

# 暑熱環境下における建設作業員の心拍数の特徴に関する研究

赤川 宏 幸      笠井 泰 彰      飯塚 浩 二  
 山田 昇 吾      森川 直 洋  
 (本社建築本部)

## Study on Heart Rate Characteristics of Construction Workers Under Hot Conditions

Hiroyuki Akagawa    Yasuaki Kasai    Koji Iizuka  
 Shogo Yamada    Naohiro Morikawa

### Abstract

Reducing the risk of heat disorder at construction sites is important to accommodate workers' aging and work style reforms. In this study, the authors develop and operate a system that monitors the heart rate of workers at a construction site in real time and uses it for physical condition management. The relationship between heart rate and heat disorder or physical condition is not clear; therefore, we used the work discontinuation standard indicated by the ISO as an alert standard. We aim to update the alert standards in the future by analyzing heart rate and environmental data. This paper introduces findings pertaining to the relationship between heart rate and each of heat, occupation, age, and physical condition. Because the heart rate depends on the age of a person and the activity being conducted, system users can be prioritized and selected.

### 概 要

炎天下や閉鎖空間での作業など建設現場における熱中症災害のリスク低減は、作業員の高齢化や働き方改革の対応が求められる中、緊急の課題である。筆者らはこれまで、建設現場において作業員の心拍数をリアルタイムモニタリングし、体調管理に利用するシステムを開発、運営してきた。一方で、心拍数と熱中症、あるいは体調との関係性は明確ではなく、ISO等が示す作業中止基準等を拠り所にアラート基準として用いてきた。運用を進める中で心拍数データと環境データが蓄積され、これらを分析することで今後のアラート基準更新を目指す。本報では、心拍数と暑さ、職種、年齢、体調等との関係について、これまでに明らかになった知見を紹介する。特に、特定の年代や職種において、作業中の心拍数が高くなる傾向があることから、優先順位を付けてシステム利用者を選択することも可能である。

### 1. はじめに

地球温暖化や都市のヒートアイランド現象の顕在化に伴い、夏季の建設現場においても暑さに対する対策が急務である。特に炎天下での作業や、開口の少ない屋内空間での作業、あるいは、手袋、マスク、ゴーグル等の保護具の着用など、暑さ環境は大変厳しいといえる。このような状況の中、建設現場における熱中症災害も増加している。Fig. 1は、職場における熱中症による死傷者数の推移を示す<sup>1)</sup>。毎年の死傷者数はおおよそ500人程度であったが、2018年は猛暑の影響により死傷者は約1,200人に達した。2019年も約800人と、近年の酷暑の状況が伺える。中でも建設業は、死傷者数、死亡者数ともに全産業中で最も多い<sup>1)</sup>。Fig. 2は、全産業の月別の死傷者数の状況を示す<sup>1)</sup>。例年、7月、8月がピークであるが、2018年、2019年のように猛暑日が多い年には増加する傾向が見られる。一方、建設業では、特に、暑さに慣れていない5月や6月、暑さへの慣れがリセットされる盆休み明け等で、一層の注意喚起が必要である。以上のように、建設現場における暑熱環境対策は緊急の課題といえる。

建設現場の熱中症対策として一般的に行われているものは、こまめな水分・塩分補給、頻繁な休憩、冷房室の設置などである。環境側の指標としては、熱中症予防指標の一つであるWBGT(湿球黒球温度)が用いられており、簡易な測定器で計測したり、環境省発表の数値を用いたりして活用している。一方で、それぞれ次のような課題がある。環境省発表のWBGTは、現場と距離が離れ、周

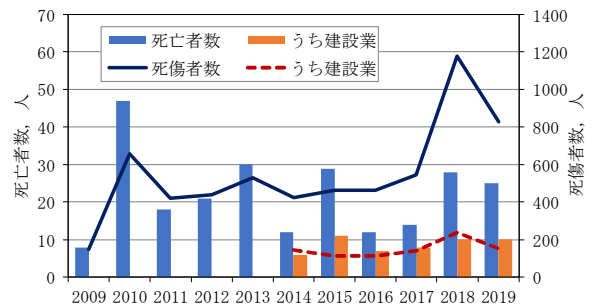


Fig. 1 職場における熱中症による死傷者数の推移<sup>1)</sup>  
 Number of Casualties due to Heat Disorder  
 in the Workplace

辺環境も異なることから、値が大きくずれている可能性がある。一方、現場内で測るWBGTは、一日に数回程度の代表点における測定であるため、各作業員の環境を必ずしも反映しているとは言えない。Fig. 3は、筆者らが全国12現場、合計21ヶ所で測定したWBGTと、環境省が発表する現場に最も近い測定点のWBGTとの差異の分布を示す<sup>2)</sup>。8割以上のケースで現場内の値は環境省の値を上回っており、そのピークは+2~+3℃である。つまり、環境省のWBGTを用いた場合には、多くのケースで危険側の評価となることから、作業員が実際に作業する場所の近傍でWBGTを計測、評価することが重要である。

本研究では、現場内の作業員近傍のWBGTと、作業員の体調を表す生体情報とを組み合わせて評価するシステム<sup>3)</sup>で得られたデータを用い、心拍数と暑さ、職種、年齢、体調等との関係について解析した結果を報告する。

## 2. 測定概要

### 2.1 心拍数を利用した作業員向け体調管理システム

本報で使用する心拍数やWBGTのデータは、建設現場や工場等の作業員向けに開発した体調管理システム「Envital<sup>®</sup>」<sup>3)</sup>の運用で得られたものである。全てのデータはクラウド上で一元管理され、管理者が作業員の体調をリアルタイムモニタリングすることに特徴がある。技術の詳細については文献3を参照されたい。

### 2.2 心拍数データの取得方法

心拍センサに関しては、「Envital」の現場運用を進める中で変遷してきた。本報で使用する心拍数データの取得に使用したセンサの種類をTable 1に示す。初期に利用していたシャツ型センサは、シャツの裏側に繊維状の電極があり、心電波形を取得できる。シャツ型センサで取得した心拍数は、手首等で得られる脈波から算出する方法よりも精緻であり、将来的な心電データの応用も考慮して採用していた。一方で、着替えのために複数枚が必要の上、日々の洗濯も負担であるほか、体形によってはセンサの皮膚からの浮きがエラーの原因となった。これらの理由から、リストバンド型センサへのシフトが進んだ。リストバンド型も当初は市販品を利用していたが、現在は、中継機としてのスマートフォンが不要なビーコン発信型のセンサを用いている<sup>3)</sup>。

### 2.3 WBGTの測定

WBGTの測定は前述のとおり、作業員の近傍で取得することが有効である。「Envital」では、各現場内の複数個所に通信型のWBGT計を設置し、作業員近傍のWBGTを各作業員に紐づけている。こうすることで、作業員の心拍数と近傍のWBGTを紐づけ、即時に解析することで、アラート判定に利用している<sup>3)</sup>。

### 2.4 測定現場

本報で使用するデータを取得した現場の一覧をTable 2に示す。「Envital」の運用を行った現場の中から建築現場を中心に取り上げた。作業員の選定は現場管理者に任せ、炎天下での作業や、作業負荷が多い職種など、熱中症の危険度が高いと思われる作業員を中心に選定した。

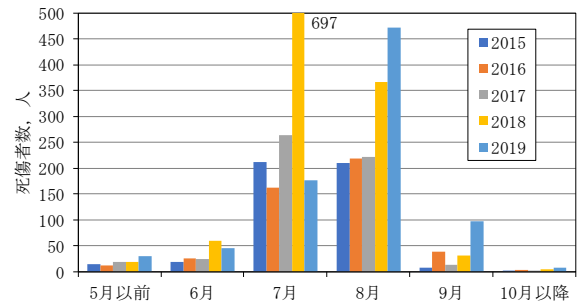


Fig. 2 熱中症による死傷者数の月別の状況<sup>1)</sup>  
Monthly Situation of Casualties due to Heat Disorder

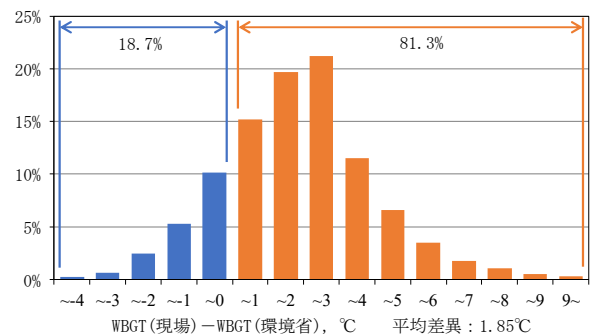


Fig. 3 現場と環境省発表のWBGTとの差異の分布<sup>2)</sup>  
Distribution of Differences between WBGT in Construction Site and WBGT by the Ministry of the Environment

Table 1 心拍センサの種類  
Types of Heart Rate Sensors

センサタイプ		使用年
シャツ型	メーカー品	2016~2018年
	特注品	2019年
リストバンド型	メーカー品	2018年
	特注品	2019年

Table 2 データの解析に用いた測定現場一覧  
Measurement Sites used for Data Analysis

現場	状況	都道府県	作業員	実施年
A	屋内・屋外作業	沖縄県	a	2019年
B	主に屋内作業	東京都	b~g, w	2018年
C	屋外作業	東京都	h~n	2016年
D	屋内作業(高炉稼働中)	兵庫県	o~u	2016年
E	屋外作業	千葉県	v	2018年
F	主に屋内作業	千葉県	※	2018年
G	屋外作業	福井県	x, y	2018年
H	屋外作業	兵庫県	※	2018年
I	屋内・屋外作業	大阪府	※	2018年
J	主に屋内作業	東京都	z	2019年

※特定の作業員ではなく、現場のアンケート集計結果を利用

### 3. 測定結果

#### 3.1 暑熱環境下の心拍数の特徴

3.1.1 晴天時と曇天時の心拍数 一般の建設現場において暑熱環境の違いが最も顕著に表れるのが日射の有無である。炎天下の作業はそれだけで体温の上昇を引き起こし、心拍数の上昇に影響を与える。Fig. 4は、屋外で警備を担当するA現場の作業員aの晴天日と曇天日の心拍数の変化の例を示す。WBGTは、1日をとおして晴天日の方が2~4°C高い。主な業務が車両誘導なので、物理的な身体負担は大きくなく、曇天日の心拍数は80~100bpm (beats per minute)程度である。一方、晴天日には、作業開始時は曇天日と同様に90bpm前後であるものの、作業開始とともに100~120bpm程度まで上昇し、130bpmを超えることもしばしば見られ、変化の幅も大きい。同じ身体動作であっても日射が人体に与える暑熱負荷が非常に大きいことがわかる。なお、両日ともに翌日もほぼ同様の天候と心拍数推移であった。

3.1.2 午前と午後の心拍数の違い Table 3は、B現場の6名の作業員の心拍数と、METs(身体活動の強度を示す単位で、安静時を1として何倍のエネルギーを消費するかを示す)を、それぞれ午前と午後の32日分の平均値として示したものである。METsの目安をTable 4に示す。METsの測定には、市販の活動量計を使用し、気温は2.1節で示したシステムで利用する通信型のWBGT計の気温センサの値を用いた。当現場は作業員の上下階、屋内外の移動が多く、近傍のWBGTの取得精度が悪かったため、現場代表ポイント(屋上)の平均気温を示した。これによれば、午前と午後の平均気温差は1.7°Cであった。一方、平均METsは午前と午後で同じ数値となり、身体活動の強度に違いが無いことがわかる。それに対し、心拍数は、午前よりも午後の方が平均で約5bpm高くなっていることから、暑さの影響による心拍数上昇と推察される。

3.1.3 高温環境現場における心拍数 建設現場の中には、特殊な高温環境で作業をしなければならない場合もある。D現場は、高炉が稼働中の工場内改修工事で、極端に高温である以外に、防塵マスク、ゴーグル等の暑熱ストレスを増大させる要因が重なる状況である。Fig. 5は、C現場(物流倉庫の基礎工事段階で日射の当たる屋外作業が中心)と、上記D現場において、それぞれ年代の異なる7名の心拍数の日変化を示す。Fig. 6は、各現場のWBGTの日変化を示し、C現場はWBGTの最高値が33°C程度で屋外の日射がある状況、D現場は一日を通して37°C前後と相当な高温環境であることがわかる。C現場では40bpmを超える大きな心拍数の変動は、作業負荷が大きいと思われる作業員kのみである。一方、高温のD現場では、管理者uを除いて全ての作業員で60bpmを超える大きな増減が確認された。時間帯によっては180bpmを超える作業員も見受けられるが、64歳の作業員tのように、年齢に応じた心拍数(140bpm程度のピーク値)で働いていることも

伺える。心拍数の増減は休憩の取得に対応しており、12時、14時、15時頃に低下が見られ、午後の暑い時間帯に休憩の頻度が多い。D現場では、作業エリアの近くに冷房小屋を設置し、休憩を頻繁に取る工夫をしていた。

#### 3.2 職種別の心拍数の特徴

Fig. 7は、B現場の作業員b~gの6名について、心拍数とMETsの全データ(2018/7/13~2018/9/6)のヒストグラムを示す。まず、作業員c(鉄筋工)、f(土工)は、室内作業が主である設備系の作業員b、d、eと比べると心拍数、ME

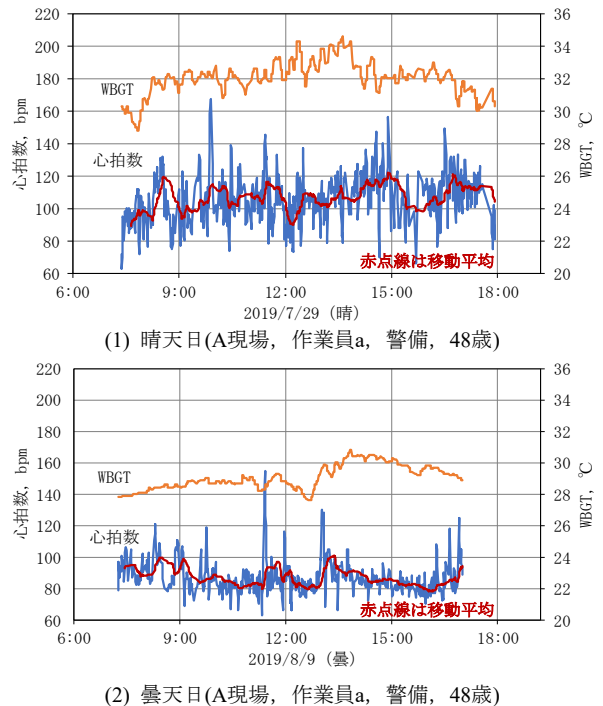


Fig. 4 晴天日と曇天日の心拍数の日変化の違い  
Difference in Diurnal Change in Heart Rate on Sunny and Cloudy days

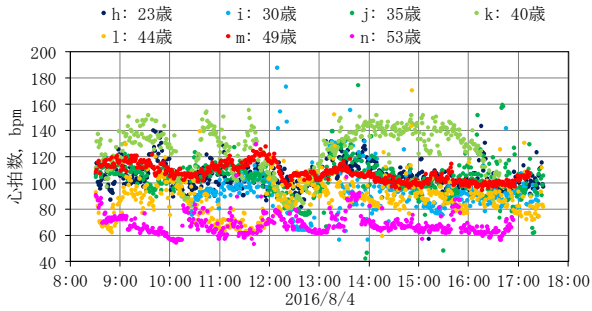
Table 3 午前と午後の心拍数の違い  
Difference in Heart Rate between Morning and Afternoon

	AM 8:00~12:00	PM 13:00~17:00	差異 PM-AM
平均心拍数(bpm)	94.0	99.1	+5.1
平均METs(-)	2.30	2.30	+0.00
平均気温(°C)	30.5	32.2	+1.7

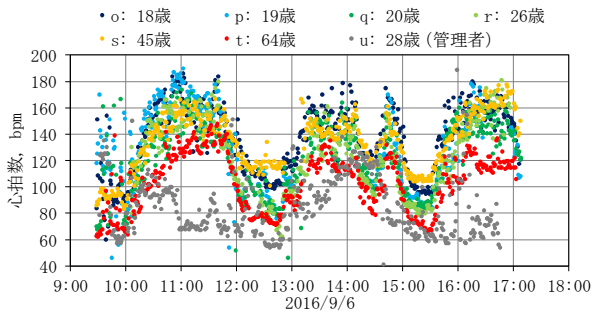
B現場,対象: 6名(作業員b~g),期間: 2018年7~8月(32日間)

Table 4 METsと作業内容の目安<sup>4)</sup>  
METs and Working Examples

代謝率区分	平均METs	作業内容の例
1 低代謝率	1.7	組立て、軽い材料の区分け、運転
2 中代謝率	2.8	釘打ち、しっくい塗り、軽量手押し車移動
3 高代謝率	4.0	シャベル作業、のこぎり、コンクリートブロック積み
4 極高代謝率	5.0	激しくシャベル使用、階段を上る、走る



(1) C現場



(2) D現場(高温)

Fig. 5 心拍数の日変化  
Diurnal Heart Rate Changes

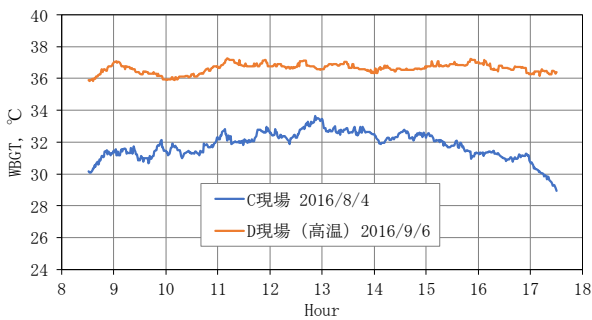


Fig. 6 WBGTの日変化  
Diurnal WBGT Changes

Ts共に大きいことがわかる。METsが大きいことから体の動きが大きいことが心拍数上昇の大きな要因であるが、特に作業員f(土工)は心拍数が130を超えることが多く、日射下の高温環境での作業が多いことが示唆される。6人中で最も特徴的なのが、最高齢62歳の作業員g(警備)である。3.1.1項でも警備担当の作業員の過酷さは述べたが、平均METsが1.6と、他の5人に対して身体活動強度が非常に小さいにも関わらず、平均心拍数は100を超え、鉄筋工や土工並みの値である。高齢であることと、屋外で日射の当たる時間が長いことが要因と考えられる。このように、作業中の心拍数が高い傾向のある特定の年代や職種においては、優先的なシステム利用が望まれる。

Fig. 8は、身体活動強度が大きい作業員c(鉄筋工)および作業員f(土工)の高温日の心拍数とMETsの日変化の例を示す。作業員cは、休憩時間を除いて3~4METs程度の安定的な値を推移している。一方、作業員fは、2~3METsで安定的であるが、14:30を境に心拍数が20程度上昇している。当日の作業場所の記録では屋外と屋内が混在し

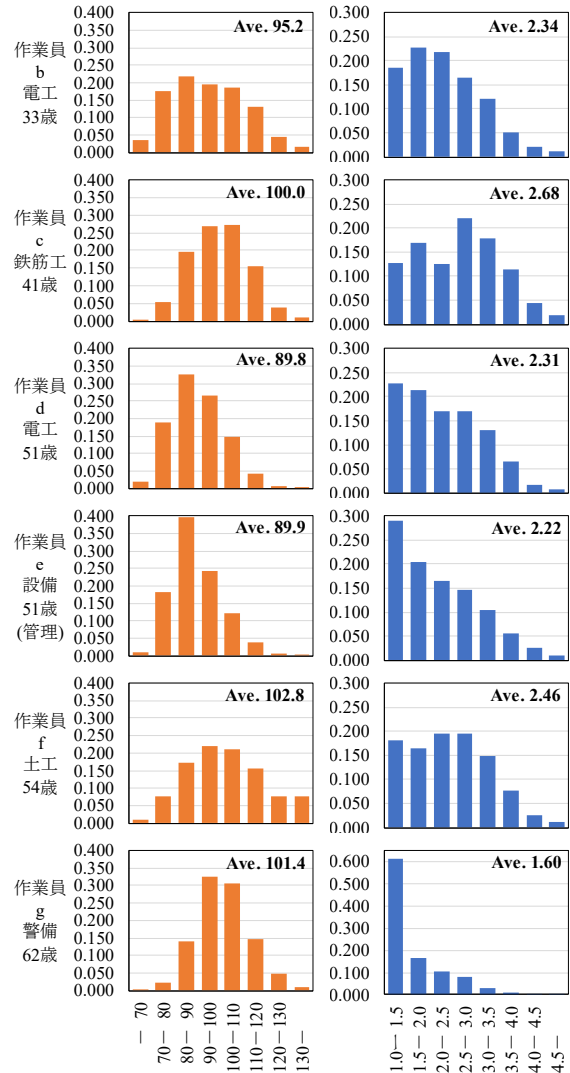


Fig. 7 心拍数とMETsの分布(B現場)  
Distributions of Heart Rate and METs

ていたことから、大幅な心拍数の上昇は日射下(高温下)での作業が要因と推察される。また作業員c, fともに3.1.2項で示したとおり、METsが変わらないにも関わらず、午前よりも午後の心拍数が高く推移している。

### 3.3 体調不良時の心拍数の特徴

3.3.1 体調アンケートの集計結果 前述のシステムを運用した現場において毎日の体調アンケートを実施した。有効な回答の集計結果をTable 5に示す。回答人数は6現場、90人である。アンケートは朝の作業前、昼の休憩時、夕の終了時に記入してもらった。作業員の中には、標準回答が「良好」ではなく、「やや不良」の人もいる。約2割の回答が体調不良であり、午後にかけて若干増える傾向がある。一方、症状としては「体がだるい」が最も多く、午前8.9%、午後9.2%、続いて「めまい・立ちくらみ」、「頭痛」である。症状の回答には重複もあるので、概ね1割の作業員に何らかの体調不良の症状が現れたことになる。

3.3.2 体調不良時の心拍数 3.3.1項で述べた体調ア

ンケート、および現場で実施する毎日の体調チェック表(2019年, J現場)から、日々の平均的な回答から逸脱して体調が悪い日を抽出し、その前後の体調良好日のデータと比較した。Fig. 9は、B現場で働く作業員w(鳶工)の心拍数の日変化を示す。体調アンケートでは、8/23に「不良」、症状はAM:「体がだるい、立ちくらみ、めまい」、PM:「頭痛」と1日を通して体調不良であった。一方、他の3日は「良好」であった。体調不良日の心拍数の水準は明らかに高く、特に午前の数値が高い。

Fig. 10は、作業員v~zの体調良好日、不良日の心拍数分布を示す。アンケートの回答から体調不良の症状の回答差はあるものの、体調不良時には心拍数が概ね10~20程度高い傾向があるといえる。特に、「立ちくらみ、めまい、頭痛」の症状があった作業員w、「非常に不良」と回答した作業員x、「風邪」の症状があった作業員zは、良好日と比べて心拍数の高さが顕著に表れている。

作業員w, zについて、作業場所近傍のWBGTと心拍数との関係をFig. 11に示す。作業員wが体調不良であった2018/8/23は、良好日と比べてWBGTが高く、暑さが体調不良の一因となったと推察される。一方、風邪による体調不良と考えられる作業員zの場合は、WBGTが他の良好日より低いにも関わらず、心拍数が高い傾向が見られる。つまり暑さだけではなく、暑さ以外の原因で体調不良の時でも、作業中の負荷によって心拍数が通常より高くなる傾向が見られた。

#### 4. まとめ

暑熱環境下の建設現場で取得した作業員の心拍数データを、暑さとの関連性、職種による違い、体調不良時の変動の観点から分析した。得られた知見を以下に示す。

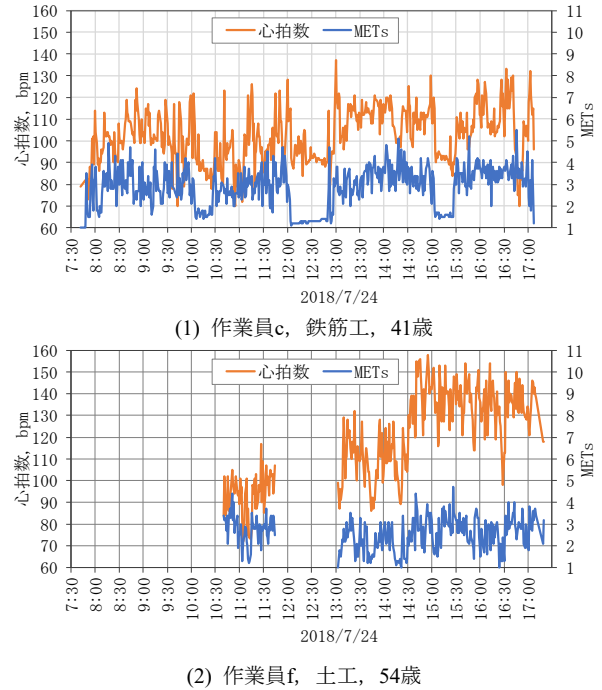


Fig. 8 心拍数とMETsの日変化(B現場)  
Diurnal Heart Rate and METs Changes

Table 5 体調アンケートの集計結果  
Results of Physical Condition Questionnaire

人数	のべ 回答 日数	作業前		午前 (8:00~12:00)										午後 (13:00~17:00)															
		体調 (複数可)				症状		作業負荷*		体調				症状 (複数可)		作業負荷*		体調				症状 (複数可)							
		良好	やや不良	不良	非常に不良	寝不足	小	中	大	良好	やや不良	不良	非常に不良	頭痛	吐き気	立ちくらみ	体がだるい	小	中	大	良好	やや不良	不良	非常に不良	頭痛	吐き気	立ちくらみ	体がだるい	
B現場	10	113	73	5	7	17				75	7	7	6	10	20						68	7	6	4	10	16			
E現場	22	178	164	12		1	84	74	17	151	18	1	3	1	5	93	70	11	151	18	3		3	1	2	10			
F現場	6	75	60	9			6	47	16	56	13		1			6	47	16	57	12			1						
G現場	6	415					120	193	12	380	6		1		2	135	174	13	374	12		1				2			
H現場	13	117	103	6	1		10	35	69	26	84	3	1	3	1	8	43	8	33	74	26	85	1	3	5	3	1	43	
I現場	33	583	525	50	8	3	116	326	113	427	54	10		2	1	48	101	308	123	444	75	6		1	1	2	53		
合計	90	1368	852	150	14	7	21	336	675	227	1040	250	21	9	15	1	20	118	343	632	237	1052	270	17	10	14	5	15	124
有効回答日数に対する割合(%)		83.3	14.7	1.4	0.7	2.1	27.1	54.5	18.3	78.8	18.9	1.6	0.7	1.1	0.1	1.5	8.9	28.3	52.1	19.6	78.0	20.0	1.3	0.7	1.0	0.4	1.1	9.2	

アンケート実施期間：2018/7/12~2018/9/30

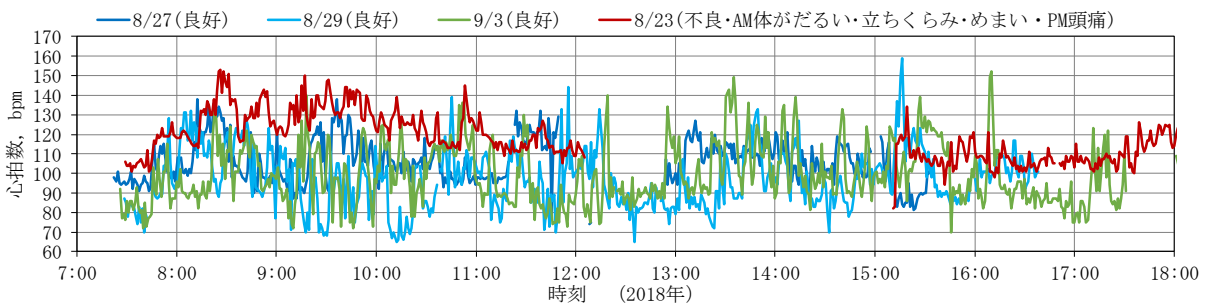


Fig. 9 体調不良時の心拍数の日変化の例(B現場, 作業員w, 鳶工, 45歳)  
Example of Diurnal Change in Heart Rate during Poor Physical Condition

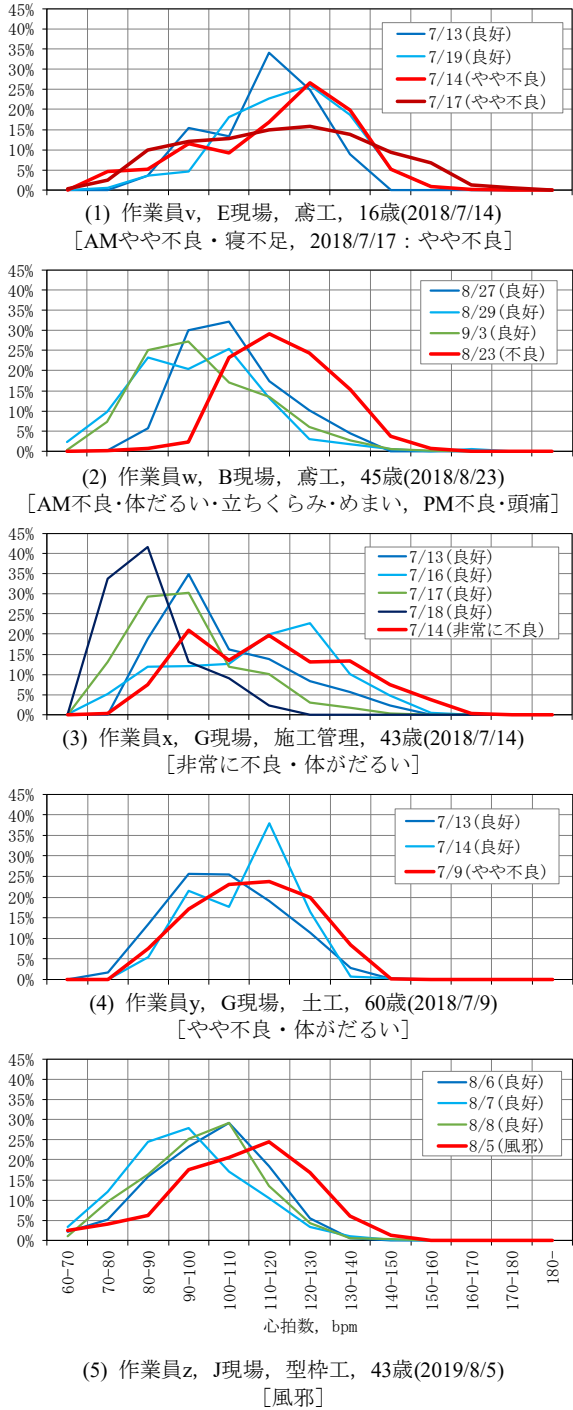


Fig. 10 心拍数分布の比較  
Heart Rate Distribution Comparison

- 1) 建設現場において、日射や発熱源に起因する暑熱環境が要因で心拍数が上昇することを確認した。また、例えば夏季の午前と午後では平均して5bpm上昇するなど、その水準が概ね明らかになった。
- 2) 職種による身体活動強度の違い、屋内外の作業場所の違い等による心拍数の水準がわかった。特に、高齢者が多い警備作業での日射による暑熱ストレスの大きさが顕著であった。
- 3) 暑熱環境下の作業に伴う体調不良時(熱中症の予

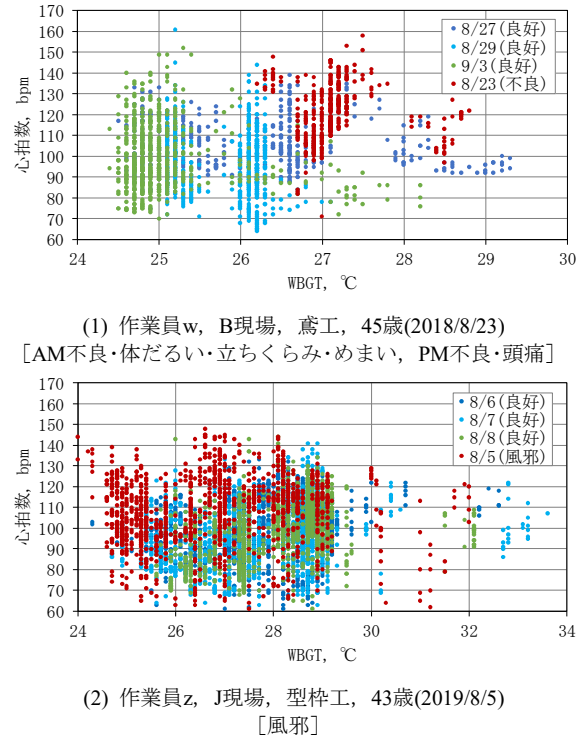


Fig. 11 WBGTと心拍数の関係  
Relationship between WBGT and Heart Rate

兆)でも、風邪等の症状による体調不良時でも、同様に心拍数の上昇が見られた。

今後は、建設現場で心拍数を用いた健康管理を運用していく上で重要となる、危険度を判断する心拍数の閾値について検討を進める。

### 謝辞

(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 上席研究員、東京福祉大学 澤田晋一教授には、WBGTと生体情報の関係性についてご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 厚生労働省, “2019年職場における熱中症による死傷災害の発生状況(確定値)”, 2020-05-27, <https://www.mhlw.go.jp/content/11303000/000633829.pdf>, (参照 2020-05-27)
- 2) 飯塚, 他: 建設現場におけるWBGTと生体情報を用いた暑熱対策に関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学I, pp.937-938, 2018.9
- 3) 赤川, 他: 作業員向け体調管理システム「Envital®」の開発, 大林組技術研究所報, No. 84, 2020.12
- 4) JIS Z8504: 人間工学-WBGT(湿球黒球温度)指数に基づく作業員の熱ストレスの評価-暑熱環境, 1999