
令和4年度 修士学位論文

心電図を用いた作業員の熱中症評価に関する研究

指導教員 池浦 良淳 教授

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻
人間支援システム研究室
大深 元輝

目次

目次.....	1
第 1 章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 本論文の構成.....	4
第 2 章 熱中症と送電鉄塔作業概要.....	5
2.1 熱中症概要.....	5
2.2 送電鉄塔作業内容概要.....	8
2.2.1 送電鉄塔作業内容と環境.....	8
2.2.2 鉄塔の架線作業における熱中症の危険性.....	8
第 3 章 実験内容及び実験装置.....	12
3.1 送電鉄塔工事現場生体情報収集実験概要.....	12
3.1.1 実験内容及び実験条件.....	12
3.1.2 生体情報計測装置.....	13
3.2 人工気候室生体情報収集実験.....	17
3.2.1 実験内容及び実験条件.....	17
3.2.2 生体情報計測装置.....	17
3.3 評価手法及び解析手法.....	22
3.3.1 心電データ解析手法.....	22
3.3.2 脈拍数検出手法.....	23
3.3.3 熱中症自覚的初期症状の主観評価方法.....	23
第 4 章 実験結果及び考察.....	24
4.1 送電鉄塔工事現場生体集実験結果及び考察.....	24
4.1.1 熱中症自覚的初期症状アンケート結果.....	24
4.1.2 心電データ解析結果.....	24

4.1.3 送電電鉄塔工事現場生体集実験の考察	25
4.2 人工気候室生体集実験結果及び考察	33
4.2.1 熱中症自覚的初期症状アンケート結果	33
4.2.2 心電データ解析結果	33
4.2.3 熱中症発症者における生体情報比較と考察	34
4.2.3 人工気候室生体集実験の考察	34
第5章 結論	41
5.1 まとめ	41
5.2 今後の課題	42
参考文献	43
謝辞	46

第1章

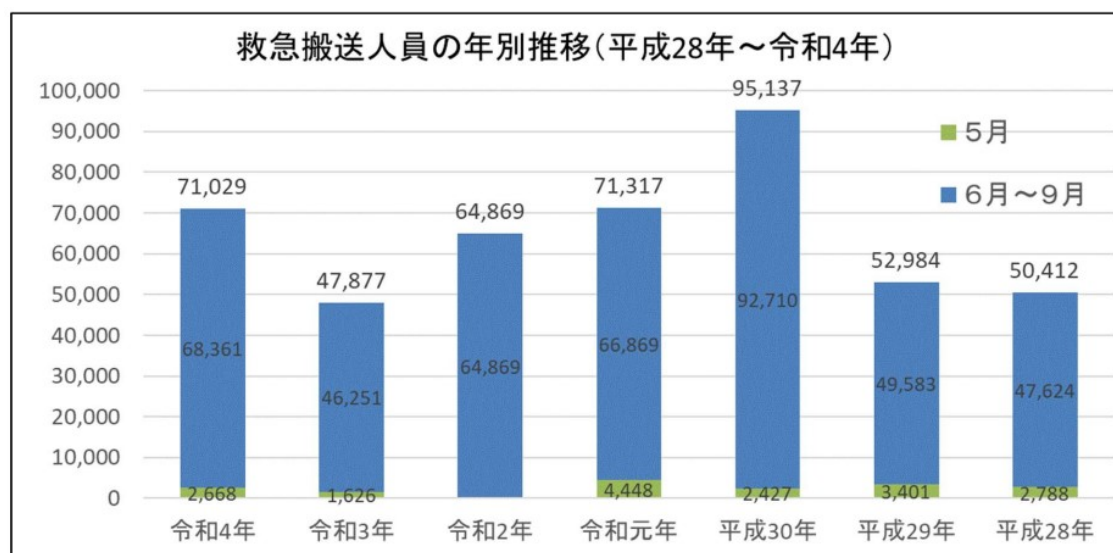
序論

1.1 研究背景

近年、夏期の猛暑日の増加と共に熱中症患者の発生数が増加している^[1]。Fig.1.1 に示すように、令和4年5月から9月の全国における熱中症による救急搬送人員は71029人である。平成30年の熱中症救急搬送人員95137人と比べると減少しているが、依然熱中症が多発している状況にあることがわかる。また、令和4年の発生場所別の救急搬送人員はFig.1.2より、住居が39.5%、次いで道路16.6%、公衆(屋外)11.8%、工事現場11.4%の順となっており、屋外作業を行う職場での熱中症被害が多く発生している^[2]。屋外作業を行う職場の中で、日本各地に電気を供給するための送電鉄塔の建設は、人による手作業の作業が多く、電線を張るような空中での作業になると、かなり体に負担のかかる作業になる。その一方で、リニア中央新幹線の開設等による送電鉄塔の建設需要は高まっており、現在でも新たな建設が行われている^[3]。体に負担がかかる架線作業などを猛暑日のような厳しい環境下で作業を行う場合、熱中症などの災害や集中力低下などを原因としたヒューマンエラーにつながりやすい。空中での作業においては地上の作業に比べ、こうした異変を早めに検知しなければ作業者の怪我、事故につながる危険性が高まってしまふことが予想される。そのため、作業者の身体の負担を評価する指標を検討することが必要不可欠である。

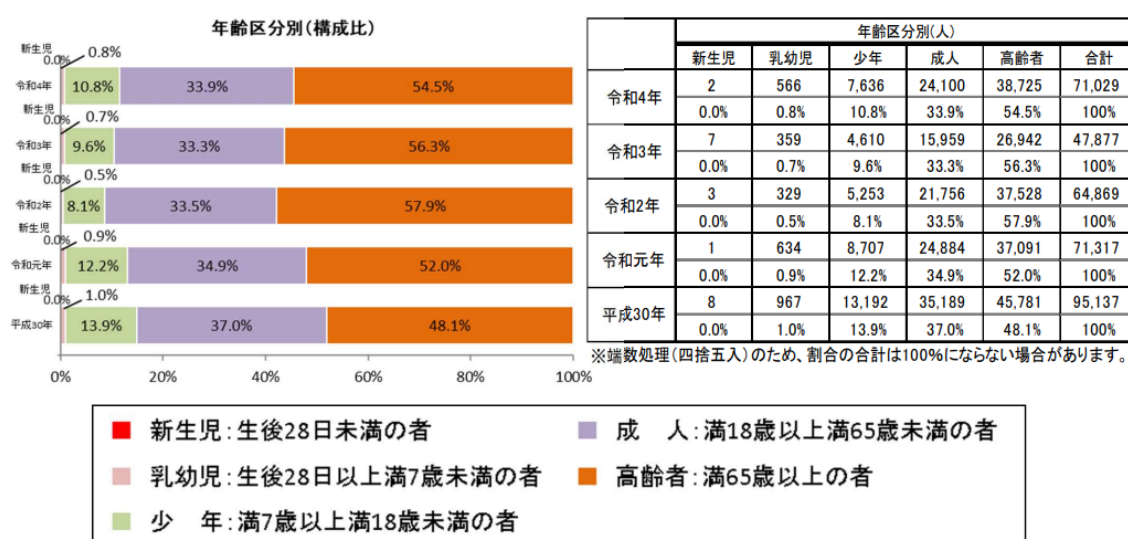
人間の運動時の身体データと熱中症に関する研究はほかにも行われている。中井らは環境温度と熱中症発生件数に着目し運動時の熱中症予防指針の環境温度だけでなく、人口環境による温度変化も併せて考慮する必要があることを指摘した^[4]。個人の生理的な要因を考慮した熱中症予防に関する研究として山本らは水分補給と心拍変動(HRV)の関係性に着目し、スポーツ活動中の飲水がHRVに与える影響の解明に向けた計測実験を行い、飲水の交感神経系への効果は速やかに現れ、副交感神経への影響は持続する可能性が示唆された^[5]。その他にも様々な研究が行われている^{[6]-[8]}。

このように熱中症に関して環境温度との関係や模擬運動時の身体データとの関係に関する研究は数多く行われているが、実際の建設現場での作業員の身体データと熱中症の関係に関する研究は行われていない。実際の作業員の熱中症を予防するためには作業員の身体データから熱中症の指標を確立することが重要だと考える。



※令和2年の調査期間は6月から9月である。

Fig.1. 1 Number of emergency medical evacuees with heat stroke by year^[2]



※構成比は各年とも調査期間全体(平成30年～令和元年及び令和3年、令和4年の調査期間は5月～9月、令和2年の調査期間は6月～9月)における数値を計上している。

Fig.1. 2 Emergency transport due to heat stroke^[2]

1.2 研究目的

熱中症を予防するために暑さ指数（WBGT, Wet Bulb Globe Temperature）が使われることが多い。WBGT は人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい湿度、日射・輻射など周辺の熱環境、気温の3つを取り入れた指標となっている^[9]。Table 1.1 に WBGT と熱中症予防運動指針との関係を示す。近年、気温が上昇傾向にあり、WBGT が 31℃以上になることもしばしばあり、その場合は、屋外での作業が不可能となる。先に示したように、WBGT は周辺環境情報のみを利用して計測されており、組織全体に対しての熱中症に対する予防に留まっている。

熱中症と深部体温との関係として、通常ヒトは深部体温が約 37℃に保持されているが、視床下部の体温調節中枢の誤動作により、深部体温上昇が原因の体組織や臓器機能の低下を起こすことが知られている^{[10]-[11]}。これに対し、従来研究では、渡井らが心拍数、呼吸数、体表面温度、を指標として深部体温が 37.5℃であるかの判別が可能かの検証が行われ、約 80%の判別的中率となった^[12]。また、本研究室では、夏場の高温高湿環境下で空中作業が多い送電鉄塔架線工事で実験協力者の脈拍数と深部体温データを常時測定し、解析を行った。結果として、熱中症の初期症状を感じた実験協力者には、脈拍数が 15 分間で 20bpm 上昇し、値として 130bpm を超えるという特徴がみられ、深部体温では、脈拍数のピーク前後 45 分間の区間において 37.5℃を超えるという特徴がみられた^[13]。しかし、従来研究及び本研究室での先行研究では、深部体温予測精度に改善余地があることや脈拍数があまり変動することがない激しい運動を伴わない実験協力者が熱中症であるかを判断するのが困難である問題があった。

一方で、湯田らの従来研究から熱中症発症するまでに、心電図 R 波間隔変動のスペクトルの高周波（HF）成分の振幅の大幅な変化が断続的に発生することが 1 例確認された。そこで本研究では、R 波間隔変動の HF 成分の振幅の大幅な変化を熱中症兆候の把握ができると考え、この HF 成分の振幅の大幅な変化とその他の生体情報との関連を調査することで、高温・高湿度環境における現場作業において、生体情報解析に基づき熱中症の兆候を捉えることを目的とした。

Table 1. 1 WBGT and Heat Stroke Prevention Exercise Guidelines^[9]

暑さ指数 WBGT(°C)	乾球温度 (°C)	温度基準	注目すべき 活動の目安	熱中症予防のた めの運動基準
31	35	危険	全ての生活 活動で起こる 危険性	運動は原則禁止
28	31	厳重警戒		厳重警戒 激運動中止
25	28	警戒	中等以上の 生活活動で 起こる危険性	警戒 積極休憩
21	24	注意	強い生活活 動で起こる危 険性	注意 積極水分補給
				ほぼ安全 適宜水分補給

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。まず、第2章では熱中症概要と鉄塔の架線作業における熱中症の危険性について説明する。第3章では送電鉄塔工事現場生体情報収集実験と人工気候室生体情報収集実験の実験内容及び実験装置、収集した生体情報の解析方法について説明をする。第4章では送電鉄塔工事現場生体情報収集実験と人工気候室生体情報収集実験の実験結果及び考察を示す。そして、最後に第5章では本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第2章

熱中症と送電鉄塔作業概要

本章では、熱中症と送電鉄塔作業概要について説明する。熱中症概要について 2.1 節で説明する。2.2 節では送電鉄塔作業内容と架線作業における熱中症リスクについて説明する。

2.1 熱中症概要

熱中症の発症には、周辺環境(気温、湿度、輻射熱、気流等)及び行動(活動強度、休憩等)と身体(体調、性別、年齢、暑熱順化の程度等)の条件が相互に関係している。Table 2.1 より、熱中症の重症度と病態による分類の2種がある^[14]。Fig.2.1 に熱中症の各病態への発生メカニズムを示す^[15]。本研究で熱中症として予測する対象はI度の熱失神・熱痙攣の状態とする。

暑熱環境下で体温上昇した場合、放熱のために皮膚血管を拡張して皮膚血流量を増加させ、皮膚温度を上昇させる。立位姿勢を持続していると血液が下肢に滞留し、脳への血流が減少するため、一過性の意識消失として熱失神が発生する。一方で、暑熱環境下で多く発汗した際には水分だけでなく電解質も喪失するので、真水や塩分濃度の低い飲料を補給すると、血液中の塩分濃度が低下し痛みを伴う筋痙攣として熱痙攣が発生する。

前述の熱失神・熱痙攣の状態から血液が皮膚表面に貯留することに加え、仕事や運動のために筋肉への血液供給が増加し、心臓への血液還流量が減少し、心拍出量減少で循環血液量が減少し、重要臓器及び内臓への血流が減少することにより、眩暈、頭痛、吐き気等の全身性の症状を伴うことがある。これが、高度の脱水と循環不全により生じる熱疲労である。体温は正常もしくは少し上昇を示す程度で40℃を超過することはないが、軽度の錯乱等がみられることはある。

熱疲労が中核的病態であるが、脱水と循環不全がさらに増悪すると、発汗と皮膚血管

拡張ができなくなり、体温が 40℃以上に上昇し、脳を含む重要臓器の機能に障害が起き、体温調節不全、意識障害に至る熱射病になる。一旦、熱射病を発症した場合、迅速適切な救急救命処置を行っても救命できないことがあるため、熱失神・熱痙攣の初期から進展を予防することが重要である。

Fig.2.1 より、本研究対象である熱失神・熱痙攣の発生要因の一つとして、皮膚血管や下肢に血液が貯留されることによる循環不全がある。この循環不全として、Bezold-Jarisch 反射を介する急激な迷走神経刺激が知られている^[16]。Fig.2.2 に示したように、この現象は、前述の血液貯留に起因する心臓への静脈管流の減少によって心室の過収縮が起こり、心室の機械受容体刺激を介する Bezold-Jarisch 反射により、迷走神経が強く刺激されることによって発生する^[17]。本研究では、生体情報を収集し、解析することにより、熱中症の兆候として Bezold-Jarisch 反射を検知する。

Table 2.1 Classification of heat stroke according to severity and pathology^[14]

	症状	重症度	治療	臨床症状からの分類
I 度 (軽症) (応急処置と見守り)	めまい、立ちくらみ、生あくび 大量の発汗 筋肉痛、筋肉の硬直(こむら返り) 意識障害を認めない(JCS=0)		通常は現場で対応可能 →冷所での安静、 体表冷却、経口的に水分とNaの補給	熱けいれん 熱失神
II 度 (中等症) (医療機関へ)	頭痛、嘔吐、 倦怠感、虚脱感、 集中力や判断力の低下 (JCS ≤ 1)		医療機関での診察が必要→体温管理、 安静、十分な水分とNaの補給(経口摂取が困難なときには点滴にて)	熱疲労
III 度 (重症) (入院加療)	下記の3つのうちいずれかを含む (C) 中枢神経症状 (意識障害 JCS ≥ 2、小脳症状、痙攣発作) (H/K) 肝・腎機能障害 (入院経過観察、入院加療が必要な程度の肝または腎障害) (D) 血液凝固異常 (急性期DIC診断基準(日本救急医学会)にてDICと診断) ⇒ III度の中でも重症型		入院加療(場合により集中治療)が必要 →体温管理 (体表冷却に加え体内冷却、血管内冷却などを追加) 呼吸、循環管理 DIC治療	熱射病

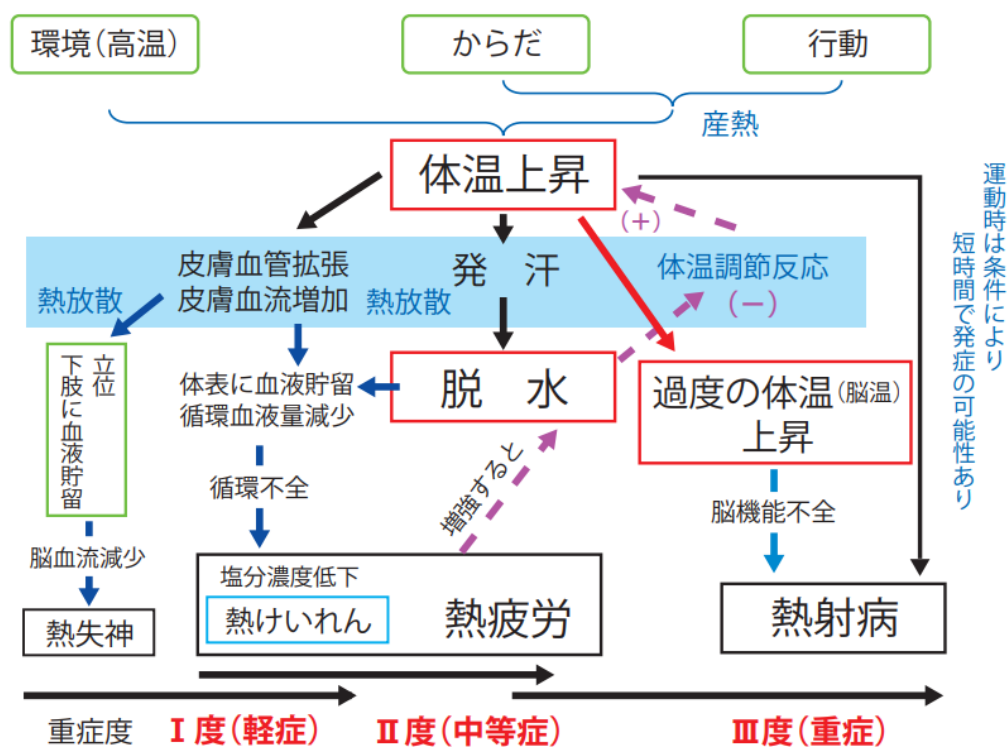
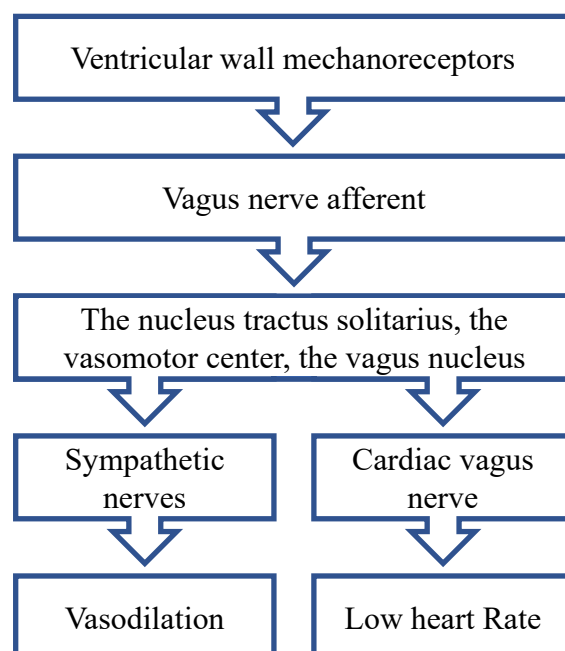
Fig.2.1 Mechanism of occurrence of heat stroke to each pathological state^[13]

Fig.2.2 Mechanism of Bezold-Jarisch reflex and its effects

2.2 送電鉄塔作業内容概要

2.2.1 送電鉄塔作業内容と環境

今回対象とする工事現場は 135kv 送電鉄塔を建設するため設営された現場である。現場の環境は、日射を遮るものがなく、地表部に重機搬入のための鉄板を敷いているため、反射熱で暑い環境になっている。作業現場の様子を Fig. 2.3 に示す。また、20 kg から 60 kg の重量物を人力で扱うため、作業者の身体的負荷が大きい^[18]。作業内容に関しては地上作業と空中作業があり、地上作業では電線を送り出すためのウィンチの巻き上げ作業や、重機による現場環境の設営などがある。地上作業の様子を Fig. 2.4 に示す。地上作業は空中に比べ身体的負荷は少ないが日射の反射熱により熱い環境になっている。空中作業では鉄塔に電気が流れることを防ぐためのがいしの交換や、電線に乗り出し作業を行う。鉄塔上部での作業は地表より多少風があるため、体感する温度は地上と比べ低いが、電線への乗り出し作業については作業をし始めると 30 分から 1 時間程度の間、自身の体幹バランスで姿勢を保ち続ける必要があるため、集中力と筋力を使う。空中での乗り出し作業の様子を Fig. 2.5 に示す。同じ現場であっても作業内容が違う場合、温度の感じ方や作業者の負担の度合いが違いため、従来の WBGT による熱中症に関する温度指標だけではなく、作業者の身体データから熱中症を推定できるような指標が必要であると考ええる。

2.2.2 鉄塔の架線作業における熱中症の危険性

2020 年では送電線工事の死者数が過去 20 年間で最も多く、送電線建設技術協会によると 6 名が死亡した^[19]。業界としても危険な作業としてのイメージがつくと、新しい作業員が確保しづらくなり、鉄塔作業員の労働年齢が上がることで、ますます熱中症による事故の危険性が増してしまうといった状況である。

鉄塔での架線作業では基本的に空中での作業となる。作業員は自ら鉄塔にのぼり手作業で架線の作業に取り組む。電線を張り替える際は、電線を一時的につるしておく必要がある。そのための金車という器具を持って鉄塔に上る^[20]。金車は 10kg から 15kg の重量があり、ボルトやナット工具類が落下するのを防ぐためそれら一つ一つにひもを結び付け自分の体につないでいる。この状態で鉄塔に上るのはかなりの運動量となり、熱中症のリスクが高い。また、この金具をつけた状態で、熱中症にかかり意識を失うこと

になった場合、落下の危険性が本人だけでなく地上の作業員にも衝突という危険性も予想される。このように架線作業における熱中症のリスクは非常に高く、先に示した熱中症のⅢ度の症状である意識障害を引き起こす前に作業者が熱中症の状態であることを確認し、速やかに作業の中止を知らせる必要がある。



Fig.2.3 Groundwork on iron plate



Fig.2.4 Winch operation on the ground



Fig.2.5 Electric wire embarking in the air

第 3 章

実験内容及び実験装置

本研究で実施した実験についての概要を示す。本研究では 2 種類の実験を行った。夏の高温環境と室温環境での比較のための人工気候室生体情報収集実験と、実際の作業現場での熱中症評価のための送電鉄塔工事現場生体実験の 2 つである。3.1 節では送電鉄塔工事現場生体実験概要について説明し、3.2 節では人工気候室工事現場生体実験概要について説明する。さらに、3.3 節では、本研究での心電データ解析手法、心拍数の算出方法、熱中症自覚的初期症状の主観評価方法について説明する。

3.1 送電鉄塔工事現場生体情報収集実験概要

3.1.1 実験内容及び実験条件

屋外作業における熱中症推定のために生体情報がどのように変化するかを捉えるために生体情報収集実験を行った。実験は中部電力パワーグリッド株式会社の送電鉄塔工事現場で行った。対象となる作業は日射を浴びる屋外環境で 1 日通しての作業を行い、幅広い年代の実験協力者の生体情報を収集できる送電線工事鉄塔の架線作業とした。作業内容については作業基礎の設営、撤去(重機作業)、電線の延線(空中作業)、ウィンチ操作(地上作業)などである。また、送電鉄塔作業現場では鉄塔以上に高い建物がなく空中または地上作業において日陰となる部分がなく、作業中は常に日光にさらされることから熱中症にかかった際の事故につながる危険性が高い現場である。実験協力者には事前に実験内容を説明し、実験協力の承諾を得られた 20 歳から 50 歳の男性 10 名を対象とした。この対象の 10 名には重複している実験協力者も含まれている。各実験協力者にそれぞれ A から J の番号を割り当てた。検証は熱中症の危険性が高い夏場である 8 月から 9 月かけて計 6 日間行った。各実験日の WBGT 値と実験協力者をまとめたものを Table 3.1 に示す。実験協力者には生体情報収集のために作業時間である午前 8 時から午後 5 時までの間、生体情報計測機器を装着してもらい、1 日を通してのデー

タを計測する。送電鉄塔工事現場生体情報収集実験のタイムテーブルを Table 3.2 に示す。また、厚生労働省の熱中症に関する健康状態自己チェックシート^[18]を基に、熱中症自覚的初期症状調査アンケートを作成し、作業前、昼休憩時、作業後のタイミングで実施した。作業前には就寝時間、起床時間、朝食摂取の有無、実験当日の体調、風邪をひいて発熱の有無、下痢の症状の有無、二日酔いであるかについてアンケートも行った。昼休憩時と作業後のアンケートは、熱中症の初期状態となる、眩暈や立ち眩み、痙攣、頭痛、吐き気、体中のだるさ、判断力・集中力の低下について評価した。各評価は症状について、全く感じない、弱く感じる、少し強く感じる、強く感じる、かなり強く感じるの5段階評価とした。作成したアンケートを Fig.3.1 に示す。本実験は三重大学工学研究科倫理委員会の承認を受けて行われた。

3.1.2 生体情報計測装置

生体情報計測装置は携帯型心電計の VitalgramCT2(AffordSENS Corporation)を使用した。生体情報計測装置の外観を Fig.3.2 に示す。生体情報計測装置では、基盤温度、深部体温、皮膚温度を 0.33Hz、心電データを 1024Hz のサンプリング周波数で計測した。VitalgramCT2 は iPod に無線接続され、取得した各生体情報を iPod に蓄積する。計測装置の寸法は 35mm× 65mm×13mm であり、重量は 約 14g である。計測装置は実験協力者の左胸に装着し、作業中に皮膚から剥離することがないように、装着ベルトとテーピングで固定した。実際に実験協力者が生体情報計測装置を装着した様子を Fig.3.3 に示す。

Table 3.1 WBGT values and experimental collaborators on each experimental day

ID	Date	WBGT[°C]				
		8:30	10:00	12:00	15:00	16:00
A	8/5	29.8	28.7	28.6	28.1	
B	8/6	28.4	27.8	29.3	27.1	
C	8/25	30.6	30.9	33.1	31.2	31.1
D	9/9	25.8	28.2	26.1	27.7	
E						
F						
G	9/10	25.2	24.9	26.4	26.3	25.6
H						
I						
J	9/13	25.6	24.2	27.4	25.3	23.3

Table 3.2 Timetable for the transmission tower construction site biometric information collection experiment

Time	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
Working time (Real time measurement)						
Mesurement at break time						
Questionnaire						
Break time						

熱中症に関する健康状態調査アンケート

回答日： /

回答者： _____

区分	No.	チェック項目
作業前アンケート	1	就寝時刻と起床時刻を記入してください。 就寝時刻 _____ 起床時刻 _____
	2	朝食を食べたか？ <input type="checkbox"/> 食べてない <input type="checkbox"/> 食べた
	3	現在の体調に当てはまるものを選んでください。 <input type="checkbox"/> かなり悪い <input type="checkbox"/> 少し悪い <input type="checkbox"/> 普段通り <input type="checkbox"/> 少し良い <input type="checkbox"/> かなり良い
	4	風邪をひいて熱がある。 <input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
	5	下痢の症状が出ている。 <input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
	6	二日酔いである。 <input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
休憩時チェック	7	めまいや立ち眩みを感じている。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	8	現在の発汗状態に当てはまるものを選んでください。 <input type="checkbox"/> ふいても汗が出る <input type="checkbox"/> 普段より出る <input type="checkbox"/> 普段通り <input type="checkbox"/> 普段より出ない <input type="checkbox"/> 全くでない
	9	手足や体の一部がつるもしくは痙攣する。また、痙攣した部位も記入してください。 例)ふくらはぎ、二の腕 _____ <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	10	頭がズキンズキンと痛い。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	11	吐き気がする。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	12	体中がだるい。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	13	判断力・集中力が低下している。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
作業後チェック	14	塩分をどのように補給していますか。その他である場合、補給に使用したものをご記入ください。 <input type="checkbox"/> していない <input type="checkbox"/> 塩タブレット <input type="checkbox"/> スポーツドリンク <input type="checkbox"/> 両方 <input type="checkbox"/> その他()
	15	水分はどれくらい補給しましたか。 記入例) 麦茶 500mL程度, スポーツドリンク 2L程度 _____
	16	めまいや立ち眩みを感じている。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	17	現在の発汗状態に当てはまるものを選んでください。 <input type="checkbox"/> ふいても汗が出る <input type="checkbox"/> 普段より出る <input type="checkbox"/> 普段通り <input type="checkbox"/> 普段より出ない <input type="checkbox"/> 全くでない
	18	手足や体の一部がつるもしくは痙攣する。また、痙攣した部位も記入してください。 例)ふくらはぎ、二の腕 _____ <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	19	頭がズキンズキンと痛い。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	20	吐き気がする。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	21	体中がだるい。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない
	22	判断力・集中力が低下している。 <input type="checkbox"/> かなり強く感じる <input type="checkbox"/> 強く感じる <input type="checkbox"/> 少し強く感じる <input type="checkbox"/> 弱く感じる <input type="checkbox"/> 全く感じない

Fig.3.1 Heat Stroke Subjective Initial Symptom Survey Questionnaire



Fig.3.2 Appearance of VitalgramCT2 (AffordSENS Corporation)



Fig.3.3 Experimental collaborator wearing biometric device

3.2 人工気候室生体情報収集実験

3.2.1 実験内容及び実験条件

夏の高温高湿環境と室温環境での実験協力者の生体情報がどのように変化するのかを捉え、比較するために生体情報収集実験を行った。実験は三重県立看護大学が保有する人工気候室で行った。実験協力者には事前に実験内容を説明し、実験協力の承諾を得られた20代から40代の男性3名を対象とした。各実験協力者にそれぞれKからMの番号を割り当てた。実験は高温高湿と室温の実験環境の2つを用意し、それぞれ1回実施した。高温高湿環境は、WBGT31.0℃、室温33.5℃、湿度76.8%で実施した。室温環境は、WBGT19.6℃、室温25.6℃、湿度42.6%で実施した。作業内容については、トレッドミルを用いた秒速4mの歩行と軽量のロープを用いて電線のより分け作業を模したロープワークの2種を行った。Fig.3.4の(a)と(b)にロープワークと歩行の様子を示す。人工気候室生体情報収集実験のタイムテーブルをTable 3.3に示す。

実験開始前に実験協力者は生体情報計測機器を装着し作業着に着替えた。次に、人工気候室に入室し椅子に座った状態で30分待機した。歩行を30分間、着座での休憩を5分間、立位状態でロープワークを30分間、着座での休憩を5分間、これらの作業を二回繰り返した。また、熱中症自覚的初期症状の主観評価を得るためアンケートを実施した。実験開始前、歩行1回目後の休憩中、ロープワーク1回目後の休憩中、歩行2回目後の休憩中、ロープワーク2回目後の休憩中の計5回実施した。作業前には就寝時間、起床時間、朝食摂取の有無、実験当日の体調、風邪をひいて発熱の有無、下痢の症状の有無、二日酔いであるかについてアンケートも行った。熱中症自覚的初期症状の主観評価アンケートは、熱中症の初期状態となる、眩暈や立ち眩み、痙攣、頭痛、吐き気、体中のだるさ、判断力・集中力の低下について、全く感じない、弱く感じる、少し強く感じる、強く感じる、かなり強く感じるの5段階評価を聞き取り調査した。本実験は三重大学工学研究科倫理委員会の承認を受けて行われた。

3.2.2 生体情報計測装置

生体情報計測装置は心電データ計測に携帯型心電計のVitalgram CT2(AffordSENS Corporation)を主に用い、補完的に据え置き型の心電計(BIOPAC Systems Inc.)の2種、深部体温としての鼓膜温度計測に慈大式鼓膜温用サーミスタ温度計(センサテクニカ)を

用いた。それぞれのサンプリング周波数は 1024Hz, 4000Hz, 1Hz とした。据え置き型の心電計は、生体アンプ (ML132, ADInstruments, Inc.) と生体計測システム (Power Lab 2/25AD ML825, ADInstruments, Inc.) で構成され、心電データは PC に記録した。据え置き型の心電計の装置の構成を Fig.3.5 に示す。Vitalgram CT2 は実験協力者の左胸に装着し、作業中に皮膚から剥離することがないように、装着ベルトとテーピングで固定した。慈大式鼓膜温用サーミスタ温度計は実験中に耳の中から脱離しないよう、テーピングや綿によって固定した。実際に実験協力者に心電データ計測装置を装着した様子を Fig.3.6 , 鼓膜温度計を装着した様子を Fig.3.7 に示す。

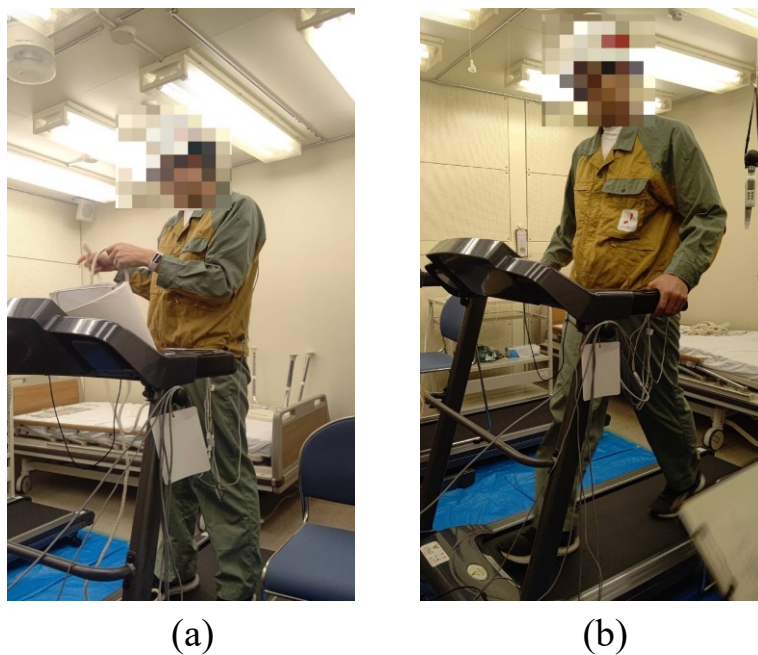


Fig.3.4 (a) Rope work (b) Walking on the rope

Table 3. 3 Timetable for Artificial Climate Chamber Biometric Collection Experiment

Time	0:00			0:30			1:00			1:30			2:00		
Walking															
Rope Work															
Questionnaire															
Break time															

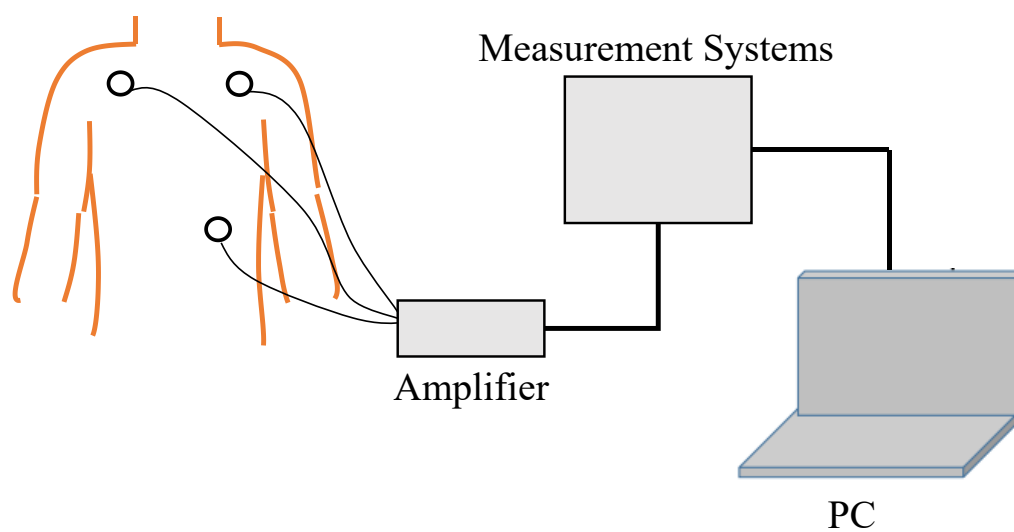


Fig.3.5 Configuration of a stationary electrocardiograph device

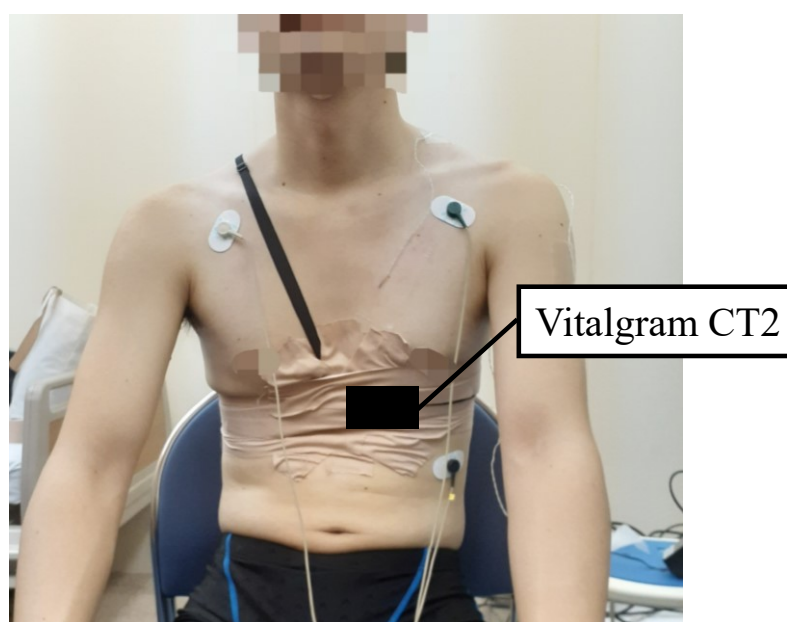


Fig.3.6 Wearing an electrocardiograph used in the artificial climate chamber experiment



Fig.3.7 Tympanic membrane thermometer fitted in an artificial climate chamber experiment

3.3 評価手法及び解析手法

3.3.1 心電データ解析手法

Bezold-Jarisch 反射による失神時に，急激な心臓迷走神経刺激に伴う心電図 R 波間隔（以降 RR 間隔とする）変動のスペクトルの高周波成分（以降，HF 成分）の振幅値の増加が知られている^[14]．湯田らの先行研究より，RR 間隔変動スペクトルの HF 成分の振幅解析手法を用いて解析を行う^[18]．

解析手法は以下である．連続する RR 間隔時系列データを利用し，1 次線形補間をした後，2Hz で再サンプリングを行った．再サンプリングを行った RR 間隔時系列データより，高周波数(HF : 0.15-0.45Hz)成分の振幅を連続測定し，1 分間の移動平均を行った．

本研究での着目する HF 成分の振幅の急上昇の定義は，ある時点の HF 成分の振幅値に比べて 3 倍以上の値を 60 秒以内にとり，かつ 3 倍以上の値を 30 秒以上 60 秒未満維持する場合とする．着目する HF 成分振幅の急上昇の一例として，該当する部分の HF 成分振幅の時系列データのグラフを Fig.3.8 に示す．縦軸に HF 成分の振幅[ms]，横軸に時刻[h:mm]である．

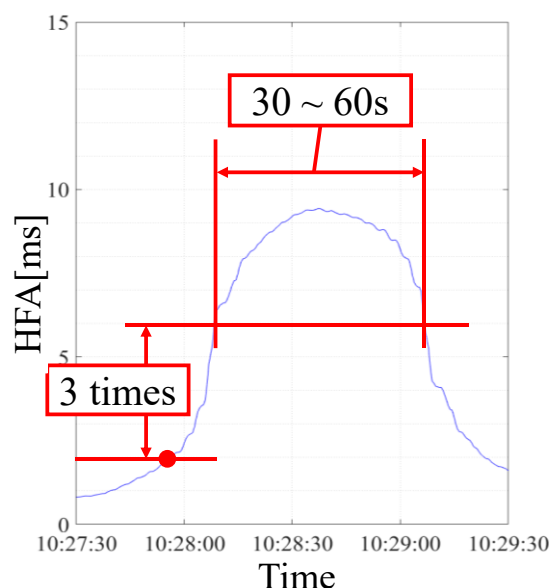


Fig.3.8 An example of a sharp rise in HF component amplitude of interest

3.3.2 脈拍数検出手法

作業者の脈拍数は VitalgramCT2 によって測定された RR 間隔から計算する。RR 間隔 は心室興奮から次の心室興奮までの時間を表しており周期的である。脈拍数は心室が 1 分間に収縮する回数なので本実験では運動時にリアルタイムで脈拍数を計測することができなかったため RR 間隔 RRI を用いて式 3.1 で脈拍数 P を算出する。

$$P = \frac{60}{RRI} \quad (3.1)$$

3.3.3 熱中症自覚的初期症状の主観評価方法

熱中症自覚的初期症状調査アンケートにおいて、熱中症の初期状態となる、眩暈や立ち眩み、痙攣、頭痛、吐き気、体中のだるさ、判断力・集中力の低下について評価した。各評価は症状について、全く感じない、弱く感じる、少し強く感じる、強く感じる、かなり強く感じるの 0-4 の 5 段階評価とした。これらの項目について得点をつけ、得点の合計値を体調変調総合評価値とした。

体調変調総合評価値が高いほど熱中症へと体調が変調している可能性が高く、低いほど熱中症へと体調が変調している可能性が低く、平常時と変わらないと評価する。

第4章

実験結果及び考察

本章では送電鉄塔工事現場での生体情報収集によって得られた熱中症自覚的初期症状アンケート結果と心電データ解析結果と考察を4.1節にて説明する。また、人工気候室での生体情報収集によって得られた熱中症自覚的初期症状アンケート結果と心電データ解析結果と考察を4.2節にて説明する。

4.1 送電電鉄塔工事現場生体集実験結果及び考察

4.1.1 熱中症自覚的初期症状アンケート結果

各実験協力者の熱中症自覚的初期症状アンケート結果を Table 4.1 に示す。Table 4.1 は実験協力者の ID, 実施日の正午における WBGT 値, 熱中症の初期症状となるめまい, 頭痛, 吐き気の有無, 集中力低下の評価, 体調変調総合評価を示している。アンケートによれば, ほとんどの実験協力者の体調変調総合評価値は 0 であり, 実験協力者 F と実験協力者 I と実験協力者 J の体調変調総合評価値は他の実験協力者より高いことが確認できた。実験協力者 F は, 眩暈, 頭痛, 吐き気, 集中力低下の 4 つの項目において 1 の「弱く感じた」と回答しており, 体調変調総合評価値は 5 であった。実験協力者 I は, 眩暈, 頭痛, だるさ, 吐き気の 4 つの項目において 1 の「弱く感じた」と回答しており, 体調変調総合評価値は 5 であった。実験協力者 J は, 吐き気の 1 つの項目において 1 の「弱く感じた」と回答しており, 体調変調総合評価値は 1 であった。

以上のことから, 実験協力者 F と実験協力者 I と実験協力者 J は熱中症自覚的症状を感じており, 熱中症の傾向にあったとわかる。

4.1.2 心電データ解析結果

各実験協力者の心電データ解析結果によって得られた HF 成分振幅時系列データと心拍数をグラフにしたものを Fig.4.1 から Fig.4.10 に示す。第 1 縦軸に HF 成分振幅[ms], 第 2 縦軸に心拍数[bpm], 横軸に時刻[h:mm]を表している。青実線は HF 成分振幅値,

赤実線は心拍数を表している。各実験協力者の実験中に検知できた HF 成分振幅の急上昇の回数を Table 4.2 に示す。

中症の傾向にあった実験協力者 F, I, J の HF 成分振幅の急上昇の回数は、熱中症の傾向になかった他の実験協力者よりも多く、それぞれ 4 回、4 回、8 回となった。

4.1.3 送電電鉄塔工事現場生体集実験の考察

各実験協力者の体調変動総合評価値と実験中に検知できた HF 成分振幅の急上昇の回数をまとめたものを Table 4.3 に示す。Table 4.3 の結果をプロットした結果を Fig. 4.11 に示す。縦軸が HF 成分の振幅の急上昇を検知した回数を、横軸が体調不良の総合評価値を示している。Fig. 4.11 より、熱中症の傾向にあった実験協力者 F, I, J の HF 成分振幅の急上昇の回数は、熱中症の傾向になかった他の実験協力者よりも多く、それぞれ 4 回、4 回、8 回となった。一方で、熱中症の傾向になかった他の実験協力者の HF 成分振幅の急上昇の回数は確認されなかった。これらのことから HF 成分振幅の急上昇が確認された実験協力者は、熱中症の傾向にあると予測できる可能性が確認された。

Table 4. 1 Results of questionnaire on subjective initial symptoms of heat stroke for each experimental collaborator

ID	WBGT [°C]	Vitigo		Spasm		Headache		Nausea		listlessness		Low concentration		Evaluation Value of Questionnaire
		Middle	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	Middle	End	
A	28.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	29.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	33.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	26.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	26.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	26.1	1	1	0	0	-	1	0	0	1	0	1	0	5
G	26.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	26.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	26.4	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	5
J	27.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

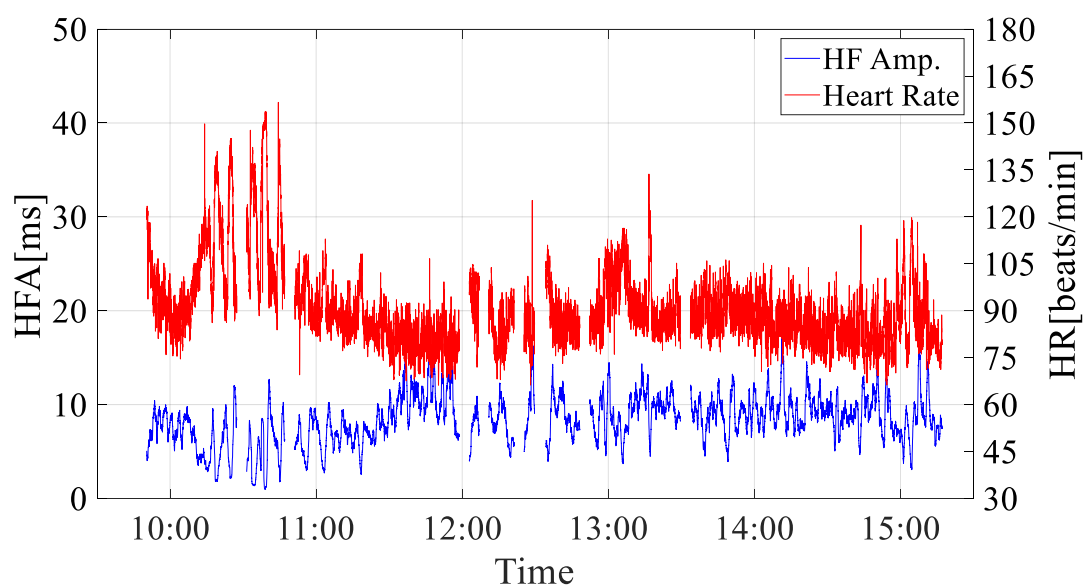
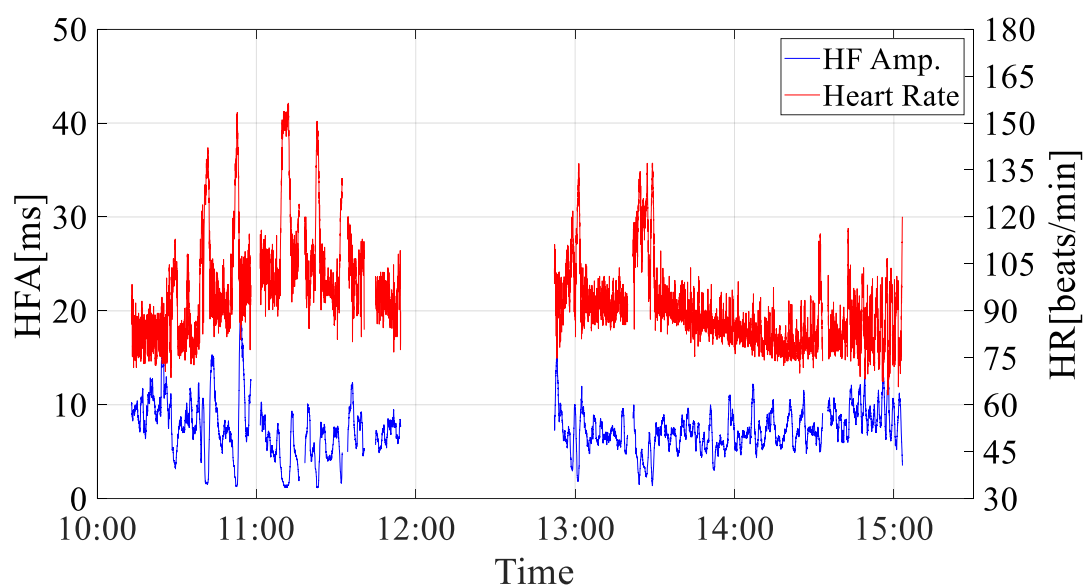
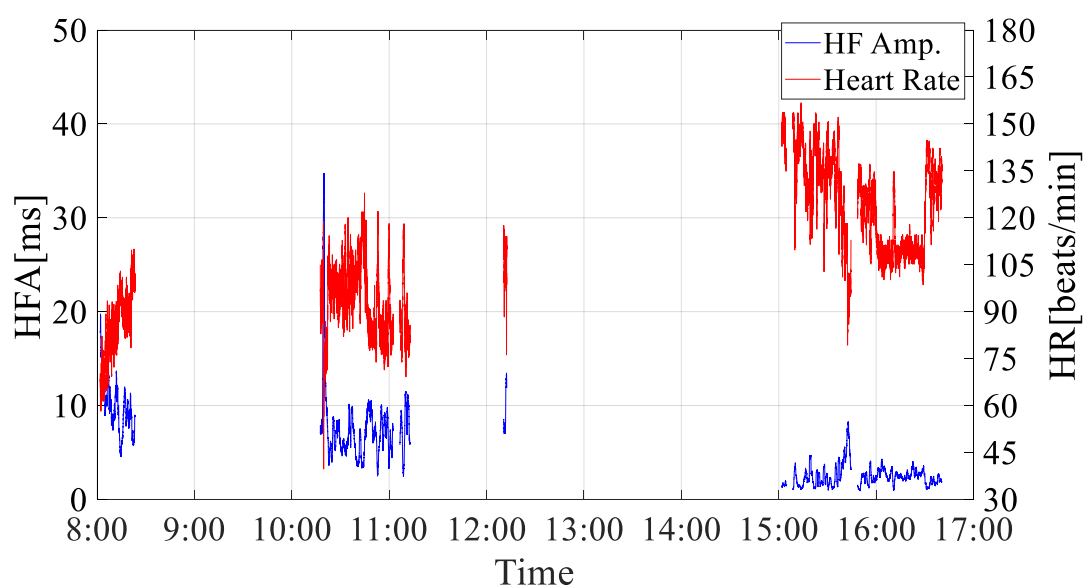
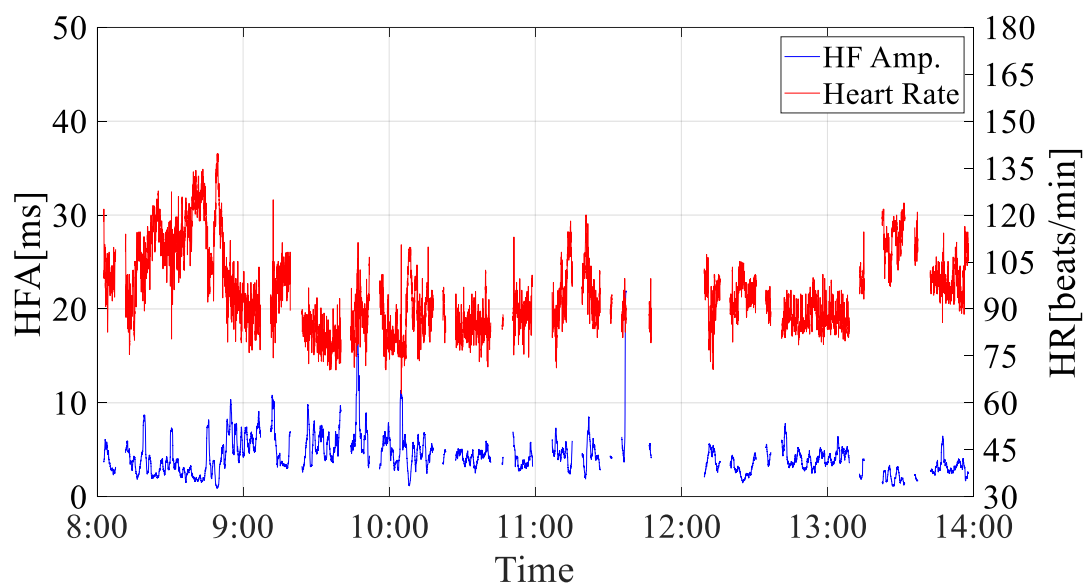
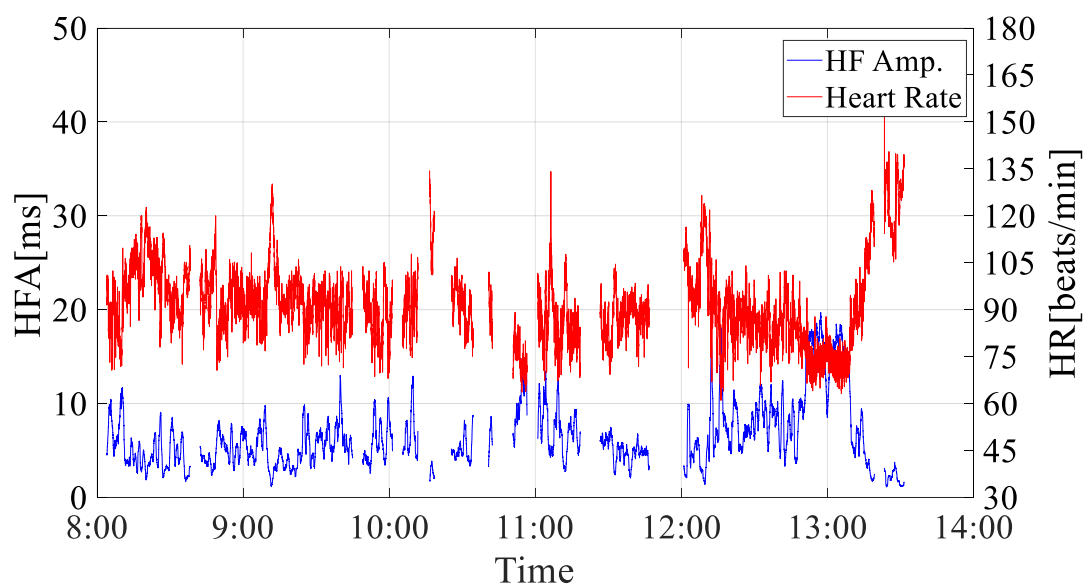


Fig.4. 1 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator A

**Fig.4.2 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator B****Fig.4. 3 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator C**

**Fig.4. 4 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator D****Fig.4. 5 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator E**

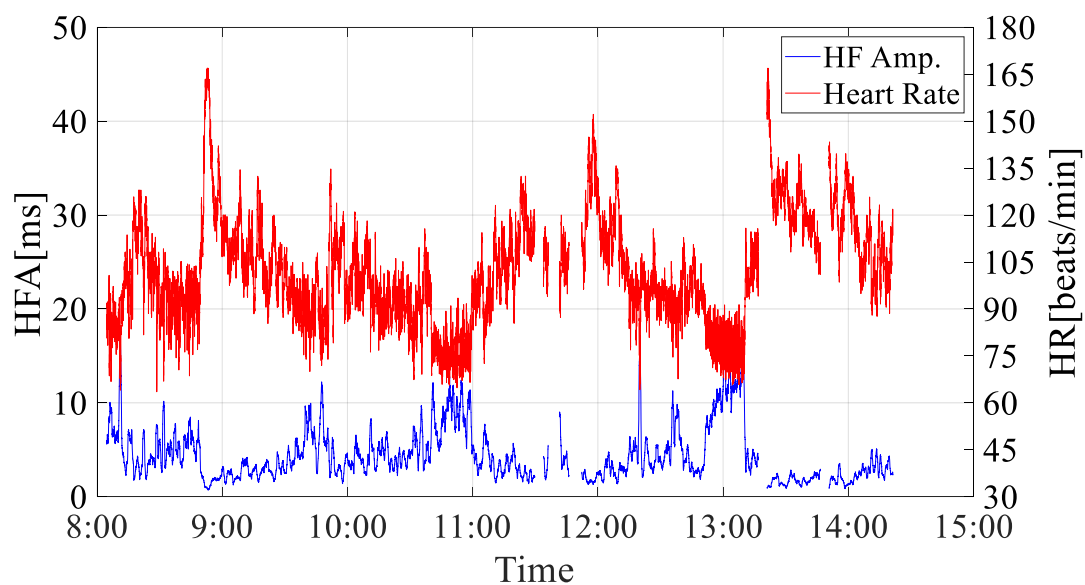


Fig.4. 6 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator F

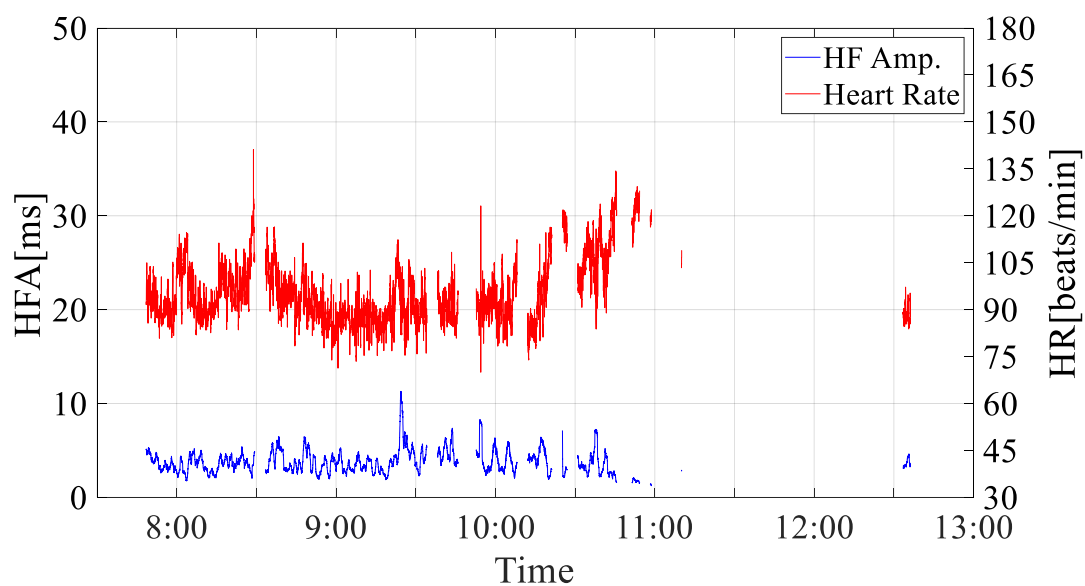
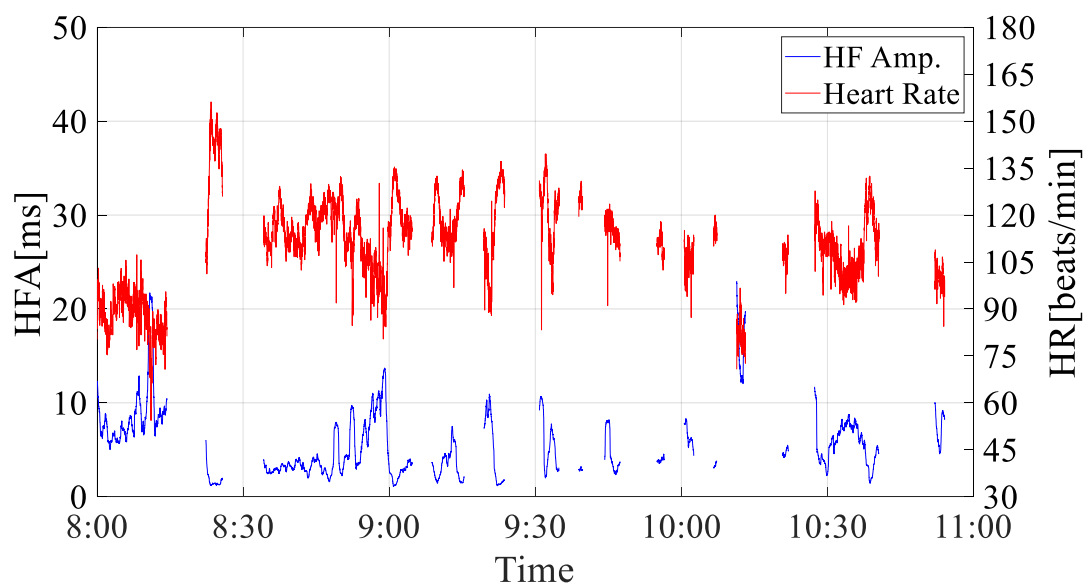
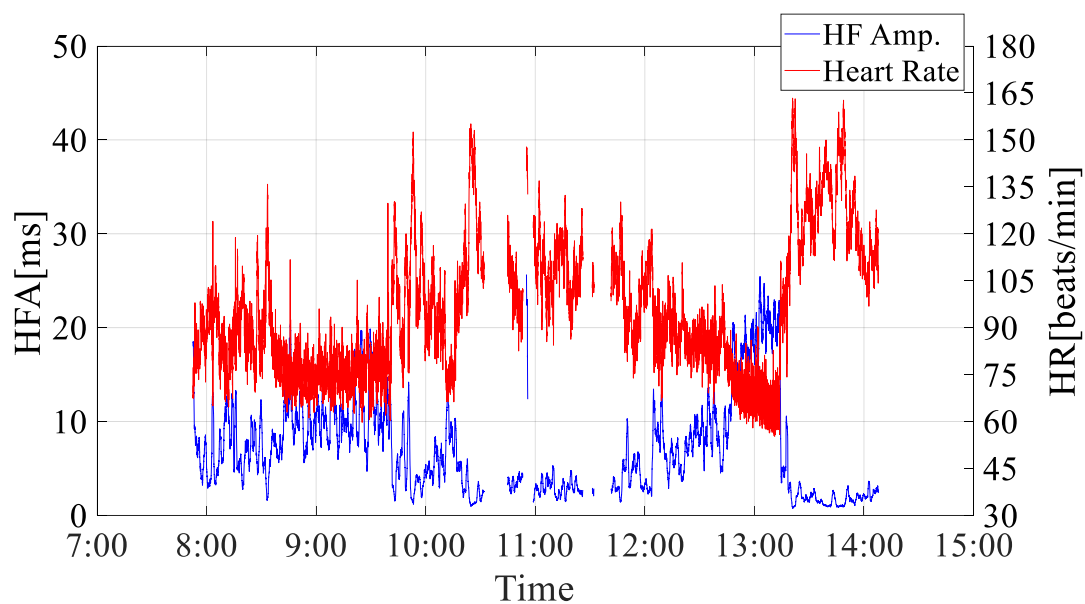


Fig.4. 7 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator G

**Fig.4. 8 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator H****Fig.4. 9 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator I**

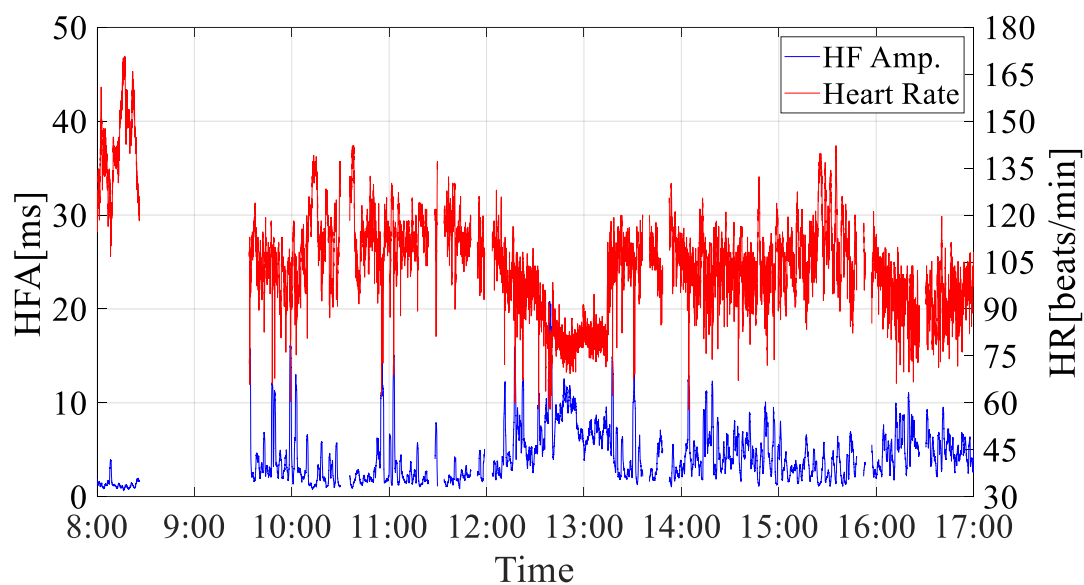


Fig.4. 10 Results of electrocardiographic data analysis for experimental collaborator J

Table 4. 2 Number of HF component amplitude spikes for each experimental collaborator

ID	Number of changes in HF Amplitude
A	1
B	1
C	1
D	1
E	2
F	4
G	0
H	1
I	4
J	8

Table 4. 3 Overall rating of physical condition modulation and number of HF spikes in

HF component amplitude for experimental collaborators

ID	Evaluation Value of Questionnaire	Number of changes in HF Amplitude
A	0	1
B	0	1
C	0	1
D	0	1
E	0	2
F	5	4
G	0	0
H	0	1
I	5	4
J	1	8

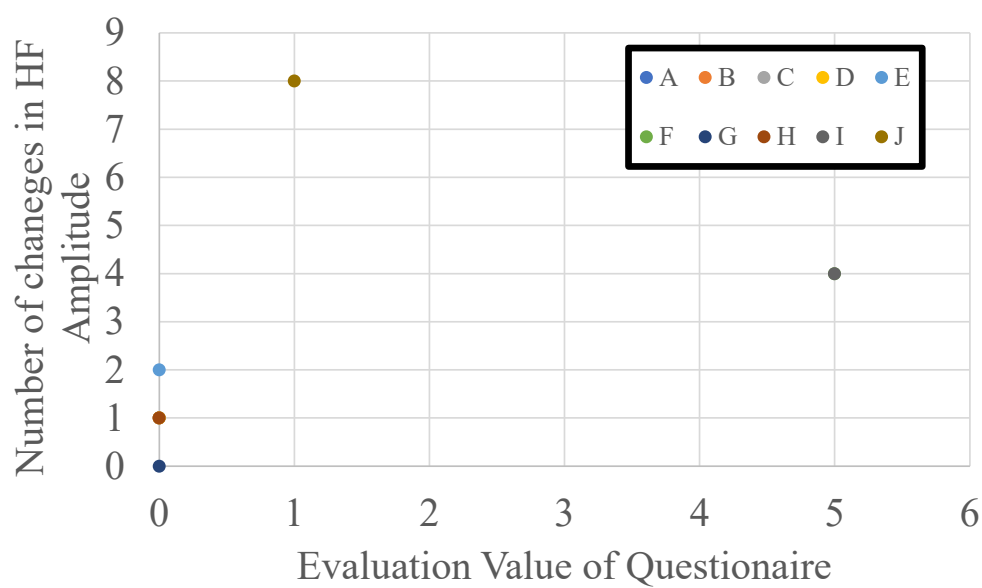


Fig.4. 11 Relationship between the overall rating of physical condition modulation and the number of HF spikes in HF component amplitude

4.2 人工気候室生体集実験結果及び考察

4.2.1 熱中症自覚的初期症状アンケート結果

高温高湿環境下と室温環境下の実験協力者 K から実験協力者 M の熱中症自覚的初期症状アンケート結果をそれぞれ Table 4.4, Table 4.5 に示す. Table 4.4 と Table 4.5 は実験協力者の ID, 実施した環境の WBGT 値, 歩行 1 回目(W1), ロープワーク 1 回目(R1), 歩行 2 回目(W2), ロープワーク 1 回目(R2)に実施したアンケートでの熱中症の初期症状となるめまい, 頭痛, 吐き気の有無, 集中力低下の評価を示している. 高温高湿環境下での実験において, 実験協力者 J はロープワーク 1 回目終了時に強い手足のしびれと眩暈を感じたため, ロープワーク 1 回目終了後, 直ちに実験を中止した.

アンケートによれば, 高温高湿環境下での実験において, 実験協力者 K はロープワーク 1 回目に集中力低下を弱く感じ, 実験協力者 L はロープワーク 1 回目と歩行 2 回目に体のだるさ, ロープワーク 1 回目と 2 回目に集中力低下を弱く感じていた. 一方で, 強い手足のしびれと眩暈を感じていた実験協力者 M は前述の症状以外に集中力の低下を感じており, 実験協力者 M は熱中症の傾向にあったと考えられる. 室温環境下での実験において実験協力者 K から実験協力者 M は, 熱中症自覚的初期症状を全く感じていなかった.

以上のことから, 高温高湿環境下では, 実験協力者 K から実験協力者 M の全員に体調の変化が見られており, 特に実験協力者 M は熱中症自覚的初期症状を強く感じている一方, 室温環境下では全く感じていなかった. そのため, 高温高湿環境下実験において熱中症の傾向にあった実験協力者 M の高温高湿環境下と室温環境下の心電データ解析結果を比較することにより, 熱中症の兆候現象を把握できると考えられる.

4.2.2 心電データ解析結果

高温高湿環境下での各実験協力者の心電データ解析結果によって得られた HF 成分振幅時系列データと心拍数をグラフにしたものを Fig.4.12 から Fig.4.14 に示す. 各実験協力者の実験中に検知できた HF 成分振幅の急上昇の回数を Table 4.6 に示す. 実験協力者 K は 4 回, 実験協力者 L は 0 回, 実験協力者 M は 1 回 HF 成分振幅の急上昇を検知した.

また, 室温環境下での各実験協力者の心電データ解析結果によって得られた HF 成

分振幅時系列データと心拍数をグラフにしたものを Fig.4.14 から Fig.4.17 に示す. 第 1 縦軸に HF 成分振幅[ms], 第 2 縦軸に心拍数[bpm], 横軸に時刻[h:mm]を表している. 青実線は HF 成分振幅値, 赤実線は心拍数を表している. 各実験協力者の実験中に検知できた HF 成分振幅の急上昇の回数を Table 4.7 に示す. 実験協力者 K から実験協力者 M 共に 0 回と HF 成分振幅の急上昇を検知しなかった.

4.2.3 熱中症発症者における生体情報比較と考察

Fig.4.18 に実験協力者 M の心拍数と鼓膜温度を示す. 第 1 縦軸に鼓膜温度[°C], 第 2 縦軸に心拍数[bpm], 横軸に時間[h:mm]を表している. 青実線は膜温度, 赤実線は心拍数鼓を表している. 実験協力者 M は HF 成分振幅の急上昇を実験開始から 34 分後に検知した. 検知した時間帯の部分において, 心拍数が 10 秒間で 115bpm から 135bpm に上昇した後, 直ちに 110bpm 付近まで下降したことが確認された. この現象は皮膚血管や下肢への血流量増加によって深部体温の低下を行っていたが, 着座姿勢での休憩により直前の歩行実験での脚部の歩行運動による筋ポンプ作用がなくなり, 下肢への血液貯留が要因の心臓への静脈管流量減少が発生し, 血圧低下を防止するために心拍数上昇が発生する一方で急激な迷走神経刺激も発生することで心拍数減少が発生したと考えられる. 前述のような心拍数変動は Bezold-Jarisch 反射によって引き起こされ则认为られている変動と同様であると考えられる. また, 先行研究では確認されなかった鼓膜温度との関連性として, 熱中症を発症した実験協力者 M の実験結果では, 検知された HF 成分の振幅の急上昇の 8 分前に鼓膜温度が 37.5 度以上になり, ピークの 37.6 度になった 1 分後に HF 成分の振幅の急上昇が検知された. 安静時の鼓膜温度低下には脳への血流量増加と相関があることが知られており^[21], Fig.4.18 より鼓膜温度低下の直後に Bezold-Jarisch 反射による変動が発生していると考えられる. このことから下肢への血液貯留と脳への血流量増加が同時に発生し, 心臓への静脈管流量減少により Bezold-Jarisch 反射が発生したと考えられる.

4.2.3 人工気候室生体集実験の考察

高温高湿環境下実験でのアンケート結果では, 実験協力者 3 は熱中症自覚的初期症状を強く感じていた. また, 心電データ解析結果より, HF 成分振幅の急上昇が 1 回発生していた. その一方, 室温環境下実験では実験協力者 3 は熱中症自覚的初期症状を全く感じておらず, HF 成分の振幅の急上昇も発生しなかった. そのため, 高温高湿環境下

と室温環境下での比較実験として、通常の運動時では HF 成分の振幅の急上昇は発生せず、熱中症を誘発しやすい高温高湿環境下では実際に熱中症の傾向にあった場合には HF 成分振幅の急上昇を検知することができ、HF 成分の振幅の急上昇は熱中症の兆候現象である可能性がわかった。また、熱失神の要因の 1 つである Bezold-Jarisch 反射による心拍数変動と同様と推察できる心拍数変動を熱中症を発症した実験協力者 M の心拍数変動から確認できた。また、鼓膜温度低下の直後に Bezold-Jarisch 反射による変動が発生していることが確認された。このように本研究では従来研究とは異なり、HF 成分振幅の急上昇と鼓膜温度変動の関連を確認した。今後、幅広い年齢層の実験協力者を増やすことで HF 成分振幅の急上昇での熱中症兆候把握の汎用性を確認するとともに、他の生体データと HF 成分振幅の急上昇の比較を行い、HF 成分振幅の急上昇の発生メカニズムと熱中症によって引き起こされる生体反応との関連が確認できれば、より正確な熱中症兆候の把握手法が確立されることが考えられる。

Table 4. 4 Results of questionnaire on subjective initial symptoms of heat stroke among collaborators in the experiment under high temperature and high humidity

ID	Vitigo				Spasm				Headache				Nausea				Listlessness				Low concentration			
	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
M	0	2	-	-	0	4	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	1	2	-	-

Table 4. 5 Results of questionnaire on subjective initial symptoms of heat stroke among collaborators in the room temperature environment experiment

ID	Vitigo				Spasm				Headache				Nausea				Listlessness				Low concentration			
	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2	W1	R1	W2	R2
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

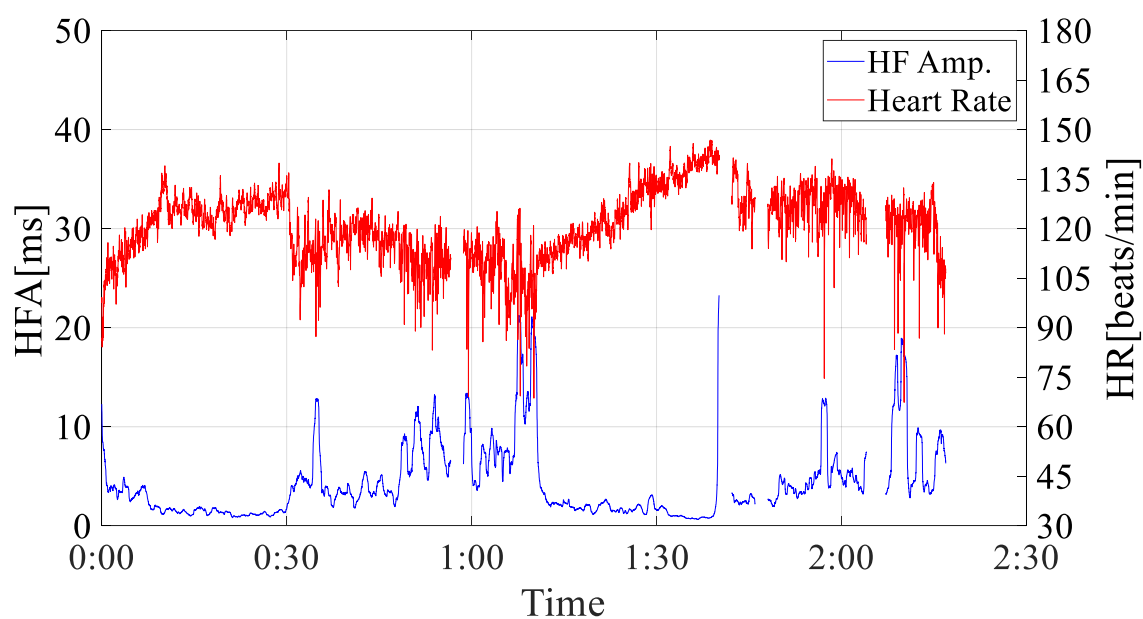


Fig.4. 12 Results of analysis of electrocardiographic data of experimental collaborator K in a hot and humid environment

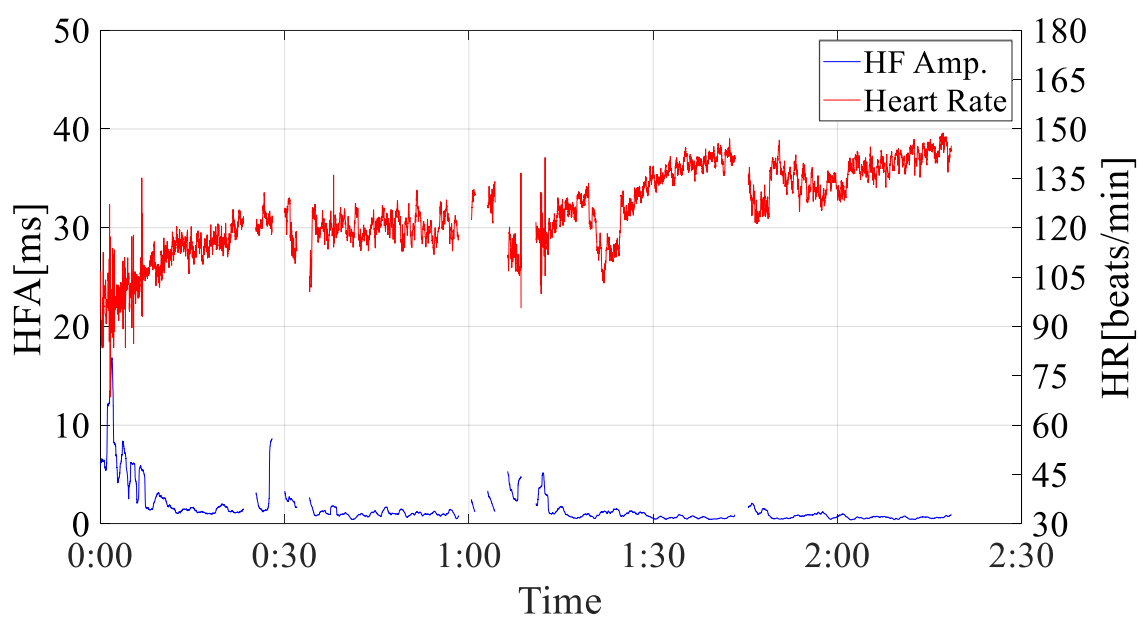


Fig.4. 13 Results of analysis of electrocardiographic data of experimental collaborator L in a hot and humid environment

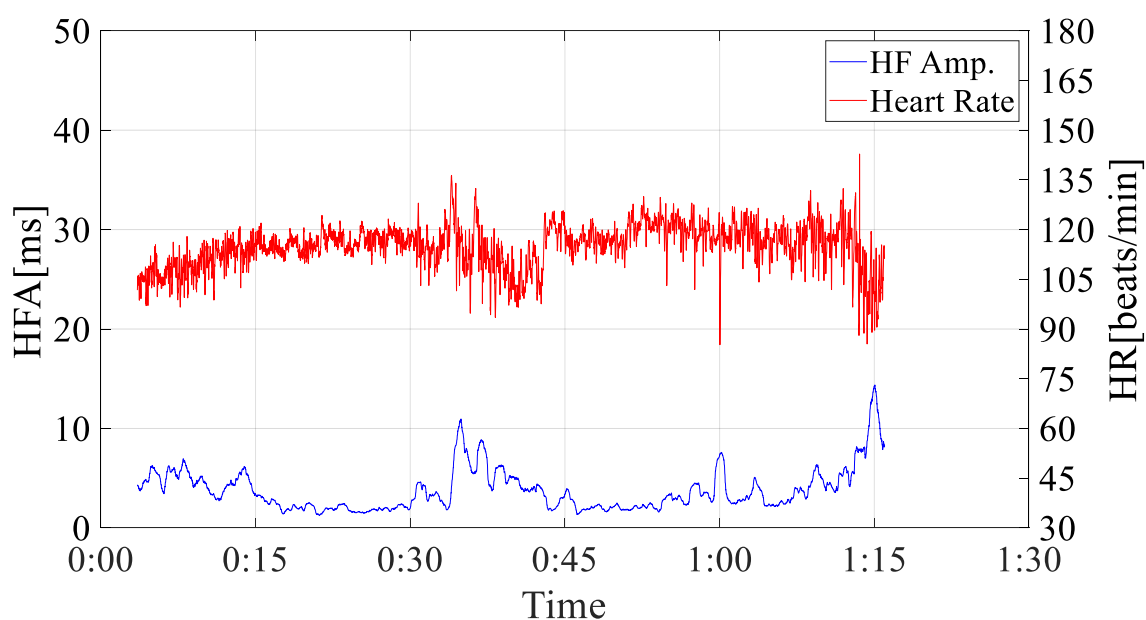


Fig.4. 14 Results of analysis of electrocardiographic data of experimental collaborator M in a hot and humid environment

Table 4. 6 Number of HF spikes in the amplitude of the HF component that could be detected by the collaborator in the experiment under high temperature and high humidity conditions

ID	Number of changes in HF Amplitude
K	4
L	0
M	1

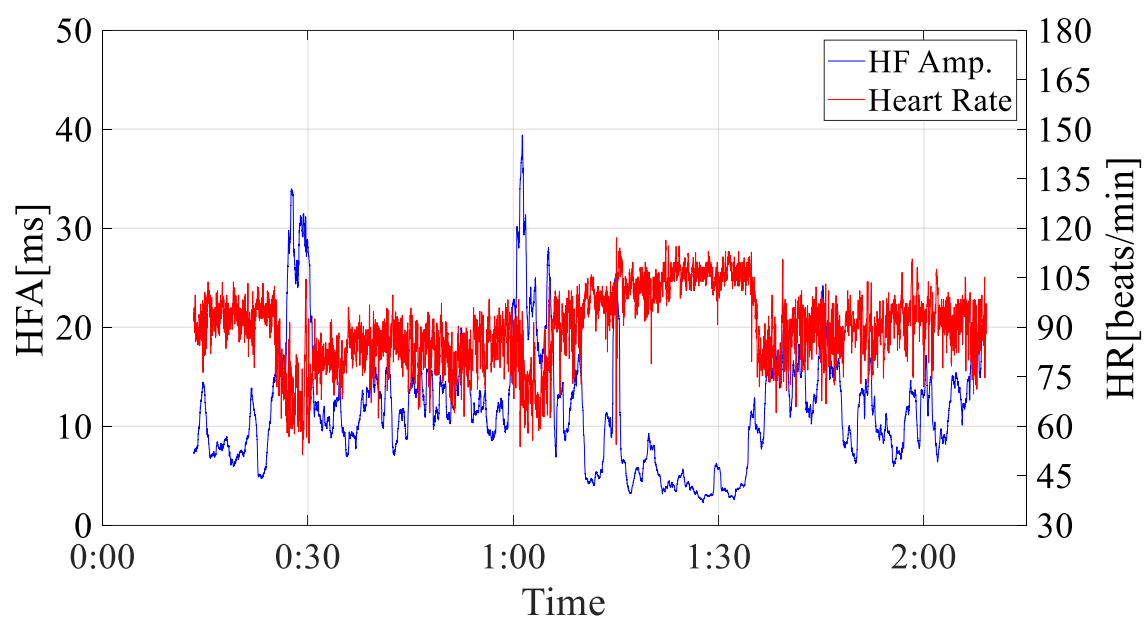


Fig.4. 15 Results of analysis of electrocardiographic data of experimental collaborator K under room temperature environment

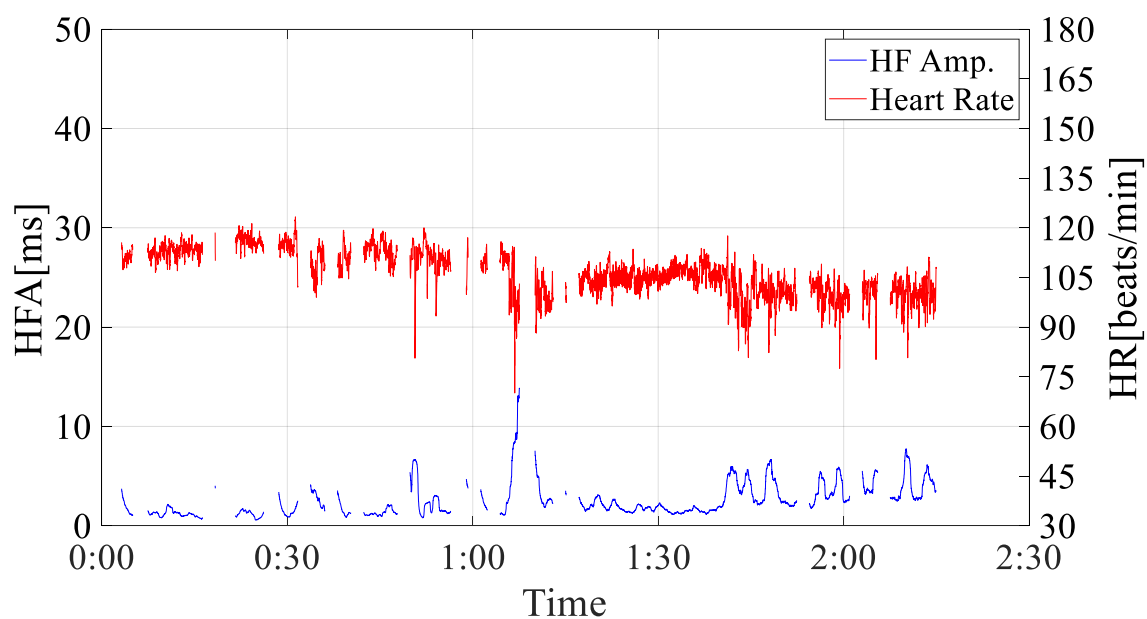


Fig.4. 16 Results of analysis of electrocardiographic data of experimental collaborator L under room temperature environment

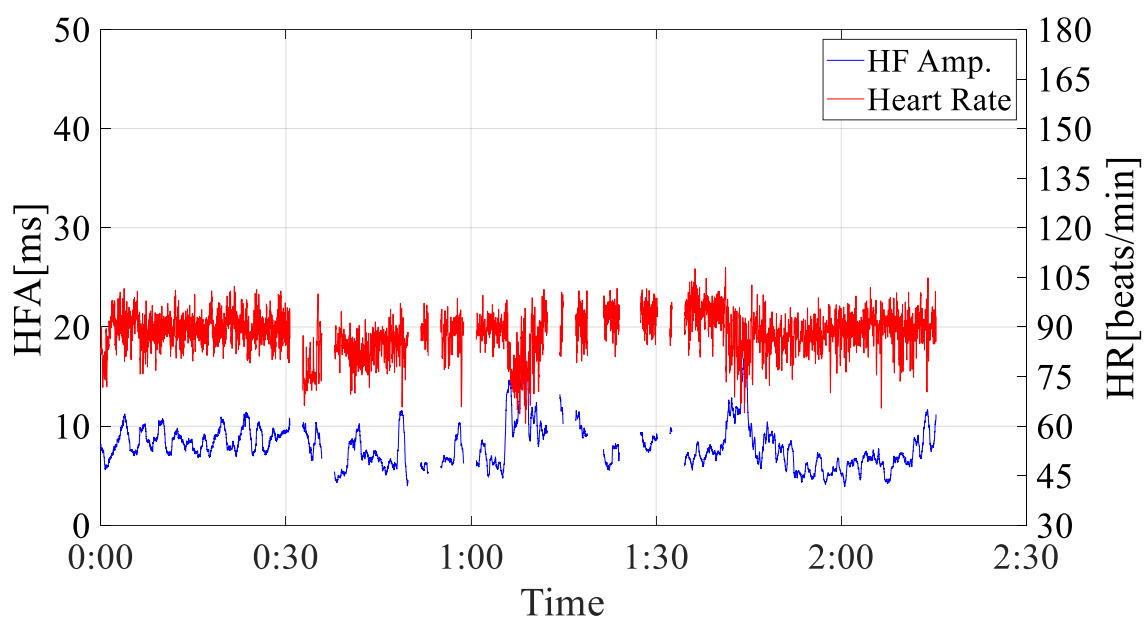


Fig.4. 17 Results of analysis of electrocardiographic data of experimental collaborator M under room temperature environment

Table 4. 7 Number of HF spikes in the amplitude of the HF component that could be detected by the collaborator in the experiment under room temperature conditions

ID	Number of changes in HF Amplitude
K	0
L	0
M	0

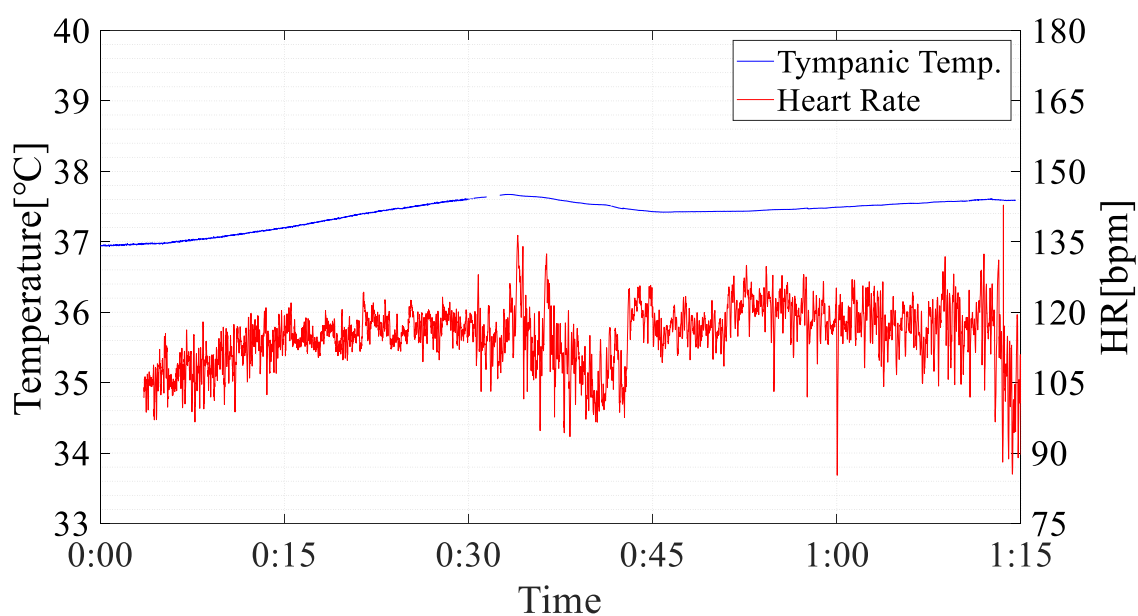


Fig4.18 Tympanic membrane temperature and heart rate of experimental collaborator M who developed heat stroke

第5章

結論

5.1 まとめ

熱中症に関して環境温度との関係や模擬運動時の身体データとの関係に関する研究は数多く行われているが、実際の建設現場での作業員の身体データと熱中症の関係に関する研究は行われていない。現場の作業員の熱中症を予防するためには、作業員の身体データから熱中症の指標を確立することが重要だと考える。本研究室での先行研究では、夏場の高温高湿環境下で空中作業が多い送電鉄塔架線工事を対象として実験協力者の脈拍数と深部体温データの解析を行ったが、脈拍数があまり変動することがない激しい運動を伴わない作業員が熱中症であるかを判断するのが困難である問題が生じた。本研究では、熱中症の発生要因の一つとされる循環不全による心電図のRR間隔変動のパワースペクトルのHF成分の振幅変化に着目し、作業員の心電データのモニタリング結果の解析を行うことにより、高温・高湿度環境における現場作業において、生体データ解析により熱中症の兆候を捉えることの実現を目的とした。

屋外作業における熱中症兆候の把握のために、生体情報がどのように変化するかを捉えるために送電鉄塔工事現場生体情報収集実験と、夏の高温高湿環境と室温環境での生体情報がどのように変化するか比較するために人工気候室生体情報収集実験の二種の実験を行った。送電鉄塔工事現場実験では実験協力者AからJの10名、人工気候室実験では実験協力者KからMの3名で行った。電鉄塔工事現場実験の実験協力者は重複している実験協力者も含まれている。両実験共に、心電計を左胸に装着し、作業間の休憩時間に熱中症自覚的初期症状調査アンケートを行い、眩暈や立ち眩み、痙攣、頭痛、吐き気、体中のだるさ、判断力・集中力の低下を5段階評価した。

送電鉄塔工事現場生体情報収集実験でのアンケート結果より、実験協力者Fは、眩暈、

頭痛, 吐き気, 集中力低下を弱く感じ, 実験協力者 I は, 眩暈, 頭痛, だるさ, 吐き気を弱く感じ, 実験協力者 J は, 吐き気を弱く感じたと回答した. また, 心電データの解析結果として, 熱中症の傾向にあった実験協力者 F, I, J の HF 成分振幅の急上昇の回数は 4 回, 4 回, 8 回であり, 熱中症の傾向になかった他の実験協力者はなしが 1 名, 1 回が 5 名, 2 回が 1 名という結果と比較すると, 熱中症傾向になかった者より多く急上昇を検知した. この結果より, HF 成分振幅の急上昇が熱中症の傾向にあると予測できる可能性が確認された. 次に, 人工気候室生体情報収集実験の結果を示す. アンケートにより, 高温高湿環境下での実験において, 実験協力者 M は強い手足のしびれ, 眩暈, 集中力の低下を感じており, 実験協力者 M は熱中症の傾向にあったと考えられる. 室温環境下での実験において実験協力者 M は, 熱中症自覚的初期症状を全く感じていなかった. 心電データ解析結果として, 実験協力者 M は, 高温高湿環境下実験では HF 成分の振幅の急上昇が 1 回確認されたが, 室温環境下実験では HF 成分の振幅の急上昇は発生しなかった. こうしたことから, HF 成分の振幅の急上昇は熱中症の兆候現象である可能性が確認された.

以上のことから, 熱中症の傾向にある場合 HF 成分の振幅の急上昇を複数回確認することができ, 熱中症の兆候を HF 成分の振幅の急上昇から捉えることができる可能性を確認した.

5.2 今後の課題

本稿ではが, RR 間隔変動のパワースペクトルの HF 成分の振幅変化に着目し, HF 成分振幅の急上昇が熱中症の兆候現象である可能性を検証したが, 実験協力者が男性のみかつ人数も少数であるため, 今後は実験協力者を増やし, さらなる有効性検証が必要である. また, HF 成分振幅の急上昇が熱中症の発症メカニズムにどのように関わっているのか生理学的検証が行われていないため, 血圧や鼓膜温度などの生体情報との関係性をさらに深く研究することで解明することができると考えている.

参考文献

- [1] 原島省, 小野雅司, 伊藤智彦, 高橋喜幸, 森保文, 植弘崇嗣, 岸辺和美:「環境儀 No.32 ー国立環境研究所の研究情報誌ー」, 国立環境研究所 (2009)
- [2] 消防庁:「令和4年(5月から9月)の熱中症による救急搬送状況」, 総務省報道資料(2022)
- [3] 堤健吾:「連系線増強などで鉄塔需要が急増。しかし人材不足で鉄塔業界は苦境に 岐路に立つ巨人・送電鉄塔業界の現状(上)」, 電気新聞(2019)
[Online] <https://www.denkishimbun.com/sp/38034> (閲覧日: 2023-1-23)
- [4] 中井誠一:「熱中症の発生実態と環境温度」, 日本生気象学会雑誌, Vol.41, No.1, pp.51-54(2004)
- [5] 山本青空, 久保孝富, 藤原幸一, 山川俊貴, 奥村七彩, 丸野由希:「スポーツ中の熱中症予防を目的とした飲水の心拍変動への影響評価」, 生体医工学, Vol.Annual59, No.Absuract, pp.381(2021)
- [6] 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, Vol.56, No.4, pp.437-444(2007)
- [7] 落合直輝, 藤田悦則, 小倉由美, 村田幸治, 亀井勉, 上野義雪, 金子成彦:「骨盤・腰部支持による疲労軽減効果」, 日本人間工学会大会講演集, 第41巻特別号, pp.300-301(2005)
- [8] 古郡了, 岡本宣久, 三浦泰彦, 畑秀二:「長時間自動車運転時の体圧変動の解析」, 人間工学, No.37, pp.268-269(2001)
- [9] 環境省:「暑さ指数とは? 暑さ指数(WBGT)の概要と指針. 熱中症予防情報サイト」, 環境省
[Online] <https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php> (閲覧日: 2023-1-23)
- [10] 大洋製薬株式会社:「熱中症発生のメカニズム. 熱中症関連情報」, 大洋製薬株式会社(2015)
[Online] http://www.taiyo-harm.co.jp/heat_illness/estate_heat_illness_mechanism.html (閲覧日 2023-1-23)

- [11] 日本気象協会：「熱中症について学ぼう：熱中症発症メカニズム．熱中症ゼロへ」
日本気象協会
[online] <https://www.netsuzero.jp/learning/le12> (閲覧日：2023-1-23)
- [12] 渡井康之，松井岳巳：「熱中症予防のための深部体温上昇判別システムの開発—心拍数，呼吸数，体表面温度による判別可能性の検討—」，生体医工学，Vol.54Annual, No.Proc, pp.3T5-3-6-1 – 3T5-3-6-2(2016)
- [13] 岩坂航大：「生体信号を用いた屋外作業員の熱中症に関する研究」三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2022 年度博士論文
- [14] 日本救急医学会熱中症に関する委員会：「熱中症診療ガイドライン 2015」，日本救急医学会(2015)
- [15] 熱中症環境保健マニュアル 編集委員：「熱中症環境保健マニュアル 2022」，環境省環境保健部環境安全課(2022)
- [16] Lipsitz LA, Hayano J, Sakata S, Okada A, Morin RJ：「Complex demodulation of cardiorespiratory dynamics preceding vasovagal syncope」，Circulation, Vol.98, No.10, pp.977-983(1998)
- [17] 大越有一，寺嶋克幸：「あつという間にうまくなる神経ブロック上達術」，真興交易医書出版部(2018)
- [18] 三上康朗，梶岡修司，山内泰，日東寺美知夫，田中健嗣，斉藤実，得山広孝：「建設工事特別座談会 西と東を結ぶ新たな動脈，±200kV 飛騨信濃直流幹線新設工事：東京電力パワーグリッド(株)が着工，さらなる安定供給に向けて」，電気現場，Vol.57, No.669, pp.14-24(2018)
- [19] 小村到，戸田雄也，早川聡一郎，堤成可，池浦良淳，山川拓巳，吉田優海，筒井孝夫，戸畑秀夫：「送電線工事の死者が過去 20 年で最悪、ドローンでも制御できない地方経済の「深い谷」」，週刊エコノミスト Online(2021)
[Online]<https://weekly-economist.mainichi.jp/articles/20211022/se1/00m/020/006000d> (閲覧日：2023-1-23)
- [20] 長島洋雄：「架線工具．架空送電線の話」，株式会社タワーライン・ソリューション(2011)
[Online] <https://www.k-tls.co.jp/overhead-tml/gasen-kougu.html>(閲覧日：2023-1-23)
- [21] 鈴木政登，河辺典子，松原茂：「咀嚼運動時酸素摂取量，心拍数，鼓膜温および総

頸動脈血流量変化」, 日本体育学会, Vol.45, p.269(1994)

謝辞

本研究を進めるにあたり、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には学部 4 年から修士 2 年までの 3 年間という長い間、研究に関する有益なご助言を頂き、深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

また、大変お忙しい中、本論文を査読して頂くと共に、多数のご教示、ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 矢野賢一教授に厚く御礼申し上げます。

加えてこの 3 年間、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には研究のみならず学会活動等多岐に渡って終始多大なる御指導、御鞭撻を親身になって行って頂き、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

また、中部電力パワーグリッド株式会社 杉本敏文様と八尾健一朗様、三重県立看護大学 大西範和様には浅学な私に対し多数のご教示、ご助言を賜り、心より御礼申し上げます。本稿作成は、中部電力パワーグリッド株式会社や三重県立看護大学の関係者の皆様からの情報提供や御助力があったことにより可能となりました。ここに、深甚なる謝意を表します。

本研究を行うに際しまして、お忙しい中実験に協力して下さった杉本敏文様と八尾健一朗様、大西範和様、福井あやか氏、実験の準備・実施に関わっていただいた皆様には貴重な時間を割いて頂き、厚く御礼申し上げます。

また、研究室での生活を楽しく豊かにして頂いた、学部 4 年生と修士 1 年生の皆様に感謝し、今後のご活躍を期待しております。

そして、研究室生活を忘れる事の出来ない充実したものにして頂いた栗村森平氏、岩塚武氏、位田陸氏、井田海氏、上野憲太郎氏、近藤魁氏、澤村健斗氏には心より感謝の意を表します。

最後に、大学院在籍中、惜しめない援助を送ってくださった家族のお陰で充実した素晴らしい勉強・研究生生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。