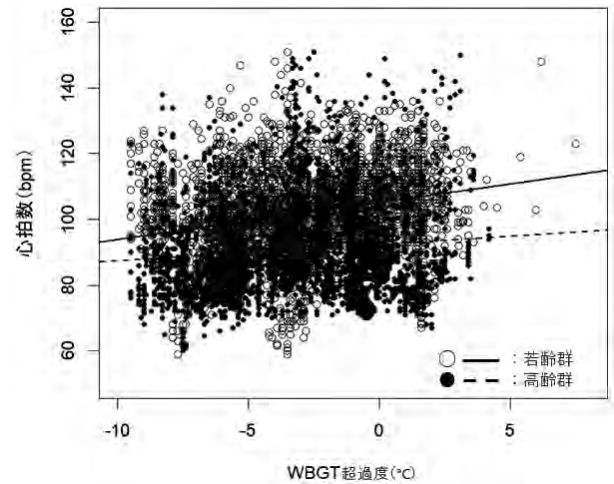


図11. WBGT超過度と心拍数の関係

若齢群： $y = 1.118x + 105.11, r = 0.25$

高齢群： $y = 0.484x + 92.32, r = 0.11$

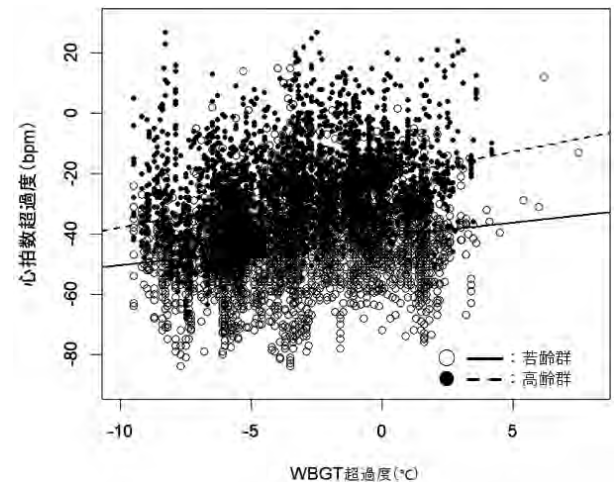


図12. WBGT超過度と心拍数超過度の関係

若齢群： $y = 0.94x - 40.93, r = 0.20$

高齢群： $y = 1.67x - 21.08, r = 0.36$

3.6 WBGT 及び心拍数の基準値からの超過の有無の割合
 全年齢群、若齢群、高齢群における WBGT 及び心拍数の基準値からの超過の有無の割合を表 5 に示した。これは、全年齢群 (n=20)、若齢群 (n=12)、高齢群 (n=8) について、代謝率区分別の WBGT 基準値からの超過の有無と、[180-年齢]からの心拍数超過の有無についての四分表である。いずれの群においても約 8 割のデータが WBGT (-) かつ心拍数 (-)、すなわち WBGT も心拍数も基準値以下のグループ (図 1 における左下のエリア) に属していた。一方、WBGT (-) かつ心拍数 (+)、すなわち WBGT 値が基準値未満であるにも関わらず心拍数が基準値を超過しているケース (図 1 における左上のエリア) が、若齢群で 0.3%であったものが高齢群では 3.6%を占めていた。また、WBGT (+) かつ心拍数 (-)、すなわち WBGT が基準値を超過していても心拍数が基準値を超過していないケース (図 1 における右下のエリア) は、若齢群で 19.6%であったのに対し、高齢群では 15.8%であった。カイ二乗検定により、各群における独立性をみたところ、全年齢群及び若齢群では有意ではなかったが、高齢群では $p < 0.05$ で有意な独立性が見られた。

表 5. 全年齢群、若齢群及び高齢群における、WBGT・心拍数の基準値からの超過の有無の割合

		心拍数(-)	心拍数(+)
全年齢群	WBGT(-)	5790 (79.8%)	149 (2.1%)
	WBGT(+)	1274 (17.6%)	41 (0.6%)
若齢群 (40 代以下)	WBGT(-)	2707 (80.0%)	11 (0.3%)
	WBGT(+)	664 (19.6%)	1 (0.0%)
高齢群 (50 代以上)	WBGT(-)	3083 (79.6%)	138 (3.6%)
	WBGT(+)	610 (15.8%)	40 (1.0%)

(注) WBGT(-)・(+): 代謝率区分別の WBGT 基準値からの超過の有無、心拍数(-)・(+): 心拍数の[180-年齢]からの超過の有無

4. 考察

熱中症防止対策として、暑熱環境指標である WBGT を用いることは ISO や JIS にて規定されているほか、厚生労働省の通達や各種ガイドブック等でも明記されており⁵⁻⁸⁾、WBGT と熱中症発症との間の関連性についての研究結果も多くあることから^{9,10)}、熱中症防止対策として有用と考えられる。また、暑熱ストレインの指標である体温 (深部体温) および心拍数についても WBGT との相関が報告されており^{11,12)}、熱中症防止対策としてこれらを活用することにより有効な対策を行うことが期待される。熱中症対策上、最も有効なバイタルデータは深部体温であるが、作業中の深部体温のモニタリング方法 (推測方法) についての幾つかの試みがあるものの、現時点では実用化には至っていない。このことから、熱中症防止を目的としたバイタルデータの利用は、現段階

では主として心拍数を指標としたものがほとんどである。心拍数はウェアラブル機器で容易に測定可能であり、IoT 機器と組み合わせたシステムも多く開発されている。今回用いたシステムもそのうちの一つであり、リストバンド型の心拍計、クラウド接続型の WBGT 計、ならびにリストバンドと通信するゲートウェイの組み合わせにより、環境指標である WBGT と生体指標である心拍数、ならびに位置情報が紐付けられ、管理者にアラートを出すことが出来る特徴を持っている^{15,16)}。作業場の WBGT は場所によって異なる数値となることが想定されるため、作業者近傍の WBGT 値をできるシステムは有用と考えられる。

今回の研究において、WBGT と心拍数の関連性についての検討を行ったが、WBGT 基準値は作業強度に基づく代謝率の区分によって決定されることから、これを特定することが求められる。作業者の身体活動量は活動量計を用いて測定することが一般的であることから、本研究でも腰に活動量計を装着し、身体活動量 (METs 値) を得たが、この値と作業中の動画から割り当てた作業内容に基づく代謝率区分との間に有意な相関は認められなかった。この要因としては、建設作業で想定される作業が多岐にわたっており、身体の一部 (今回は腰部) の活動量だけでは作業強度を特定することが難しいことに加え、動画の解析による作業強度の判定精度が良くないためと考えられる。WBGT 基準値が作業内容に基づく代謝率区分に依存していることから、本研究では活動量計による活動量ではなく、画像から類推した作業強度 (代謝率区分) を解析に用いたが、代謝率区分の割り当てに際しては、作業中の動画を撮影し、それを解析する必要があること、作業内容を特定できる画像の歩留まりが悪いこと、作業内容の特定が非常に煩雑かつ労力を要することなどの問題があった。また、作業内容を動画より類推し、代謝率区分に割り当てる方法は人力に頼っているため誤差が大きく、判定精度が良くないことが想定される。特に、本研究では代謝率区分 2 (中程度代謝率) で活動強度が低下しており、動画から代謝率区分 2 に分類された作業の中に、この区分に分類するのが不適当な作業が混在していたことが示唆される。このことから、WBGT 基準値を用いた検討を行う場合における代謝率区分の特定方法については、さらなる検討が必要と思われる。

WBGT と心拍数の関係は、双方の生データを用いた場合においては目立った関連性は認められなかった (図 10)。人体が受ける熱ストレス (WBGT) と心拍数の間にはある程度の相関があるとされている^{11,12)}が、その一方で人体の熱収支式としては、次式が一般的に用いられている²⁰⁾。

$$S = M - W - K - C - R - E - C_{res} - E_{res}$$

(S:人体蓄熱量, M:エネルギー代謝量, W:外部仕事量, K:伝導熱伝達量, C:対流熱伝達量, R:放射熱伝達量, E:皮膚からの蒸発熱伝達量, C_{res} :呼吸性対流熱伝達量, E_{res} :呼吸性蒸発熱伝達量)

ここで、WBGT で直接評価される熱ストレスは、 $C+C_{res}$ (気温)、 $E+E_{res}$ (湿度)、 R (輻射熱) であり、これ以外の要素は考慮されていない。本研究において、WBGT と心拍数の間には相関が見られなかった (図 10) が、WBGT の代わりに代謝率区分別の WBGT 基準値からの超過度を指標として用いた場合において、若齢群において弱い相関が見られた (図 11) ことは、この熱収支式における M (エネルギー代謝量) を評価に加えることによって、相関性が向上したことを意味する。このことから、WBGT による暑熱環境評価を行う際には、身体作業に伴う熱産生、すなわち作業強度に基づく代謝率の評価が重要であることを示していると考えられる。また、図 11 では若齢群に比べて高齢群の心拍数が低い結果であったが、これは一般的に安静時心拍数、運動時心拍数ともに加齢に伴い低下する傾向があることが報告されていることと一致する²¹⁾。

さらに、暑熱ストレインの指標として、年齢に応じた心拍数超過度 (180-年齢からの超過度) を用いると、若齢群・高齢群ともに弱い相関 (若齢群: $r=0.20$, 高齢群: $r=0.36$) が認められ、且つ回帰直線の傾き、切片ともに高齢群の方が有意に高かった (図 12)。また、若齢群と高齢群で WBGT・心拍数の基準値からの超過の有無の割合を見たところ、高齢群において WBGT (-) かつ心拍数 (+)、すなわち WBGT 値が基準値未満であるにも関わらず心拍数が基準値を超過しているケースが若齢群よりも多く見られることが観察され、カイ 2 乗検定でも有意であった。これはすなわち、高齢群においては図 1 に示したパターン 3 (WBGT 基準値が高すぎる) に該当すると考えられ、これに対応するためには、高年齢労働者における WBGT 基準値を引き下げる方向で検討する必要性が示唆されたと考えられる。

今回の研究は対象者数が限定され、且つ建設作業にて想定される全ての作業を網羅していないため、結果の解釈は限定的にならざるを得ず、この結果のみから高齢者における WBGT 基準値の是非について論じることは難しい。しかしながら、将来的に高年齢労働者が増加することを鑑み、高年齢労働者の熱中症を的確に防止するためには、さらなる研究結果に基づく、高年齢労働者の特性に合わせた対策が必要であると考えられる。スポーツ環境や日常生活向けには、既に年齢を考慮した熱中症予防指針の提案²²⁾もあることから、労働環境向けの WBGT 基準値についても、将来的には年齢を考慮したものが検討されることが期待される。

5. まとめ

建設現場の作業員を対象に、心拍数と WBGT の関係を見た結果、代謝率区分別の WBGT 基準値からの超過度と、年齢による心拍数の基準値 (180-年齢) からの超過度の間に、若齢群、高齢群ともに弱い相関が見られ、且つ高齢群の方が傾き、切片ともに大きかった。さらに、高齢群において、WBGT 値が基準値未満である

にも関わらず心拍数が基準値を超過しているケースが若齢群よりも多く見られることが観察された。これらの結果より、対象者数が少ないため限定的ではあるものの、高齢者の熱中症発症リスクが高いことの一端を表している可能性が示唆された。

参 考 文 献

- 1) 厚生労働省。「高年齢労働者の安全と健康確保のためのガイドライン」の策定について。令和 2 年 3 月 16 日 基安発 0316 第 1 号, 2020.
- 2) 日本建設業連合会。建設業デジタルハンドブック-4. 建設労働。 <https://www.nikkenren.com/publication/handbook/chart6-4/index.html>, 2023/8/1 閲覧。
- 3) 岡崎和伸, 能勢 博. 加齢と体温調節. からだと温度の事典 62-65, 朝倉書店, 2010.
- 4) Yaglow C, Minard D. Control of Heat Casualties at Military Training Centers. *American Medical Association Archives of Industrial Health*. 16: 302-316, 1957.
- 5) International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index. ISO7243: 2017.
- 6) 日本産業規格. 熱環境の人間工学—WBGT (湿球黒球温度) 指数を用いた熱ストレス評価. JIS Z8504: 2021.
- 7) 厚生労働省. 職場における熱中症予防基本対策要綱の策定について. 令和 3 年 7 月 26 日 基発 0726 第 2 号, 2021.
- 8) 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>. 2023/8/1 閲覧。
- 9) 星 秋夫, 稲葉 裕, 村山貢司. 東京都と千葉市における熱中症発生の特徴. *日本生気象学会雑誌*, 44, 3-11, 2007.
- 10) 松本 太, 横山 仁. 東京都における高齢者の熱中症発生と気候との関係—2010 年夏季を事例として—. *日本福祉大学健康科学論集*, 24, 11-19, 2021.
- 11) Ioannou LG, Foster J, Morris NB, et al. (2022). Occupational heat strain in outdoor workers: A comprehensive review and meta-analysis. *Temp. (Austin)* 9, 67-102, 2022.
- 12) Ioannou, LG, Mantzios K, Tsoutsoubi L, et al. Occupational heat stress: Multi-country observations and interventions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 6303, 2021.
- 13) Looney DP et.al, Estimating Rsting Core Temperature Using Heart Rate. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour*, 2018, 1, 79-86.
- 14) International Organization for Standardization. Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements. ISO 9886: 2004.

- 15) 赤川宏幸, 笠井泰彰, 飯塚浩二, 山田昇吾, 森川直洋. 作業員向け体調管理システム「Envital® (エンバイタル)」の開発. 大林組技術研究所報 No.84, 2020.
- 16) 赤川宏幸. スマホレスで負担軽減. 作業員向け体調管理システム「Envital (エンバイタル)」の活用. 安全と健康, 74(4), 345-347, 2023.
- 17) International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate. ISO 8996:2004.
- 18) R Core Team . R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>, 2023.
- 19) 都丸雅敏. 複数の回帰直線の比較. http://www.cis.kit.ac.jp/~tomaru/pukiwiki/?R_ComparingRegressions, 2023/8/1 閲覧.
- 20) 澤田晋一編著. 熱中症の現状と予防. 杏林書院, 2015.
- 21) 佐藤 佑. 石河利寛, 青木純一郎, 清水達雄, 前嶋孝. 運動に対する心拍数, 血圧, 呼吸数の反応の年齢別, 性別特性に関する研究. 体力科学, 26, 165-176, 1977.
- 22) 中井誠一, 新矢博美, 芳田哲也, 寄本明, 井上芳光, 森本武利. スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案—年齢, 着衣, 及び暑熱順化を考慮した予防指針—. 体力科学, 56, 437-444, 2007.