

無線通信による熱中症予防支援システムの構築と被服環境デザインの最適化

研究課題番号 23240099

平成 23 年度～平成 26 年度 科学研究費補助金（基盤研究（A））

研究成果報告書

平成 27 年 3 月

研究代表者 薩本弥生

（横浜国立大学 教育人間科学部）

目次

1. はじめに

1-1 研究の概要

1-2 研究の背景

1-3 研究の目的

1-4 研究成果

2. 被服環境デザインの最適化

2-1 着衣の換気および熱水分移動性能への風，動作および着衣のデザインによる影響-全身

2-1-1 被験者実験による評価

2-1-1-1 暑熱環境下で熱中症予防に適した剣道用稽古着の検討

2-1-1-2 暑熱環境下の野球練習中の熱中症予防に適したアンダーウェアの検討

2-1-1-3 暑熱環境下の野球用アンダーウェアのデザインの工夫による熱中症予防効果の検証

2-1-1-4 人工気候室での陸上競技用Tシャツのデザインの工夫による換気増進効果の検討

2-1-1-5 アウトドア用パーカ前部に設置した換気口が温熱的快適性に及ぼす効果

2-1-2 歩行マネキンによる評価

2-1-2-1 歩行マネキンによる着衣の熱移動および換気への素材物性やデザインの効果の評価

2-2 着衣の換気および熱水分移動性能への風，動作および着衣のデザインによる影響-足部

2-2-1 空気圧を用いた靴の換気計測用模擬歩行装置の開発

2-2-2 足部および着靴時足部の温熱評価，および改善策の検討

3. 熱中症予防の警報メールシステムの構築

3-1 ウェアラブル無線 BAN システムの構築

3-2 BAN ウェアラブルシステムを用いての着装時の計測・分析・評価

3-2-1 某クールビズ実施オフィスの温熱環境と皮膚温への影響に関する実態測定

3-2-2 暑熱環境の陸上競技場でのTシャツのデザインの工夫による換気増進効果の検討

3-3 WBGT を用いた熱中症予防支援システムの構築と検証

3-4WBGT による熱中症予防指針の有効性および限界に関する検討

3-5 SET*を用いた熱中症予防警報メールシステムの構築と評価の検証

4.総括

公開研究業績一覧

1-1 研究の概要

本研究は、研究課題「無線通信による熱中症予防支援システムの構築と被服環境デザインの最適化」として、平成23年度から平成27年10月までの4年間にわたって文部科学省研究費補助金 基盤研究(A)の交付を受けて行ったものである。研究課題名、研究経費、研究組織、役割分担、研究成果は以下の通りである。

(ア) 研究課題名

無線通信による熱中症予防支援システムの構築と被服環境デザインの最適化

(イ) 研究経費

平成23(2011)年度： 13,000千円（直接経費：10,000千円 間接経費：3,000千円）
 平成24(2012)年度： 5,850千円（直接経費：4,500千円 間接経費：1,350千円）
 平成25(2013)年度： 11,050千円（直接経費：8,500千円 間接経費：2,550千円）
 平成26(2014)年度： 4,420千円（直接経費：3,400千円 間接経費：1,020千円）

(ウ) 研究組織と役割分担

研究代表者 薩本弥生（横浜国立大学 教育人間科学部）
 研究分担者 杉本千佳（横浜国立大学 未来情報通信医療社会基盤センター）
 研究分担者 田中英登（横浜国立大学 教育人間科学部）
 研究分担者 河野隆二（横浜国立大学 工学研究院）
 研究分担者 竹内正顯（桐蔭横浜大学 健康スポーツ政策学部）
 研究分担者 香川利春（東京工業大学 精密工学研究所）
 研究分担者 島崎康弘（岡山県立大学 情報工学部）
 研究分担者 榎本ヒカル（東京福祉大学 教育学部）
 研究分担者 一木正聡（産業技術総合研究所）
 研究分担者 鈴木章夫（産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター）
 研究分担者 上野哲（労働安全衛生総合研究所 人間工学・リスク管理）
 研究分担者 佐古井智紀（信州大学）

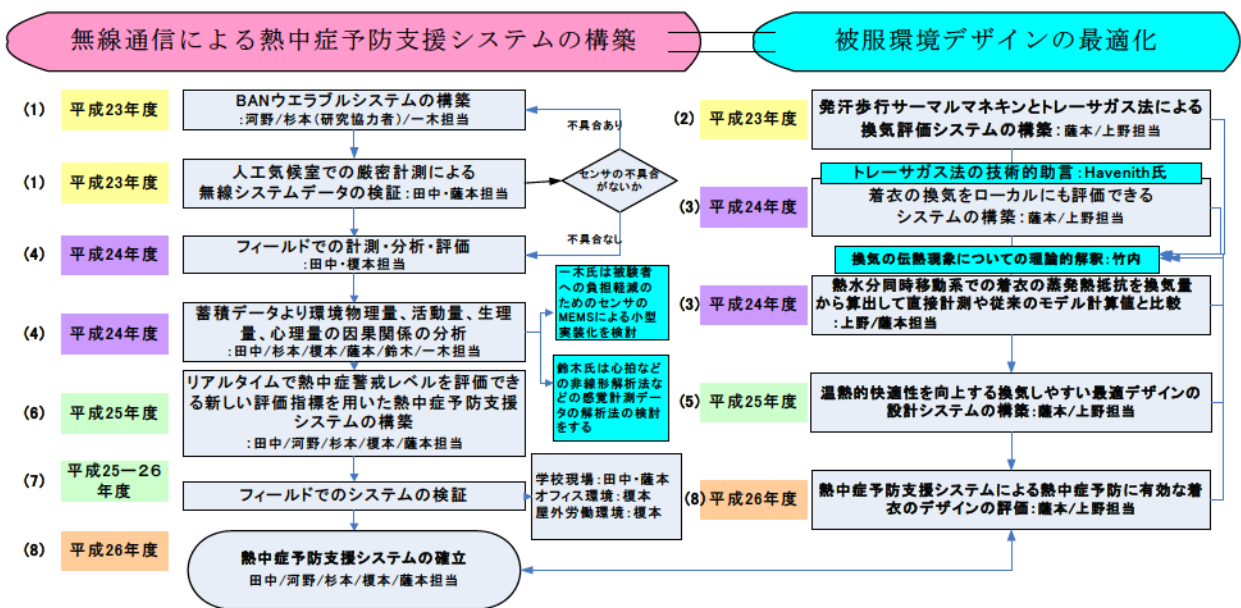


図1 研究の構想と役割分担

1-2. 研究の背景

20 世紀後半の経済的な発展により、我が国の生活環境の基盤は飛躍的に整備された。一方、急速な少子高齢化社会の到来を迎えたために高齢者、障害者、幼児といった社会的弱者の予防医学的な環境整備に加えて、核家族化に伴い労働人口世代の生活習慣病予防や健康増進も、その重要性を増している。こうした社会状況にあつては、医学的な治療技術の向上に加えて日常生活における健康状態・快適性の向上を図ることは、健康国家の実現と予防医学並びに介護環境の充実に大きく貢献することが可能であり、国民の生活の質（quality of life=QOL）向上において必要不可欠な開発技術である。夏季には、熱中症が毎年多数、報告されている。特に高齢者、幼児、暑熱順化していない人、持久力のない人、肥満傾向の人は、体温調節機構が機能不全になりやすく、死亡事故につながりやすく、危険であり、対策が必要である。

運動時に関して現在の熱中症予防のための運動指針には、人体の熱収支に影響の大きい気温、湿度、輻射熱の 3 つを取り入れた WBGT（湿球黒球温度）が用いられているが、被験者の生理量と組み合わせたの細やかな対策がなされていない現状では、運動指針としては、不十分といえる。そこで、被験者の個別の状況に応じて病的状態にならないうちに運動を中断するために、熱中症への移行状態の早期把握と、その予防システムの構築が必要である。また、暑熱環境での衣服の役割は大きい。身体からの放熱量、外部からの輻射熱、水分蒸発の 3 つの観点から人体周りの熱収支の調節が出来る。同じ衣服でも、着用する環境や人体の状態が異なれば、快にもなるし不快にもなる。安静時の着衣の温熱的快適性の指標としては衣服内気候が影響し、快適なときは一定の温湿度環境に保たれている。しかし、特に暑熱環境下や運動時などでは動的な環境ではその限りではなく、人体の生理と心理および環境に応じた衣服の温熱的快適性を図るためのシステム作りが不可欠である。

このような環境での着衣の温熱的快適性には衣服の熱水分移動性能、特に蒸発放熱が支配的で、暑熱環境での熱中症予防のため、暑熱時に温熱的に快適にするための条件として着衣素材の種類のみでなく着衣のデザインや、人の動作、環境の風速等の寄与は大きい。そこで、着衣の熱水分移動性能の向上のために、暑熱時に温熱的に快適な着衣のデザインを検討する必要がある。

熱抵抗値と対流熱伝達率と蒸発熱伝達率の相似則からトレーサガス法により算出した換気量から蒸発熱伝達率を間接的に算出する方法を Havenith 氏らが提案している。2008 年に半年間、Havenith 氏の元に留学し、この方法を学んだ。この方法は直説法よりも簡便に計測でき、着衣の熱抵抗、蒸発熱抵抗に着衣のデザインや環境の風速や歩行がどう影響するかについても評価が可能である。この方法を応用すれば、着衣内の局所の上記物性の分布も評価できる。

1-3 研究の目的

暑熱環境下でのスポーツ時、オフィス作業時や肉体労働時等の各種作業時の熱中症予防に向けて、実際の生活環境での着衣の温熱環境状態計測を連続して行うため、人体、着衣、環境に関わる温熱環境物理量を計測し無線で集積し、同期して人の温熱的快適性の指標となる温熱感覚計測ができ、被験者に装着負荷が少なく、常時モニタリング可能な無線機能付きのウェアラブルシステムを開発し、ウェアラブルシステムでの計測・解析・評価を行い、各種作業時の常時モニタリングシステムへ応用し、熱中症予防に貢献するシステムを構築することを目的とする。手足の揺動による着衣のふいご作用による換気は、人体からの熱水分移動性を促進させるため環境の風の効果以上に着衣の温熱快適性向上に重要であるが、しかし、現状では、きちんとした定量法が規定されていない状況である。そこで、本研究では、熱中症予防に効果的な着衣の条件を検討するため発汗・歩行動作マネキンとトレーサガス法を用いて温熱的に快適な着衣のデザインを検討する評価法を構築する。さらに換気の生じやすい着衣デザインを考案し、サーマルマネキンを用いて Havenith 氏の提案する間接法で評価を行い、熱中症予防に効果的な着衣デザインをデータエビデンスに基づいて提案したい。

1-4 科研費による研究の研究成果

WBANシステムによる熱中症予防システムの構築

- WBAN（ウェアラブルボディエリアネットワーク）熱中症予防システムの構築（図1）と熱中症予防評価モデルの構築と暑熱環境での着衣の温熱環境・人体生理・心理の評価とモデルの精度検証

被服環境デザインの最適化(全身)

- 歩行サーマルマネキンとトレーサガス法（図2）による評価法（図3）と被験者実験による主観を含めた同評価法（図4）を用いた着衣デザインと風・動作が着衣の換気・熱移動性能におよぼす影響の評価

被服環境デザインの最適化（足部）

- 歩行模擬装置（図5）の開発とトレーサガス法（図2）による歩行時の換気評価システムの構築

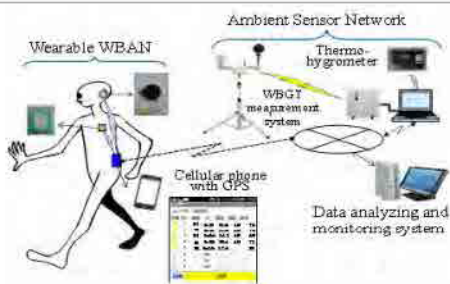


図1 WBAN 熱中症予防システムの構築



図3 歩行サーマルマネキンとトレーサガス法による最適被服環境デザインの評価システムの開発

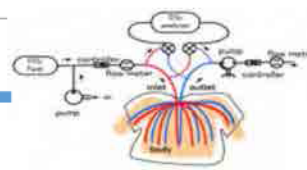


図2 トレーサガス法



図4 被験者実験



図5 模擬歩行装置の開発

(カ) 研究成果のその後の展開など

- 図1のWBANシステム構築により温熱環境・人体生理データ、屋内外のフィールド環境においてリアルタイムに温熱状態評価とデータ蓄積による生体状態の解析評価が可能になる。
- 着衣の素材・デザインに関して様々な熱中症予防の工夫をした着衣の換気、熱水分移動性能、主観への影響を評価し、大きく影響することが明らかにし、データを蓄積した。
- 足部および全身の温熱状態と環境、活動状態の関連性について明らかにした。熱エネルギーの流れに着目し、着靴時の足部温熱環境形成に与える因子について検討した。着靴に起因する足部温熱環境の評価法が確立し、改善策等の検討に活用できる知見を得た。



図6 SET*予測モデルの概要

- 熱中症予防評価モデルの等価 SET*を用い図6に示す6項目を入力値として深部温、皮膚温の予測値を算出し実測値と比較したところ、皮膚温は良く一致した。着衣の熱抵抗の運動時の低減率に若干実測と乖離があった。今後、さらに多くのデザインの着衣量での熱抵抗の低減率に寄与するかデータを蓄積し、モデルに入れ込むことでより予測の精度が向上すると考える。着衣のデザインによる低減効果を組込んだ熱中症予防システムのさらなる改良を進めたい。

(キ) 今後期待される波及効果、社会への還元など

図7に示す熱中症予防システムが完成すれば、学校現場や職場での健康管理のあり方に革新をもたらすものであり、ライフ・イノベーションとなる。その提案と普及を通じて新規産業創出にも貢献すると考えられる。



図7 熱中症予防システムの完成イメージと応用・使用対象

2-1-1-1 暑熱環境下で熱中症予防に適した剣道用稽古着の検討

薩本 弥生* 川村 友希** 杉本 千佳*
*横浜国立大学 **元横浜国立大学学生

Yayoi Satsumoto*, Yuki Kawamura** and Chika Sugimoto*
*,**Yokohama National University, Yokohama, Japan

要 旨

本研究では、通常着用されている剣道着(COT)と夏用剣道着(PET)の二種類を比較対象とし、ウェアの素材条件の違いによる温熱負荷の違いが人体生理に与える影響を検討した。熱中症予防のためのコア温、皮膚温等を計測できる無線センサを開発し、その有効性についても検討した。剣道着 PET は COT より暑熱環境下での剣道の稽古において熱中症予防ウェアとして適していることが明らかとなった。耳孔内温は直腸温よりも運動負荷を反映して応性が高くより上昇するため、温熱指標としてより有効である可能性が示唆された。しかし、開発された無線センサの耳孔内温センサは、外耳への装着の仕方により絶対値の差が大きいことが課題であり、測定中のデータの欠損やセンサの脱落がない耐久性・耐水性等のある温熱指標のモニタリング可能な無線センサシステムの開発が求められる。

1. 緒言

近年、夏季を中心に、熱中症による死亡が毎年多数報告され、地球温暖化やヒートアイランド現象の影響もあり、増加傾向にある¹⁻⁴⁾。熱中症と年齢や性別の傾向に関して 10 代男性にスポーツに起因するのが圧倒的。工作中的発症は若-壮年に多く、高齢になるほど日常生活での発症が増加する⁵⁾。特に高齢者、幼児、暑熱順化していない人、持久力のない人、肥満傾向の人は、体温調節機構が機能不全になりやすく、死亡事故につながりやすく、危険であり、対策が必要である。

2011 年には東日本大震災の影響による節電対策により、猛暑の 2010 年に次ぐ熱中症発生件数であった。中でもスポーツ活動中の熱中症発生は多発しており、地球温暖化防止や節電に対する対策と同時に国民の QOL を維持できる持続可能な社会の実現のために夏季の熱中症対策は重要性を増している。

現在の熱中症予防のための運動指針には、人体の熱収支に影響の大きい気温、湿度、輻射熱の 3 つを取り入れた WBGT (湿球黒球温度) が用いられている⁴⁾⁻⁵⁾が被験者の生理量と組み合わせての細やかな対策がなされていない現状では、運動指針としては、不十分である。被験者の個別の状況に応じて病的状態にならないうちに運動を中断するために、熱中症への移行状態の早期把握と、その予防システムの構築が必要である。

熱中症予防のためには一般に環境条件と活動方法、水分補給方法、着衣量、個体の暑熱耐性能水準も関係することが知られている⁶⁾。

運動時の体温調節反応に関するスポーツ現場の実態調査⁷⁾⁻¹¹⁾では、着衣条件を考慮したものは少ない。また、衣服と体温調節に関しては、快適で熱均衡を

保つための衣服の研究¹²⁾や、衣服の素材に関する実験的研究¹³⁾はみられるが、スポーツ現場における体温調節反応と着衣との関係を明らかにした研究は少ない。

Fox and Mathews¹⁴⁾は、①水分・塩分の補給、②暑熱順化、③運動・着衣・環境因子の組み合わせによる限界を考慮することで、運動時暑熱障害の発生が大きく減少するとしている。日本体育協会では、①から③の対策を基本としてスポーツ活動時の熱中症予防のための運動方針を提案している¹⁵⁾。しかし、上記③で示された「運動・着衣・環境因子の組み合わせによる限界」は、スポーツ現場においては極めて複雑であり、現状ではこの組み合わせを考慮した具体的な暑熱障害予防対策は不十分で、具体的な提案が望まれる¹⁶⁾。

多くのスポーツ種目の中でも、安全のために長袖・長ズボン・ヘルメット等のユニフォームを着用する野球・アメリカンフットボール・フェイシング・剣道等では、夏季活動時における暑熱障害が多く報告されている¹⁷⁾⁻²⁰⁾。これらは全身を覆うユニフォームにより運動時の熱放散が阻害されるため脱水や高体温を導くことが一要因と考えられる。これらの着衣に関しては、その素材や重量に加え、マスクやヘルメット等で後頭部を覆う形態についても検討すべき重要な要素と思われる。

中井ら²¹⁻²²⁾は、野球等全身を覆って行うスポーツの夏期練習を実施する場合には皮膚温を一定温度に低下させる対策や、予防指針の WBGT 設定温度を 1~2 割程度 (1 ランク) 厳しくすること等、環境温度への厳しい注意が必要であると述べている。夏期の暑熱下において安全かつ効果的な練習や試合を実施するために、運動・着衣・環境の 3 条件を考慮した

暑熱障害対策を提唱することは重要である。そのためには、まずスポーツ現場における着衣および環境温度条件と、体温上昇や発汗量等の体温調節反応についての実態を把握する必要がある。しかし実際のスポーツ現場では運動強度や飲水条件、環境温度等が容易に変動するため、各条件を一定した実験的研究を実施し検討する必要がある。

熱中症での死亡例は、屋外練習を行うスポーツでの発生が多数報告されているが、屋内競技で最も発生件数の多いスポーツは剣道である。剣道は熱中症を引き起こしやすい競技特性があり、1975～1997年の間に5例の死亡事故が報告されている²³⁾。近年では、死亡までいかなくても医療機関を受診している例は年間数百件に及んでいる。熱中症対策は指導者の義務の一つであることは明らかである。2002年8月に生じた熱中症の事故では、『剣道の部活動中に熱中症で倒れて死亡した際に、適切な救護措置を取らなかった』として、指導者の教諭が責任を問われ行政処分を受けた²³⁾。厳しい稽古は、剣道の競技特性の一つとして数えられるが、稽古内容に適ったリスクマネジメントが必要であることは明白である。室内競技で最も熱中症の事故が多い剣道において、その情報が隅々まで伝達され、実行されているとは言えない現状である。剣道の熱中症が起りやすい競技特性として、①精神の鍛錬を目的とした暑熱環境下での稽古（水分補給をさせない等）、②体温が逃げにくく水分がとりにくい稽古着・防具、③水分摂取をしにくい稽古の形態などが挙げられる²³⁾。

熱中症予防のためには、稽古中積極的に水分をとることが有効であるが、先に述べたように剣道の稽古形態で水分補給をすることは容易ではない。稽古中に面をつけたままストローで水分補給をする方法が推奨されているものの、古くからの稽古の在り方があるため普及していないのが現状である。また、近年では夏期の稽古での暑さ軽減のため夏用剣道着が開発され使用され始めている。夏用剣道着はポリエステルを使用したものがあり、従来の綿剣道着より薄手で軽く、速乾性や通気性に優れている。だが、伝統面や安全面を指摘する声も多く、大会では綿の伝統的な剣道着を着用することが主流で、夏用剣道着を着て大会に出場することはタブーである。今村らの、綿剣道着を着用して行われた研究では²⁴⁾、剣道着に蓄積された汗が熱ストレスを引き起こすことが明らかにされ、夏期の剣道の稽古では剣道着に速乾性が求められると指摘されている。したがって夏期の普段の稽古で夏用剣道着を着用することは、熱中症対策の一つとして有効であると考えられる。

そこで本研究では、屋内スポーツの中で最も熱中症の発生率が高い剣道を実験対象として取り上げ、夏期のスポーツ活動時における体温調節反応の実態を調査し剣道着の種類が熱ストレスに及ぼす影響について検討するために、通常着用されている伝統的な剣道着と夏用剣道着の2種類を比較対象とし、フィールド実験に加え現場での練習と類似した環境温にて、トレッドミルによる負荷運動を実施した場合の体温調節反応についての実験から、夏期スポーツ活動時の着衣に関する温熱ストレス軽減対策を探ることとした。その結果から、暑熱環境下の剣道の稽古における熱中症予防に適したウェアの検討をすることを目的とする。また、剣道着の熱負荷がある環境での夏季の練習の時の熱中症予防のための指標としてコア温、皮膚温等を計測できる無線センサを開発したので、その有効性についても検討する。

2. 研究方法

2-1 フィールド実験

2-1-1 剣道の普段の練習内容

調査対象とした横浜国立大学剣道部の普段の練習状況について調査した。以下にその内容を記す。

剣道部員は、大学敷地内体育館2階の剣道場で稽古を行っていた。稽古時間は約120分であり、稽古中は面をつけたままストローのついたボトルで、小休止には各自で水分補給をしていた。剣道の稽古は、剣道着・袴を着用し、胴・垂・小手・面を装着して行う。稽古開始の10分間で体操・素振りをするが、このとき面・小手は装着しない。面・小手をつけての稽古は、前半と後半に分かれていた。前半は3人組を組んで、一人2回ずつ切り返しを行う。切り返しとは、竹刀を左右に振る動きのことで、前進しながら4回、後退しながら5回竹刀を振る。切り返しは剣道に必要な基本動作を含み、稽古の始めと終わりには必ず実施される。その後、a・b・b・c・c・aというローテーションで交互に3本ずつ基本的な技を打つ練習を行う。技練習は、竹刀の攻防、自分から技を仕掛ける仕掛け技、竹刀と竹刀の鏝を競り合わせ互いが密接した状態から打突をして後退する引き技、相手が仕掛けてくるところに応じて打突する応じ技の3つに分かれており、各10分程度行う。その後、同じローテーションで全身を使って技を打ち込む打ち込み稽古を行い、10分間の小休止に入る。稽古後半は、地稽古が主である。地稽古では2人組を組んで、試合さながらの剣の攻防を行う。地稽古1回の時間は4分で、一試合の時間と同じに設定することでより実践を意識できる。4分間の地稽古を8本行

うが、一回に全員が稽古する場所が確保できないため、一人6本位が平均本数である。このように稽古の前半・後半共に待ち時間があるため、その間に水分補給が可能となる。地稽古の後は、3人組を作り、かかり稽古を5分間行う。かかり稽古は、受け手(元立ち)が指示した部位を、かかり手が素早い剣さばきと体さばきで打ち込み続けるものである。1本は15秒程度で、ローテーションで5分間回り続ける。そして最後に切り返しを行い稽古は終了する。いずれの調査日も類似した稽古内容が実施されていた。

2-1-2 実験用剣道着の諸元

実験では、通常着用されている剣道着(綿100%:以下COT)と夏用剣道着(ポリエステル95%,綿5%:以下PET)の2種類を比較対象とし、暑熱環境下でのウェア素材条件の違いによる温熱負荷の違いが人体生理に与える影響の検討を行った。各被験者はCOTとPETの2種類の剣道着を着用し、1日1条件で計2日間実験を行った。その際、同時刻に実験を開始した。袴と防具は各段の稽古で使用しているものを着装し、COT・PETどちらの調査日も同じ袴と防具を使用した。実験の着衣を着装した様子および稽古の様子をFig.1に示す。



Fig.1 剣道着着装および稽古の様子

実験試料の諸元をTable 1に示す。測定はカトーテック社製のKESシステム装置を用いた。透湿抵抗の測定は26°C65%RHの環境でカップ法(JIS L1099)²⁵⁾により測定した。

2-1-3 被験者

横浜国立大学体育会剣道部員6名を対象として、2011年8月下旬~9月上旬に実施した。この調査と実験における被験者の身体的特は年齢 20.7±1.2,身長 173.2±4.8,体重 66.5±4.6であった。調査にあたり被験者には主旨を十分に説明し、承諾を得た。

2-1-4 実験方法

剣道の稽古は想像以上に激しい動きが求められるも

Table1 実験着衣素材の諸元

物性変数 (単位)	COT (経)	PET (経)	COT (緯)	PET (緯)
引張伸度 EM [%]	6.90	3.88	4.38	9.91
引張特性の直線性 LT [-]	0.32	0.30	0.30	0.29
引張仕事量 WT [g・cm/cm ²]	5.50	2.75	3.5	7.05
引張レジリエンス RT [%]	36.8	49.13	34.20	46.10
曲げ剛性 B [g・cm ² /cm]	0.22	0.13	0.12	0.03
曲げヒステリシス 2HB [g・cm/cm]	0.26	0.092	0.12	0.023
せん断剛性 G [g/cm・deg]	0.23	0.20	0.17	0.16
せん断ヒステリシス 2HG [g/cm]	0.58	0.38	0.48	0.34
表面摩擦係数 MIU [-]	0.089	0.072	0.086	0.053
摩擦係数の変動 MMD [-]	0.006	0.017	0.010	0.013
表面荒さの変動 SMD [μm]	4.86	4.14	2.77	3.86
圧縮特性の直線性 LC[-]	0.16	0.31		
圧縮仕事量 WC[g・cm/cm ²]	0.36	0.25		
圧縮レジリエンス RC [%]	35.22	47.81		
厚さ d [mm]	1.31	0.85		
熱伝導率 λ[W/m/K] (×10 ⁻³)	5.56	4.62		
熱抵抗 dλ [K・m ² /W]	2.35	1.83		
通気抵抗 Ra [kPa・s/m]	0.56	0.08		
透湿抵抗 Rw [s/m]	820	691		

のであり、センサをつけての通常の稽古は安全性やデータの保障が得られないと判断された。そのため今回の調査では、通常稽古に類似した短縮メニューを作成し、センサを装着しての実験を行った。二人一組で稽古を行うため、測定は2人同時にした。

被験者は、実験開始約30分前に剣道場に集合、測定器具を装着した後、剣道着・袴を着衣し銅と垂を装着し実験を開始した。5分間の安静をとった後、体操と素振りを10分間各自で行った。その後、面と小手を装着し、切り返しを互いにやった後に自由稽古を行った。自由稽古は、自分が打ちたい技を相手に申し出て、打突をする稽古である。3本交替で約15分間繰り返し行った。最後に切り返しをして稽古は終了し、面と小手を外して運動後の安静を15分間とり、運動後の回復期の生理データの計測を行った。以上の内容で、COT・PETの2着の比較実験を行った。実験タイムテーブルをTable2に示す。

Table2 フィールド実験タイムテーブル
主観申告

	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
30	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	安静		体操素振り		自由稽古		運動後安静			

2-1-5 測定項目

剣道場内の環境温を WBGT 測定器 (鶴賀電気(株)製, 型式: 401B-01-3-E1-X-54) を用いて測定した。皮膚温および衣服内温湿度は, 有線温湿度センサ付きログ (株) グラム社製, 型式: LT-8A) を用い, 練習開始前から練習終了まで連続的に計測した。皮膚温は, ラマナサンの 4 点法で胸・上腕・大腿・下腿の 4 点で計測し, 平均皮膚温を算出した。衣服内温湿度は, 胸と背中 of 2 点で計測した。平均皮膚温は $T_s = 0.3 \times (T_b + T_u) + 0.2 \times (T_t + T_c) \dots (1)$ ここで T_s : 平均皮膚温 (°C), T_b : 胸皮膚温 (°C), T_u : 上腕皮膚温 (°C), T_t : 大腿皮膚温 (°C), T_c : 下腿皮膚温 (°C)

活動量は日常行動計測計 Wel-support (NIPRO(株)製) を用い, 運動中の活動量を計測した。計測は, 剣道着の上から腰に巻きつけたウエストポーチの中に入れ, ポーチは体の動きと同期するように密着させた。実験開始から終了まで, 衣服内環境の主観申告を 5 分間隔で行った。主観申告の項目を Table3 に示す。

Table3 主観申告

べとつき感	温冷感	湿潤感	快適感	蒸れ感	
非常にべとつく	5	とても暑い	3	とても蒸れている	5
べとつく	4	暑い	2	蒸れている	4
ややべとつく	3	やや暑い	1	やや蒸れている	3
べとつかない	2	どちらでもない	0	蒸れていない	2
全くべとつかない	1	やや寒い	-	全く蒸れていない	1
		寒い	-		
			不快		
			非常に不快		

2-1-5 データ解析方法

本研究のデータ処理は, 被験者実験から得られたデータを平均値化したものを基にした。平均した値は, 標準偏差を算出した。統計処理ソフト SPSS Ver.15 を利用し, 平均値の差の t 検定を行った (有意水準は $p < 0.05$ を有意とした)。

2-2 人工気候室でのトレッドミル歩行・走行実験

2-2-1 被験者と実験期間

フィールド実験と同じ被験者 6 名を対象とした。被験者には実験の主旨を十分に説明し, 承諾を得た上で参加させた。実験期間は 2011 年 12 月中旬であった。

2-2-2 実験方法

着衣条件は, フィールド実験と同じく COT と PET の 2 種類の剣道着を着用し, 1 日 1 条件で計 2 日間行った。袴はフィールド実験と同じものを使用してもらった。今回の実験では, 防具 (面・小手・銅・垂) は装着していない。実験は横浜国立大学 VBL 棟の人工気候室にて行った。人工気候室は, 室温 30°C, 湿度 65%RH に設定した。また, 実験期間は冬期であったため, 体を冷やさないように, センサの装着は温度 25°C 湿度 50% に設定した人工気候室前室で行った。測定項目はフィールド実験と同じで耳孔内温, 皮膚温 4 点 (胸・上腕・大腿・下腿), 衣服内温湿度 2 点 (胸・背中), 心電を, ウェアラブル無線センサ (MICT 重点研究で杉本開発²⁶⁾) を使って 1 秒毎 (心電のみ 204Hz) に計測した。無線センサは, 温熱的快適性評価のための温熱生理計測の評価項目を厳選し, 被験者への負担が最小となるように, また, リアルタイムにデータを観測できるようにセンサを小型無線化し, データを PC 等のホスト情報端末でモニタ・蓄積する無線システムである。なお, 現在の試作システムの無線通信手法は 2.4GHz, IEEE802.15.4 準拠である。

データの出力の確認のため, フィールド実験と同じグラム社の有線センサでも皮膚温, 温湿度の計測を行った。データの解析には無線センサの値を用いた。4 点の皮膚温から面積重みづけした平均皮膚温をフィールド実験と同じ (1) 式で算出した。Fig.2-a~e に各セン



a) 衣服内温湿度センサ (背中)



b) 皮膚温センサ (上腕)



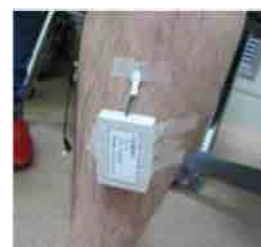
c) 耳孔温センサ (耳)



d) 心拍計他装着状況 (胸)



e) 皮膚温センサ (大腿)



f) 皮膚温センサ (下腿)

Fig.2 無線型の各センサの装着状況

サの装着状況を示す。

直腸温は、Gram 社製 LT8A ログを用いて専用の直腸温用プローブを用いて有線センサで1秒毎に計測した。局所発汗量(ろ紙法)は4×3cm 四方のろ紙を OHP シートで被せたものを胸と背中中の2点に両面テープで貼付し、運動終了直後にはがし、実験前と運動終了後の重量の差を局所発汗量として算出した。

実験開始から終了まで、衣服内環境の主観申告を5分間隔で行った。申告項目はフィールド実験と同様である。

2-2-3 実験手順

被験者は、実験開始約30分前に実験室へ入室した。体重体組成計((株)丸隆製、形式:IMA-001)を用いて、個室にて上半身裸体、下半身下着一枚で体重を測定した後、直腸温プローブを挿入し、人工気候室前室に移動し測定器具を装着した。剣道着・袴を着用し、人工気候室へ入室した。コップ1杯(0.20l)のスポーツドリンクを補給した後、実験を開始した。5分間の安静をとった後、トレッドミルによる歩行(4km/時)を5分、速足歩行(6km/時)を5分、走行(7km/時)を10分行った。運動終了後、背中と胸に張り付けたろ紙をはがし重量を測定し、20分間の安静をとった。実験終了後、剣道着・袴を脱衣し測定器具を外して、体重を測定した。脱衣した剣道着は重量の測定を行った。以上の内容でCOT・PET2着の比較実験を行った。実験のタイムテーブルをTable4に示す。

Table4.人工気候室実験タイムテーブル
主観申告

○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
-30	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	安静	歩行	速足	走行	運動後安静					

2-2-4 解析方法

着衣汗蓄積量は、実験前と実験後の剣道着の重量の差より算出した。実験前後の体重および水分摂取量、着衣蓄積量より運動時の総発汗量 W_b を式(2)より算出した。

$$W_b = (\Delta W + W_w + \Delta W_c) / t \dots \dots (2)$$

W_b 総発汗量; {実験前体重-実験後体重}

W_w : 補給した水分, ΔW_c : 着衣汗蓄積量: 剣道着の実験前後の重量差(単位: kg), t : 実験時間(min)

データ処理の統計手法はフィールド実験と同様である。

2-3 トレーサーガス法による換気量計測実験

2-3-1 実験方法

人工気候室実験と同じ人工気候室内で被験者6名を対象とし2011年の12月上旬に温度20°C、湿度65%RHに設定して実験を実施した。着衣として一連の被験者実験で用いた2種類の剣道着を用い、袴は他の実験と同じものを使用させた。この実験では防具(面・小手・銅・垂)は装着していない。

2-3-2 測定項目・方法

トレーサーガス法を用いて換気速度の測定を行った。上半身にガスを通すチューブ(正面両腕・両胸、背面両腕・両胸にInlet・Outlet各々チューブを8本ずつ)を装着した後、トレーサーガスとして炭酸ガスを流し、(流量は一定になるように制御されている)

Inlet/Outlet/環境を順に測定、換気速度を算出する。換気速度(Ventilation rate: VENTと略す)は式(3)に示される

$$VENT = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{out} - C_e} V_{in} \dots \dots (3)$$

ここで、 C_{in} : inletの炭酸ガス濃度, C_{out} : outletの炭酸ガス濃度, C_e : 環境の炭酸ガス濃度(単位: ppm), V_{in} : 循環する混合空気の流量(l/min.)

2-3-2 実験手順と内容

被験者は実験開始約30分前に実験室に入室、人工気候室に入室した。上半身裸体にチューブを装着した後、剣道着COTと袴を着用し実験を開始した。実験は、トレッドミルによる歩行を10分間行いInlet/Outletの測定をし、歩行終了後、座位にて安静を10分間とり、Backgroundの測定をした。その後、大型換気扇風機(プロモート株式会社、型式:SDV-200)を使用して、実験によって高くなった人工気候室内の二酸化炭素濃度を下げた。炭酸ガス濃度が回復した後、被験者は剣道着PETに着替え、同様の実験を行った。実験のタイムテーブルをTable5に示す。

Table5 トレーサーガス法実験のタイムテーブル

-30	0	10	20	25	35	45	50	
	COT 歩行	COT 安静		PET 歩行	PET 安静	環境		

3. 結果

3-1 フィールド実験結果

3-1-1 平均皮膚温の結果

平均皮膚温を安静時(R1)・Warm up時(W)、練習時(T)、回復時(R2)の4段階に分類し2素材間の平均値の差のt検定を行った。その結果をTable.6に示す。その結果、R1とR2ではPETに比してCOTが有意に高値(p<0.05)を示した。WとTでは有意差は見られなかった。

次に、Fig.3にフィールド実験での平均皮膚温の変化を示した。COT、PET共に実験開始の皮膚温はほぼ同じであった。13~20分の間はPETがやや高い値を示しているが、それ以外はCOTが高い値を示した。安静時に上昇した皮膚温は、warm upを開始すると下降した。運動中は下降上昇を繰り返し、回復時には運動終了後から約1°C上昇した。その後緩やかに下降していった。

Table6 平均皮膚温の平均値の差の t 検定結果

素材	R1	W	P	R2
	34.59±0.	34.45±0.	34.26±0.	35.00±0.
COT	36	49	67	62
有意差	*	NS	NS	*
	34.49±0.	34.44±0.	34.25±0.	34.91±0.
PET	77	77	73	76

平均値±標準偏差, * : p<0.05 で有意, NS : 有意差なし

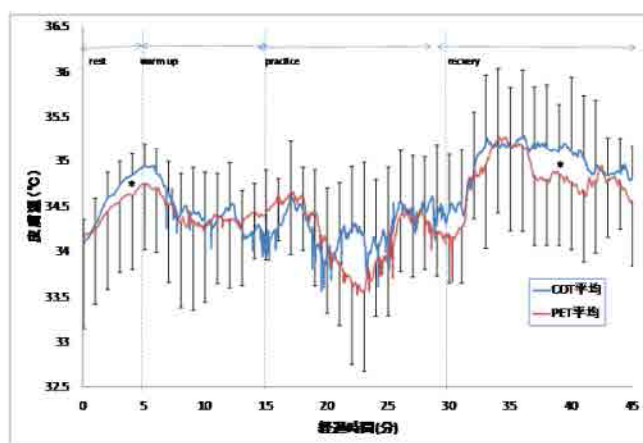


Fig.3 平均皮膚温 (* : p<0.05)

3-1-2 衣服内温湿度の結果

衣服内温湿度は、測定器具の不具合とデータの欠損が多かったため、計測できたデータのみをまとめた。胸の衣服内湿度を Fig.4 に示す。衣服内湿度は、COT の胸の湿度が実験開始から 90% あり高い値を記録し、運動終了までゆるやかに上昇した。PET は、実験開始時は 55% であったが、5 分地点では 85% まで上昇、運動中も緩やかに上昇した。実験開始から運動終了まで、PET より COT が高値を示したが、回復時には COT・PET ほぼ同時に 100% に達した。

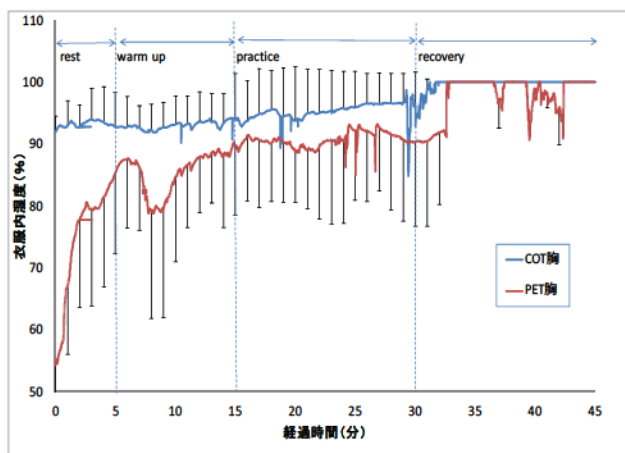


Fig.4 衣服内湿度 (胸) (* : p<0.05)

3-1-3 活動量の結果

日常行動計測計で計測した運動強度 (METs) を活動

量とした。被験者Aの運動強度をFig.5に示す。実験開始から20~25分の運動中盤に運動強度が一番高い値を記録した。運動強度には個人差が現れ、最高値は被験者Aの9METs, 最低値は被験者Cの4.3METsであった。平均して4METs程度の運動であった。実験の稽古内容を自由練習としたため、練習する技がみな同じではなかった。これは運動強度に個人差がでた理由として挙がる。また、同じ技でも個人によって動きの速さが異なることがあるため、これも理由として考えられる。

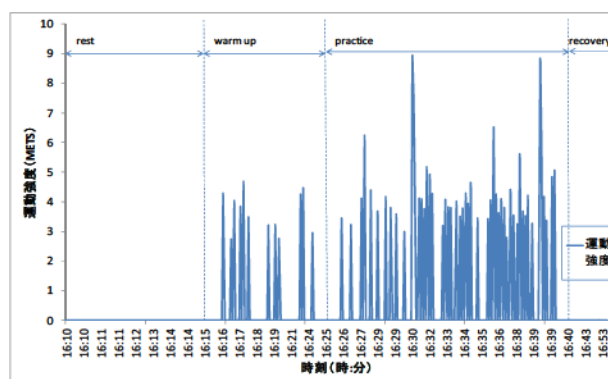


Fig.5 剣道稽古時の活動量 (被験者 A の場合)

3-1-4 主観申告の結果

主観申告の1例として快適感の結果を Fig.6 に示す。5 項目のうち、それぞれある地点で逆転・同値になることがあるが、それを除けばすべての項目で PET より COT が負荷が高い傾向を示した。また、運動終了時刻である 30 分地点から実験終了の 45 分にかけて、主観が回復へ向かうことが示された。さらに 5 項目の申告とは別に、実験終了後に COT と PET の着用感について自由に回答を求めた。COT については、暑い、重い、蒸れる、熱がこもる、という不快を連想する回答がみられた。PET については、動きやすい、軽い、涼しい、汗の引きが早い、などの回答があった。また、PET は汗が引くまでは肌へのはりつきを感じ、COT は汗を吸うのではりつき感はないという回答もみられた。

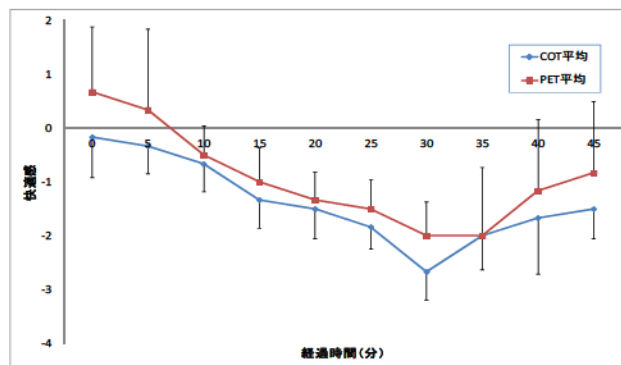


Fig.6 主観申告-快適感

3-2 トレッドミル歩行・走行実験結果

3-2-1 平均皮膚温の結果

平均皮膚温の変化を Fig.7 に示す。実験開始時は COT に比して PET が有意に高値であったが、5 分地点で同値となり、その後は COT が有意に高値を示した。皮膚温の曲線は COT・PET 類似しており、時間経過と共に上昇、運動終了後の 5 分間で急上昇し最高値に達し、その後下降し一定となった。COT は実験開始から運動終了までに約 2.0℃上昇、PET は約 0.5℃上昇した。運動終了後は COT は約 0.5℃、PET は約 1.0℃上昇した。

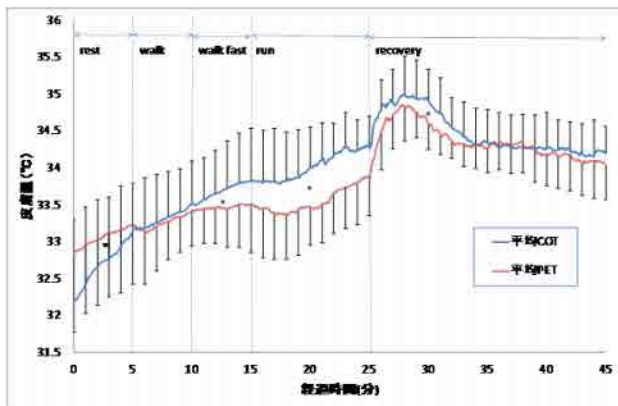


Fig.7 人工気候室実験 平均皮膚温 (* : p<0.05)

3-2-2 衣服内温湿度の結果

胸の衣服内温度を Fig.8, 衣服内湿度を Fig.9 に示す。衣服内温度(胸)は、実験開始から運動終了まで COT に比して PET が有意に高値を示したが、この間の COT の温度の変化は約 4.0℃, PET は約 2.0℃であり、COT の温度変化が大きかった。回復期は、PET に比して COT が有意に高値を示した。背中でも PET に比して COT が有意に高値となった。COT・PET 共に、運動終了後に温度が上昇し、緩やかに下降しほぼ一定となった。

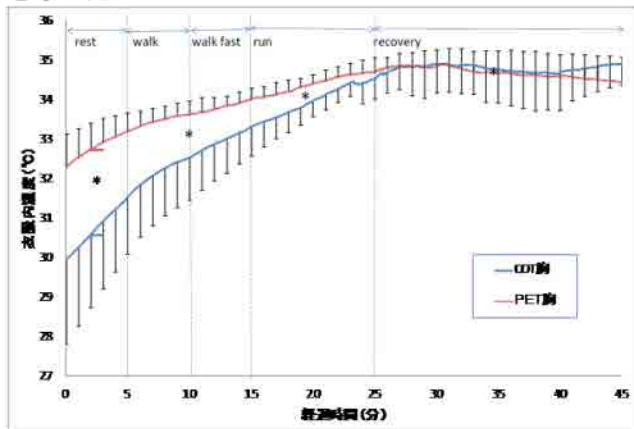


Fig.8 衣服内温度(胸) (* : p<0.05)

衣服内湿度(胸)は COT が有意に高値を示した。

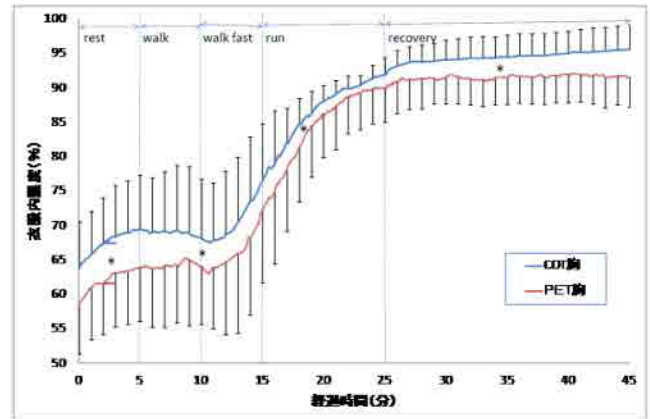


Fig.9 衣服内湿度(胸) (* : p<0.05)

湿度は、速足歩行時から走行終了時まで大きく上昇し、COT は約 92%、PET は約 90% を記録した。運動後回復時は、COT は緩やかに上昇、PET はほぼ一定となった。背中でも胸と同様に速足歩行から走行終了時まで大きく上昇し、運動後の回復時に COT で約 95%、PET で約 96% でほぼ一定となった。安静時と運動後の回復時は COT が有意に高値となった。走行時の値はほぼ同値であり有意差はみられなかった。

吸湿性の高い素材は過渡的に衣服内湿度を低下できる²⁷⁾が、発汗量の多い今回の暑熱環境下での運動中には、その傾向はみられず、運動するとともに湿度は上昇し続け 100% に達した。これは発汗が続くと吸湿できる容量をすぐに超えてしまう¹⁶⁾素材の性質が原因ではないかと推測される。

3-2-3 耳孔内温の結果

耳孔内温の結果を Fig.10 に示す。COT・PET 共に実験開始から運動終了まで上昇し、回復期はほぼ一定となった。上昇中は COT より PET が有意に高値だったが、耳孔内温の変化は PET よりも COT が大きかった。運動後安静時は PET より COT が有意に高値となった。

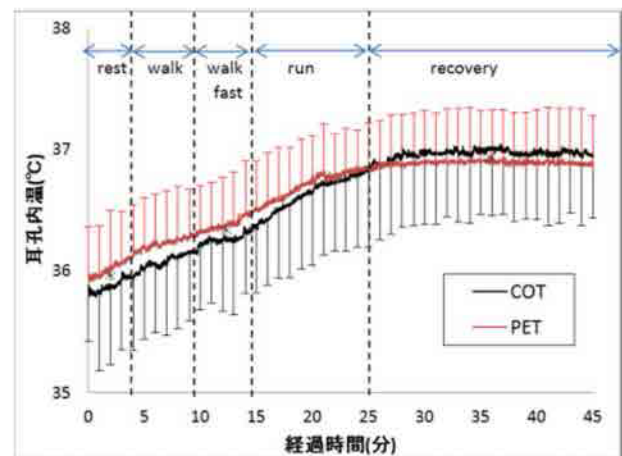


Fig.10 人工気候室実験 耳孔内温 (* : p<0.05)

3-2-4 直腸温の結果

直腸温は、COT・PET 共に走行中に上昇し、回復期はほぼ一定となった。特に運動後に素材の差が拡大し、PET に比して COT の負荷が高い値を示し、人体生理に与える温熱負荷が大きいことが明らかとなった。

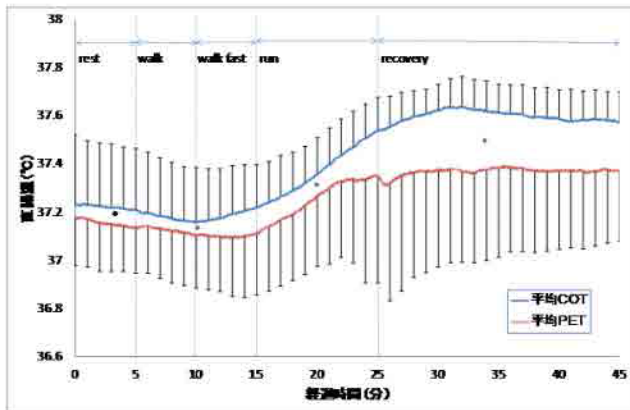


Fig.11 人工気候室実験 直腸温 (* : p<0.05)

3-2-5 発汗量の結果

総発汗量は PET に比して COT が高値であり、温熱ストレスが大きいことが明らかになった。局所発汗量（胸、背中）でも同様の傾向がみられた。

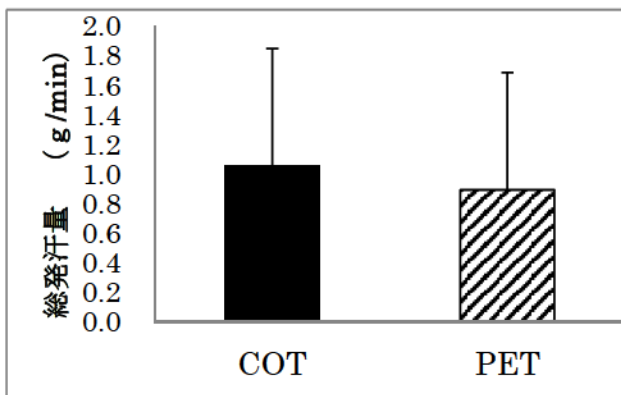


Fig.12 人工気候室実験 総発汗量

3-2-6 心拍変動の結果

心拍変動の R-R 間隔を周波数解析して得られる HF（高周波）成分および LF（低周波）成分は自律神経の指標として用いられる。そこで、実験中の副交感神経活動指標として HF、交感神経活動指標として LF/HF を求めた。Fig.13a)に交感神経活動指標を Fig.13b)に副交感神経活動指標の結果を示す。なお、走行中はデータが乱れて解析できなかったので除外している。

運動後の回復期を 3 分毎に 6 段階に時系列に解析したところ回復期の後半で有意差がみられ、COT に

比べ PET が副交感神経優位となり、負荷が小さい状態となった。

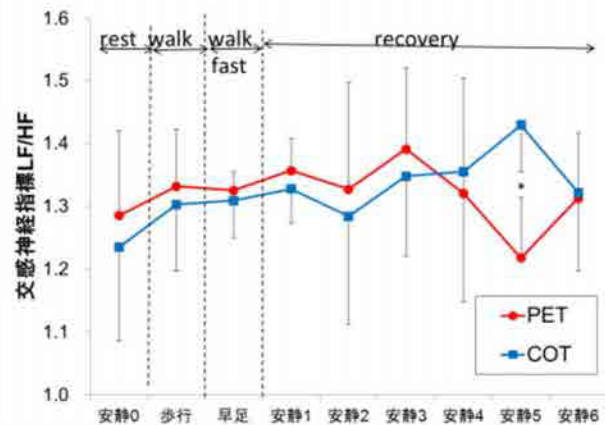


Fig. 13 a)交感神経指標 (LF/HF) (* : p<0.05)

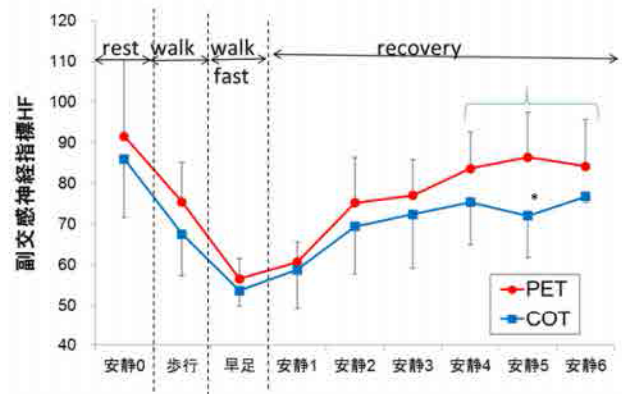


Fig13 b) 副交感神経指標 (HF) (* : p<0.05)

3-2-7 主観申告の結果

主観申告の結果のうち蒸れ感を Fig.14 に示す。実験開始から運動終了時まで大きな差はないが、運動後安静時では PET に比して COT が高い値を示す傾向があらわれた。また、現場実験の主観申告と同様、主観は運動終了後から下降し、回復へ向かった。温冷感と快適感では実験終了の 45 分の時、PET の主観が 0 まで回復した。

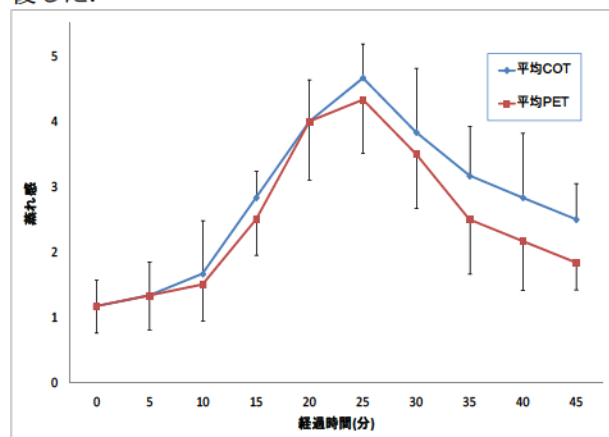


Fig.14 主観申告-蒸れ感

3-3 トレーサーガス法による換気量計測実験

換気量測定の結果を Fig.14 に示す。換気速度

(Ventilation rate) は、COT に比して PET が約 2 倍の高い値を示した。また、安静時における 2 素材の換気量の違いも測定したところ、COT に比して PET が高い値を示した。2 素材の換気量の差は、安静時よりも運動時に約 1.3l/min.大きくなった。

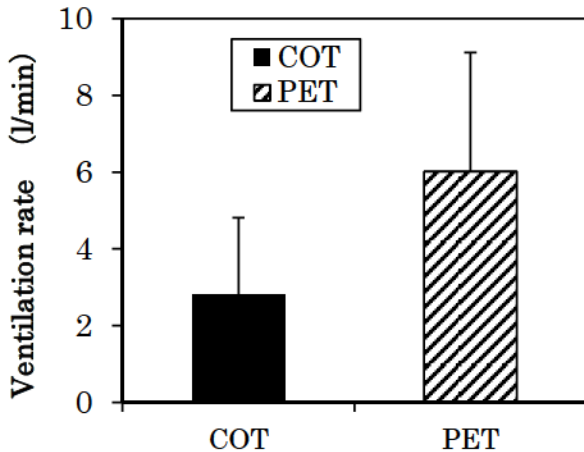


Fig.15 トレーサーガス法 換気速度

4. 考察

4-1 フィールド実験と人工気候室実験の比較

本研究のフィールド実験時期の剣道稽古時の環境温は $30.3 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ で、WBGT 温度 $27.3 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ であった。この WBGT 温度は、剣道のような全身を覆う衣服を着用する場合は、厳重警戒と運動原則中止の間である。このことから、夏期の剣道の稽古は、非常に厳しい暑熱環境であり、熱中症発症の可能性が高い状況で行われていることが明らかとなった。しかし、このような危険性を伴う暑熱環境下でも、剣道の稽古は通常通りに行われるのが現状である。そのため、剣道指導者や剣道競技者は厳重な熱中症予防や対策をとることが熱中症発症を抑えるために重要であると示唆された。

活動量については、同じ稽古内容でも、打つ技の違いや、動作スピードの違いで、個人差が大きくあらわれた。しかし、活動量が多いほど皮膚温や衣服内温湿度が高くなる訳ではなかった。腰に巻きつけた活動量計測であったため、剣道のように腕の動きが激しい運動では、活動量測定値が必ずしも正確とは言えず、腕の皮膚温も計測しているため、活動量と皮膚温の相関が示されないことも考えられる。実験前から暑熱環境にいたことにより、身体に温熱負荷がすでにかかった状態で実験を行ったため、運動による変化を得られなかった可能性があることが原因

として挙げられる。これは、皮膚温と衣服内温湿度でも同じことが言えるであろう。

厳しい暑さと激しい剣道の動作は、データ測定を難航させた。そのため、実験環境としては適していなかったと言えるが、暑熱環境下での剣道の稽古の実態と、温熱負荷が身体に与える影響について捉えることができた。

フィールド実験と人工気候室実験では、測定精度や測定機器の違い、さらには現場での剣道の稽古とトレッドミル運動による運動形態の差異は否定できない。しかし、現場調査と人工気候室実験における平均皮膚温と主観申告はほぼ類似した傾向を示しており、今回実施したトレッドミル歩行・走行実験は、夏期の剣道の稽古の環境条件や生体反応を反映していると考えられる。

4-2 熱中症予防に適した剣道着の検討

暑熱環境下での剣道着 COT と剣道着 PET の比較では、平均皮膚温では運動中からその直後で、耳孔内温では運動後に、衣服内温湿度では衣服内温度では運動後に衣服内湿度では常に、直腸温、総発汗量、心拍変動のいずれの項目でも運動後に PET に比して COT の負荷が高い値を示し、人体生理に与える温熱負荷が大きいことが明らかとなった。トレーサガス法で計測した換気速度も PET の方が早かった。

Table1 に示す諸元を比較すると PET の方が厚みが薄く、通気性も透湿性も高い。力学特性を比較すると COT よりも PET の方が引張りおよびせん断に関して回復性が高く、曲げと圧縮に関して反発性が高い傾向がみられた。潮田によりせん断ヒステリシスが小さい（回復性が高い）ほど着衣での運動時の平均皮膚温が低い傾向が示されている²⁰⁾。上記の力学物性と着衣の換気の関係から、着衣のはためき易さがふいご作用に寄与し換気を促進した可能性が示唆される。

以上、素材の物性や素材の構造の違いが、大きく暑熱環境下における人体に与える温熱負荷に影響を与えることが本研究の結果により明らかになった。

暑熱環境下の剣道の稽古における剣道着の素材として、人体生理に与える温熱負荷が小さい方が熱中症予防に適している。

暑熱環境下では環境と皮膚温との温度差が小さく発汗が重要な放熱の手段となるため、汗の蒸発による湿性放熱を促すような衣服が望まれる。

以上より剣道着 PET は COT より暑熱環境下での剣道の稽古において熱中症予防ウエアとして適していることが明らかとなった。しかし、夏用剣道着を

着るだけで熱中症発症を防ぐことができるとは言えず、適宜小休止を入れる、こまめに水分補給を行う等を同時に行うことで効果が高まると考えられる。

4-3 耳孔内温等の熱中症予防指標としての有効性

耳孔内温、直腸温の比較のグラフを Fig.16 に示す。両者とも暑熱環境下の運動負荷を反映して上昇するため、温熱指標として有効であることが明らかになった。直腸温は運動中の上昇反応に遅れが見られるのに対し、耳孔内温は反応が早く、変化挙動を熱中症予防の指標に活用するのにより向いていると考えられる。このことは、Lee ら²⁹⁾ も指摘していた。ただし、現在のセンサは被験者の外耳の形による装着状態の違いにより絶対値が変動しやすく、耐久性においても十分とは言えないため、温熱指標とするためには無線センサシステムの更なる改良が求められる。

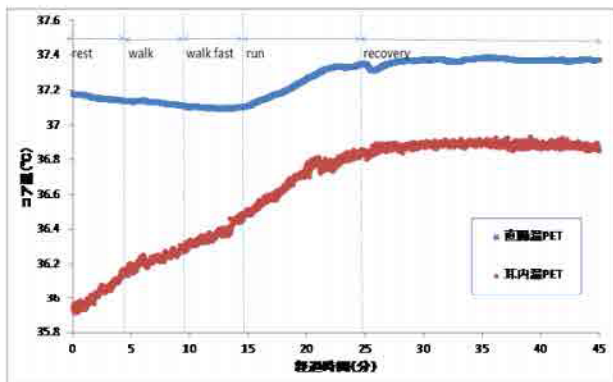


Fig.16 耳孔内温・直腸温比較(PET)

5. 結論

暑熱環境下の剣道の稽古における熱中症予防に適したウェアを検討するため、通常着用されている剣道着(COT)と夏用剣道着(PET)の二種類を対象とし、フィールド実験と人工気候室実験を行い、暑熱環境下での着衣条件の違いが人体生理に与える温熱負荷を比較した。それに加え、トレーサガス法による換気量測定、素材物性実験を行い、2種類の剣道着の構造上の違いについても比較した。その結果、フィールド実験では平均皮膚温で、人工気候室実験では、平均皮膚温・平均体温・衣服内温湿度・直腸温、総発汗量において、PETに比してCOTが有意に高値を示した。よって、温熱負荷による人体生理に与える影響が大きいのは、COTであることが明らかとなった。これにより、PETよりCOTが温熱ストレスを生じさせやすいことが明らかとなった。トレーサガス法による換気量測定では、COTに比して

PETが高い換気量を示し、剣道着2種類に素材や構造上の違いがあることが明らかとなり、身体に与える温熱ストレスの軽減に関係していることが示唆された。

これらの結果から、剣道着PETは、暑熱環境下での剣道の稽古において、熱中症予防の手段の一つとして有効であり、夏期練習用のウェアとして着用するのに適していると言える。しかし夏季の剣道の稽古は、被覆面積の高いその着衣形態により、より厳しい暑熱環境を衣服気候に形成し、他スポーツより熱中症発症のリスクが高い。そのため、夏用剣道着を着用するだけでなく、適宜小休止を挟む、こまめに水分補給を行う等の複数の対策をして稽古を行うことが、熱中症発生を抑えるために効果的であると考える。

フィールドおよび人工気候室での実験で、熱中症予防指標としてウェアラブル無線BANシステムに含まれる耳内温、皮膚温、衣服内温湿度、心電から得られる心拍変動のR-R間隔とも、指標として有力であることが、示唆された。しかし、フィールド環境での実験では、無線システムを用いた実験でデータの欠損が多くみられた。また、発汗によるセンサの離脱が生じた。よって、耐久性・耐水性等のある温熱指標のモニタリング可能な無線センサシステムの開発をさらに検討したい。

現状では、まだ、環境の温熱環境計測値、活動量、生理量の因果関係と人の温熱的快適性の指標となる温熱感覚指標の因果関係が曖昧である。今後、各種スポーツ時のデータを蓄積し、これらの各種スポーツ時のデータの因果関係を明らかにし、環境条件、着衣量、運動負荷による体温や心拍、衣服内気候の値や上昇度などを指標にして、常時モニタリングシステムへ応用し、現状の熱中症予防の運動指針よりきめ細やかな熱中症リスクを個別対応に評価できる新たな評価指標作りを検討したい。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費(A) No.23240099 (2011-2014)および横浜国立大学未来情報通信医療社会基盤センターの助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を示す。KES材料物性の測定にご協力いただいた神奈川県産業技術センターの加藤三貴様に感謝申し上げます。実験着衣の選定に関してお世話になった帝人(株)の加藤純代様に感謝する。また、被験者として実験にご協力頂いた横浜国立大学剣道部の部員の皆様に心よりお礼申し上げます。

なお、本研究は以下の論文として掲載された。薩本弥生, 川村友希, 杉本千佳: 暑熱環境下で熱中症予防に適した剣道用稽古着の検討服装と熱中症, 日本繊維製品消費科学会, 第54巻3月号, 20-30, 2013

引用文献

1. 中井誠一;熱中症死亡数と気象条件-日本における21年間の観察-,日生氣誌, 30:169-177 (1993)
2. 中井誠一, 新里寛英, 森本武利; 熱中症発生に関する疫学的検討—1990年～1994年の新聞にもとづく検討—, 日生氣誌, 33(2): 71-77(1996)
3. Nakai, S., T. Itoh and T. Morimoto; Deaths from heat stroke in Japan: 1968-1994, *Int. J. Biometeorol.*, 43:124-127(1999)
4. 登内道彦, 熱中症の現状-日本の夏の気象と熱中症-, 日本臨床, 70: 981-985, 日本臨牀社(2012)
5. 中井誠一;熱中症の疫学, 日本臨床, 70: 934-939, 日本臨牀社(2012)
6. 湯澤斎, 三宅康史, 有賀徹;スポーツと熱中症, 日本臨床, 70: 986-989, 日本臨牀社(2012)
7. 中井誠一, 川原貴; 学校管理下における熱中症死亡事故発生時の環境温度, 臨床スポーツ医学, 13(5): 562-566(1996)
8. 中井誠一, 朝山正巳, 平田耕造, 花輪啓一, 丹羽健市, 井川正治, 平下政美, 菅原正志;日本の環境温度と運動時の飲料量・発汗量に関する実態調査. 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 48-81(1993)
9. 中井誠一, 芳田哲也, 寄本明, 岡本直輝, 森本武利; 運動時の発汗量と水分摂取量に及ぼす環境温度(WBGT)の影響, 体力科学, 43(4): 283-289(1994)
10. 丹羽健市, 中井誠一, 朝山正巳, 平田耕造, 花輪啓一, 井川正治, 平下政美, 菅原正志, 伊藤静夫; 運動時の環境温度と飲水量・発汗量及び体温に関する実態調査, 体力科学, 45(1): 151-158(1996)
11. Yoshida, T., Nakai, S., Yorimoto, A., and Morimoto, T., Effect of aerobic capacity on sweat rate and fluid intake during outdoor exercise in the heat. *Eur. J. appl. Physiol.*, 71, (2-3): 235-239(1995)
12. 渡辺ミチ; 衣服と体温調節, 温熱生理学, 第1版, 7, 理工学社, 東京, p.539-554(1983)
13. Tanaka, K. and Hirata, K.; Differential effect of cotton and polyester ensembles on changes in clothing surface temperature, skin temperature and skin blood flow during heat load. *J. Kor. Soc. Cloth. Ind.*, 2(5), 405-410 (2000)
14. Fox, E.D. and Mathews, D.K.; The physiological basis of physical education and athletics, 3rd Ed., Saunders, New York, p.468-479 (1984)
15. 河原貴, 森本武利編集; スポーツ活動時の熱中症予防ガイドブック, 日本体育協会, (1994)
16. 薩本弥生; 服装と熱中症, 日本臨床, 70: 1013-1021, 日本臨牀社(2012)
17. 中井誠一, 寄本明, 岡本直輝, 森本武利; アメリカンフットボール練習時の発汗量と水分摂取量の実態, 臨床スポーツ医学, 10(8): 973-977(1993)
18. 中井誠一; アメリカンフットボールの暑さ対策, 臨床スポーツ医学, 14(7), 763-768(1997)
19. 中井誠一, 新矢博美, 高橋英一; 高温環境下におけるフェンシング実施時の体温調節反応及ぼす着衣の影響, デサントスポーツ科学, 21, 122-129(2000)
20. 田中英登, 薩本弥生; 野球選手の着衣条件から見た熱中症予防に関する研究(アンダーシャツ素材を中心に), デサントスポーツ科学, 26: 181-189(2005)
21. 芳田哲也, 新矢博美, 中井誠一; 着衣条件を考慮した熱中症予防指針の実践的根拠, 体力科学, 56(1), 41(2007)
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.
23. (財)全日本剣道連盟 医・科学委員会; 剣道における暑熱環境下の水分摂取, 全日本剣道連盟ホームページ
<http://www.kendo.or.jp/news/2005-necyusho.html>
24. Ritsuko Imamura, Naoki Sumida and Yusuke Eda.; sweat accumulation in a kendo ensemble during indoor summer training, *Environmental Ergonomics*, (3), 395-399 (2005)
25. 繊維製品の透湿度試験方法, JIS L1099-1993, JISハンドブック繊維-1996, p. 522-524(1996)
26. 薩本弥生; 人間生活環境の温熱的快適性評価によるQOL向上のためのウェアラブルシステム開発に関わる研究プロジェクト, 横浜国立大学未来情報通信医療社会基盤センター年報, 57-61 (2010)
27. 薩本弥生・村山周子・竹内正顯; 暑熱環境下の衣服内気候への肌着の吸湿性の効果, 日本熱物性学会誌, 21: 200-206(2007)
28. 日本家政学会被服衛生学部会編; アパレルと健康—基礎から進化する衣服まで—, (株)井上書院:p.52 (2012)
29. Joo-Young Lee, Kouhei Nakano, Naoki Takahashi, Su-Young Son, Ilham Bakri, and Yutaka Tochiwara; Validity of Infrared Tympanic Temperature for the Evaluation of Heat Strain While Wearing Impermeable protective Clothing in Hot Environments, *Industrial Health*, 49: 714-725(2011)

2-1-1-2 暑熱環境下の野球練習中の熱中症予防に適したアンダーウェアの検討

薩本弥生¹⁾、田中唯²⁾、中田いずみ²⁾、島崎康弘³⁾、田中英登¹⁾

1)横浜国立大学、2)元横浜国立大学学生、3)岡山県立大学

目的

暑熱環境下のスポーツ時には、熱中症が毎年多数報告されている。屋内では剣道が¹⁾屋外競技で最も発生件数の多いスポーツは野球であり²⁾、熱中症が起こりやすい競技特性がある。熱中症対策として有効な手段の一つとして野球用アンダーウェアの工夫が挙げられる。本研究では以下の3種の素材①輻射遮断によるクーリング効果のある Reflection of Radiation(以下 RR とする)と②高熱伝導によるクーリング効果のある High Conductivity(以下 HC とする)、③従来品 Basic(以下 BA とする) (Table1) を比較対象とし、暑熱環境下でのウェア素材条件の違いによる温熱負荷の違いが人体生理に与える影響の検討を行った。暑熱環境下における熱中症予防に適したアンダーシャツの検討をすることを目的とする。

方法

3種の CGS ウェアを比較するため、①物性試験および②フィールド実験③人工気候室暑熱模擬実験、以上3つの実験を行った。実験②・③では、暑熱環境下の安静時・運動時・回復時の各項目を連続測定した。なお、②の被験者は、横浜国立大学体育会硬式野球部男子部員6名(年齢 19.2 ± 0.8 (歳)、身長 175.0 ± 3.6 (cm)、体重 69.7 ± 3.9 (kg))、③の被験者は岡山県立大学学生6名(年齢 19.2 ± 0.8 (歳)、身長 172.3 ± 5.5 (cm)、体重 69.7 ± 3.9 (kg))である。

実験手順

フィールド実験では被験者は実験開始30分前に更衣室に入室した。上半身は裸の状態体重測定を行い、その後直腸温センサを挿入した。乳酸値、体温(口腔温)を測定した。各センサ(皮膚温、衣服内温湿度、耳内温、心拍、運動強度)を貼り付け、ログ本体はウエストポーチに収納し、腰に装着した。実験着を着用し、主観申告を行った後、野球場に移動し実験を開始した。実験は安静10分、運動35分(小休止あり)、回復10分の計45分で行った。実験時の運動は野球部の練習メニューで、内容は軽いジョギングやストレッチ、フットワーク等の軽度の運動である(Fig.1参照)。実験終了直後、アンダーシャツを回収し、被験者はタオルで頭部や上半身の汗を拭きとり、タオルは回収した。直腸以外のセンサを外した後、乳酸と血糖値を測定し、別室にて直腸のセンサを外してから体重測定を行った。以上の内容を被験者1人につき1日1条件、計3条件での実験を行った。

人工気候室実験は冬季であったため、各被験者は身体を慣らすために実験前から人工気象室内に待機し被験者は紙コップ1杯のスポーツドリンク(0.2L)を飲み、上半身は裸、下半身は下着と実験用に用意したズボンを着用し、体重を測定した。その後、別室にて直腸にセンサを挿入し、再度人工気象室へ入室して乳酸値、体温を測定した。各センサ(皮膚温計(有線・無線)、衣服内温湿度計(有線・無線)、耳孔内

Table1 実験着の諸元

測定項目	BA	RR	HC
厚さ d (mm)	0.56	0.73	0.65
熱伝導率 λ (W/m/K)	0.068	0.086	0.077
熱抵抗値 d/λ ($K \cdot m^2/W$)	0.008	0.008	0.008
通気抵抗 R ($kPa \cdot s/m$)	0.087	0.122	0.193
接触冷温感 (W/cm^2)	0.132	0.134	0.138



Fig.1 野球用アンダーウェアを着用し練習中の様子



Fig.2 人工日射環境下での被験者実験の様子(安静時と運動時)

温計（無線）、心拍計、発汗計、運動強度計）を取り付け、実験を開始した。実験は安静 10 分、運動 I（エルゴメータ 50W の運動）5 分、運動 II（エルゴメータ 75W の運動）5 分、運動 III（エルゴメータ 100W の運動）10 分、回復 15 分の計 45 分で行った。

実験時の様子を Fig.2 に示す。エルゴメータの負荷は回転数ではなくペダルの重さを変更した。実験終了直後、アンダーシャツを回収し、被験者はタオルで頭部や上半身の汗を拭きとり、タオルは回収した。直腸以外のセンサを外した後、乳酸と血糖値を測定し、別室にて直腸のセンサを外してから体重測定を行った。以上の内容を 1 人の被験者につき 1 日 1 条件、計 2 条件での実験を行った。

結果

a) 物性実験結果

KES 法で計測した実験着の諸元を Table1 に示す。熱抵抗値は 3 種ほぼ同等で、厚みが薄い BA の通気抵抗が他の 2 素材より有意に低値だった。

b) フィールド実験結果

平均皮膚温の運動前からの変動は初期値との差を算出して比較したが、日付ごとのグラフを比較すると、被験者による変動が大きいため、素材間の比較で一定の傾向を見出すには至らなかった。一方、直腸温の運動前からの変動では、被験者の有効なデータ数が不十分であるため、有意差は得られなかったが、HC が 1 日目、3 日目に顕著に運動と暑熱暴露により上昇がみられた。さらに、主観申告では湿潤感で運動後に有意に BA よりも RR、HC が高い申告であった。その他の主観申告（快適感、温冷感、蒸れ感、べたつき感）では有意差こそ見られなかったが湿潤感と同様の傾向であった。

c) 人工気候室実験結果

平均皮膚温をフィールド実験と同様、測定した皮膚温 4 点から面積重みづけした平均皮膚温を算出した。経時変化を Fig.3 に示す。安静時は全条件に有意差が見られ、HC、RR、BA の順に有意に高値であった。運動 I でも全条件に有意差が見られ、RR、HC、BA の順に有意に高値であった。運動 II では BA と RR、HC と BA に有意差が見られ、RR、HC に対して BA が有意に低値であった。運動 III では全条件に有意差が見られ、HC、RR、BA の順に有意に高値であった。回復時でも全条件に有意差が見られ、HC、RR、BA の順に有意に高値であった。

衣服内温度（胸）の経時変化を Fig.4 に示す。安静時は全条件に有意差が見られ、HC、BA、RR

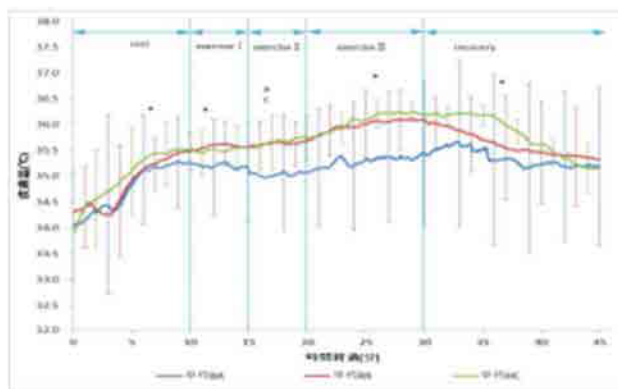


Fig3 平均皮膚温の経時変化

(* : 全条件において有意($p < 0.05$), a : BA と RR において有意($p < 0.05$), c : HC と BA において有意($p < 0.05$)) 誤差線は 1 分毎 1 条件表示。その時点における標準偏差を表す

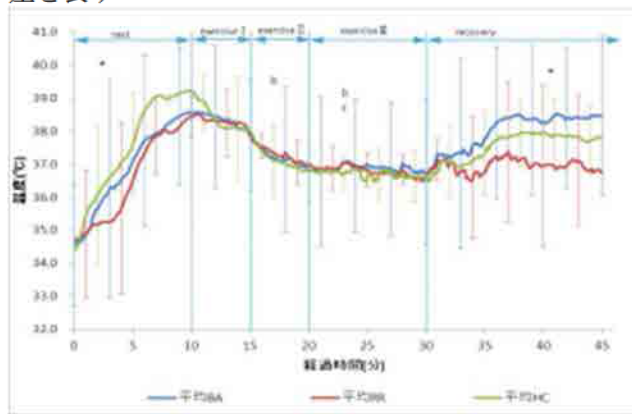


Fig.4 衣服内温度(胸)の経時変化

(* : 全条件において有意($p < 0.05$), a : BA と RR において有意($p < 0.05$), c : HC と BA において有意($p < 0.05$)) 誤差線は 1 分毎 1 条件表示。その時点における標準偏差を表す。

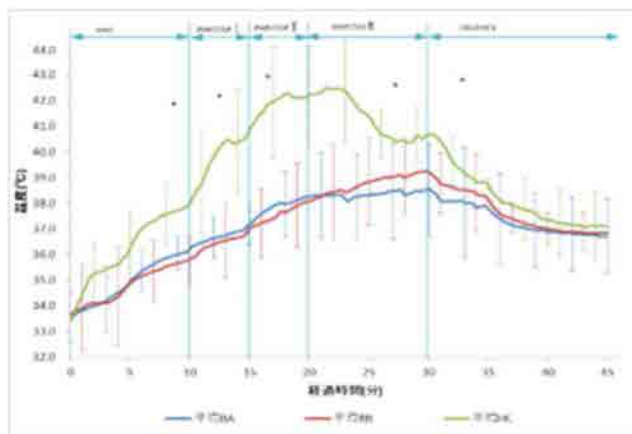


Fig.5 衣服内温度(背中)の経時変化

(* : 全条件において有意($p < 0.05$), a : BA と RR において有意($p < 0.05$), c : HC と BA において有意($p < 0.05$)) 誤差線は 1 分毎 1 条件表示。3 分で 3 条件表示。その時点における標準偏差を表す。

の順に有意に高値であった。運動Ⅰでは有意差は見られなかった。運動Ⅱでは、RRとHCに有意差が見られ、RRが有意に高値であった。運動Ⅲでは、

RRとHC、HCとBAに有意差が見られ、BAとRRに対してHCが有意に低値であった。回復時は、全条件に有意差が見られ、BA、HC、RRの順に有意に高値であった。

衣服内温度(背中)の経時変化をFig.5に示す。安静時は全条件に有意差が見られ、HC、BA、RRの順に有意に高値であった。運動Ⅰでも全条件に有意差が見られ、HC、BA、RRの順に有意に高値であった。運動Ⅱでも全条件に有意差が見られ、HC、BA、RRの順に有意に高値であった。運動Ⅲでも全条件に有意差が見られ、HC、RR、BAの順に有意に高値であった。回復時も全条件に有意差が見られ、HC、RR、BAの順に有意に高値であった。

衣服内絶対湿度(胸)の経時変化をFig.6に示す。安静時は全条件に有意差が見られ、RR、HC、BAの順に有意に高値であった。運動Ⅰでも全条件に有意差が見られ、RR、HC、BAの順に有意に高値であった。運動ⅡではBAとRR、HCとBAに有意差が見られ、RRとHCに対してBAが有意に低値であった。運動ⅢでもBAとRR、HCとBAに有意差が見られ、回復時は全条件に有意差が見られ、HC、RR、BAの順に有意に高値であった。

PSIとは、Physiological strain indexの略であり、Moranら³⁾によって提唱されたストレス指標である。心拍と直腸温を用いて(1)式より算出する。

$$PSI = 5 \times \frac{HR_t - HR_0}{180 - HR_0} + 5 \times \frac{Trec_t - Trec_0}{39.5 - Trec_0} \dots (1)$$

PSIの経時変化をFig.7に示す。安静時、運動Ⅰ、運動Ⅱでは、有意差は見られなかった。運動Ⅲでは、BAとRR、HCとBAに有意差が見られ、RR、HCに対してBAが有意に高値であった。回復時はHCとBAに有意差が見られ、HCに対してBAが有意に高値であった。

主観申告の湿潤感のグラフをFig.8に示す。安静時、運動Ⅰ、運動Ⅱ、回復時には、有意差は見られず、運動ⅢでBAとRR、HCとBAに有意差が見られ、RRとHCに対してBAが有意に低値であった。べとつき感でも同様であった。

発汗量の経時変化をFig.9に示す。安静時、運動Ⅰは全条件に有意差が見られ、HC、BA、RRの順に有意に高値であった。運動Ⅱでは、有意差は見られなかった。運動ⅢではBAとRR、RRとHC

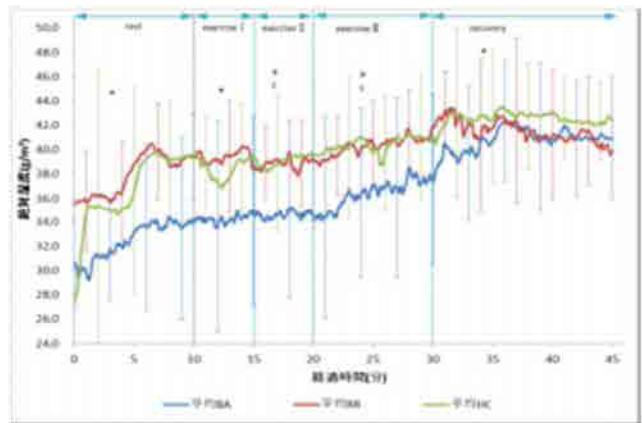


Fig.6 衣服内絶対湿度(胸)の経時変化 (*:全条件において有意($p<0.05$), a:BAとRRにおいて有意($p<0.05$), c:HCとBAにおいて有意($p<0.05$))

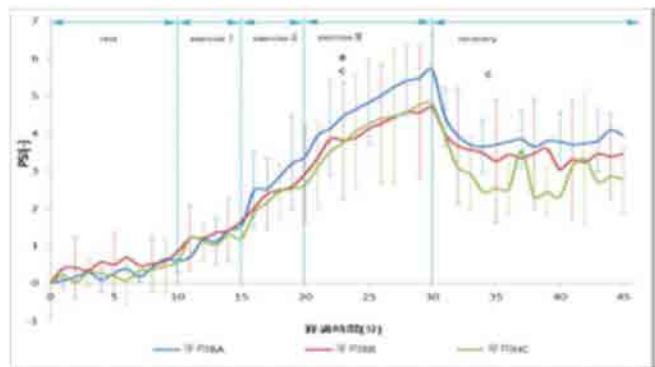


Fig.7 PSIの経時変化 a:BAとRRにおいて有意($p<0.05$) c:HCとBAにおいて有意($p<0.05$)

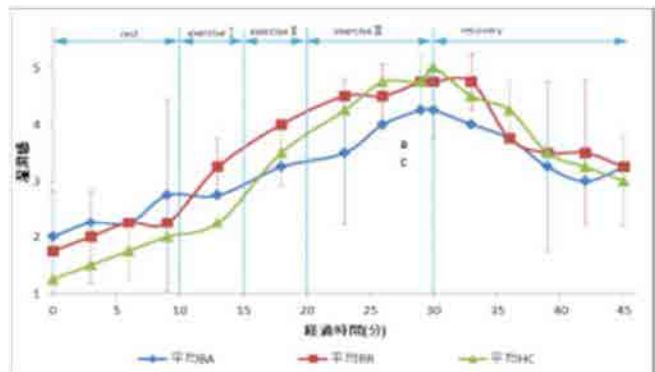


Fig.8 主観申告—湿潤感 (a:BAとRRにおいて有意($p<0.05$), c:HCとBAにおいて有意($p<0.05$))

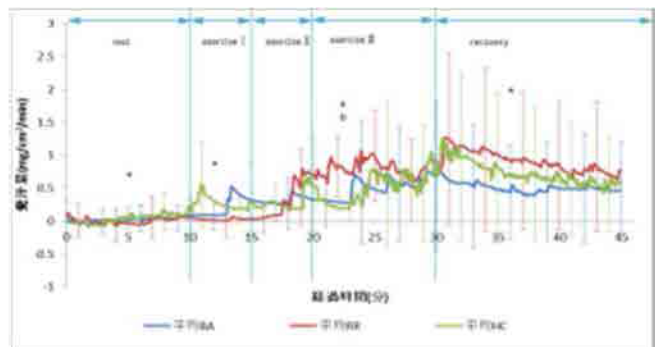


Fig. 9 発汗量の経時変化 (*:全条件において有意($p<0.05$), a:BAとRRにおいて有意($p<0.05$),c:HCとBAにおいて有意($p<0.05$))

に有意差が見られ、BA と HC に対して RR が有意に高値であった。回復時は全条件に有意差が見られ、RR、HC、BA の順に有意に高値であった。

考察

a) フィールド実験と人工気象室実験の比較

本研究のフィールド実験時期の野球ウェア着用実験時の環境温は3日間平均で $31.37 \pm 0.26^{\circ}\text{C}$ で、WBGT 温度 $29.14 \pm 0.41^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $67.64 \pm 1.01\%RH$ 、黒球温 $37.17 \pm 0.56^{\circ}\text{C}$ であった。この WBGT 温度は、野球のような全身を覆う衣服を着用する場合は、嚴重警戒と運動原則中止の間である⁴⁾。このような環境でも通常、練習が行われている。このことから、夏期の野球練習は、非常に厳しい暑熱環境であり、熱中症発症の可能性が高い状況で行われていることが明らかとなった。そのため、野球の部活動の指導者や競技者は嚴重な熱中症予防や対策をとることが熱中症発症を抑えるために重要であると示唆された。フィールド実験では各被験者が活動している地点により、また、一時的な雲による陰りなどが値に影響すると考えられる。また、客観データでは欠損値やデータのばらつきが見られたが、主観データ等で野球の練習の実態と、温熱負荷が身体に与える影響について捉えることができたと考えられる。フィールド実験と人工気候室実験では測定精度や測定機器の違い、さらには現場での野球の練習の運動強度とエルゴメータ運動による運動強度の差異は否定できない。しかし、現場調査と人工気候室実験における平均皮膚温と主観申告はほぼ類似した傾向を示しており、今回実施した人工日射環境下でのエルゴメータ運動は、夏期の野球練習中の環境条件や生体反応を反映していると考えられる。

b) 熱中症予防に適した野球用アンダーウェア

平均皮膚温、衣服内絶対湿度(胸)、発汗量において、BA が有意に低値を示した。主観申告でも湿潤感等の運動Ⅲにおいては BA が有意に低値を示した。また有意差はほとんどないものの、平均値としては BA が低値(快適感においては高値)を示している場合が多くみられた。Table1 を参照すると、BA は布の厚みが薄く、通気抵抗が他の2条件に対して有意に低値である。熱伝導率が高い HC では皮膚温が、直接輻射熱が当たる部位で運動中に高くなった。熱が衣服内に熱伝導で流入したためと思われる。以上より通気抵抗が小さい BA が熱中症予防に寄与することが明らかとなった。しかし、RR でも布の厚みを薄く改良すれば輻射を遮蔽して体温上昇を抑制できる可能性が示唆された。

c) PSI の熱中症予防の指標としての有効性

熱中症予防のためは生体情報をベースにした温熱指標のリアルタイムのモニタリングするシステム作りが期待される。これが可能になれば病的状態になる前に運動や作業を中断させることが可能となる。そのための温熱指標として心拍数と直腸温から算出するストレス指標 PSI の可能性について検討した。

PSI は BA が有意に高値を示した。これは、直腸温の各条件内での温度差が関係していることが考えられる。BA の平均直腸温初期値は他の2条件と比較

して低値であり、最高値は他の2条件に及ばないものの、PSI は心拍と初期値との差を指標としているため、実際の温度が高値でなくとも PSI としては高値となったものと考えられる。各被験者データのばらつきを見ると、被験者5の BA 着用時直腸温が他被験者に比べ極端に低いことが BA の平均直腸温に影響していることがわかった。また、心拍も被験者毎の元データを見ると、被験者1の HC 着用時心拍と、被験者4の BA 装着時心拍が他被験者に比べ極端に高く、また被験者6に関しては2条件とも他被験者に比べ極端に低い。これらのばらつきを形成しているデータを外し、参考として修正 PSI を Fig. 10 に示す。これを見ると、平均皮膚温や主観申告と類似する結果を示している。被験者による個人差も反映されるため被験者数を増やす必要があるが、直腸温と心拍数から算出する PSI は人体の生理状況の変化を相補的にとらえ

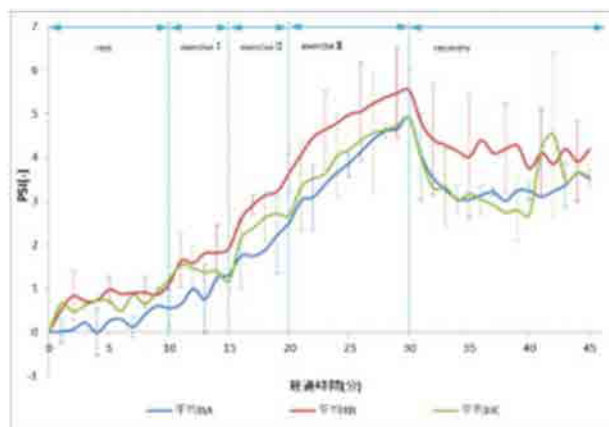


Fig. 10 修正 PSI の経時変化

ているため、運動時のストレス指標として有効であると考えられる。

まとめと今後の課題

今回の人工気候室での実験で、熱中症予防指標としてウェアラブル BAN システムに含まれる耳孔内温、皮膚温、衣服内温湿度、心電から得られる心拍変動の R-R 間隔とも、指標として有力であることが、これまでの研究で明らかにされている。しかし、今回の実験で運動時の発汗によりセンサに腐食が生じたり、装着したセンサの離脱が生じたりした。よって、耐久性のある温熱指標のモニタリング可能な無線センサシステムの開発をさらに検討したい。現状では、まだ、環境の温熱環境計測値、活動量、生理量の因果関係と人の温熱的快適性の指標となる温熱感覚指標の因果関係が曖昧である。今後、各種スポーツ時のデータを蓄積し、これらの各種スポーツ時のデータの因果関係を明らかにし、環境条件、着衣量、運動負荷による体温や心拍、衣服内気候の値や上昇度などを指標にして、常時モニタリングシステムへ応用し、現状の熱中症予防の運動指針よりきめ細やかな熱中症リスクを個別対応に評価できる新たな評価指標作りを検討する。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費(A) No.23240099 (2011-2014)および横浜国立大学未来情報通信医療社会基盤センターの助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を示す。

実験試料を提供いただいたミズノ株式会社に感謝する。KES 材料物性の測定にご協力いただいた神奈川県産業技術センターの加藤三貴様に感謝申し上げます。また、被験者として実験にご協力頂いた横浜国立大学野球部および岡山県立大学の学生の皆様に心よりお礼申し上げます。なお、本研究の内容は横浜国立大学 2012 年度教育人間学部卒業論文として田中唯氏がまとめた内容をベースにしている。また、その成果は、2013 年度に日本繊維製品消費科学会年次大会で口頭発表した[7]。

引用・参考文献

- 1) 薩本弥生, 川村友希, 杉本千佳: 暑熱環境下で熱中症予防に適した剣道用稽古着の検討服装と熱中症, 日本繊維製品消費科学会, 第 54 卷 3 月号, 20-30, 2013
- 2) 薩本弥生: 服装と熱中症, 日本臨床 70, 1013-1021, 日本臨牀社, 2012
- 3) Moran DS, Shitzer A, Pandolf KB; A physiological strain index to evaluate heat stress. *Am J Physiol* 275:R129-134, 1998
- 4) 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
- 5) 田中唯; 暑熱環境下における熱中症予防に適したアンダーシャツの検討, 2012 年度卒業論文
- 6) 薩本弥生分担執筆: アパレルと健康—基礎から進化する衣服まで—, 株式会社井上書院, 2012
- 7) 薩本弥生, 田中唯, 中田いずみ, 島崎康弘, 暑熱環境下における熱中症予防に適したコンプレッションインナーの検討, 日本繊維製品消費科学会 2013 年度年次大会口頭発表, (2013)

2-1-1-3 暑熱環境下の野球用アンダーウェアのデザインの工夫による熱中症予防効果の検証

望月雄翔¹⁾, 青柳卓也¹⁾, 薩本弥生²⁾, 島崎康弘³⁾

1)横浜国立大学学生, 2)横浜国立大学, 3)岡山県立大学

1. 目的

近年、野球やサッカー、フットボール、バドミントンなどのスポーツ時にコンプレッションインナー(Compression Garments: 以下CGsと略す)をユニフォームの下に着用する人が多くみられる。CGsを販売しているメーカーの多くは、着圧により筋肉の振動を抑制し、着圧が血流やリンパの流れを促進すること(血流促進)による乳酸や老廃物の除去の促進と筋疲労の軽減効果や、身体が締め付けられることで運動時の動きにパワーが伝わりやすくなる効果を謳っている。従来のものに比べて速乾性による放熱効果があると謳っているメーカーもある。しかし、学術レベルでは放熱効果については、逆の見解の論文もみられ、身体に密着する構造ゆえに濡れ広がって乾きやすいと考えられる一方[1]、空隙がなく、ゆとりのあるウェアよりも換気が起きにくいとも考えられるため[2]、温熱的な冷却効果があるかについては議論の余地がある。暑熱環境下のスポーツ時には、熱中症が毎年多数報告されている。屋外競技で最も発生件数の多いスポーツは野球であり、熱中症が起りやすい競技特性がある。熱中症対策として有効な手段の一つとしてCGsウェアの工夫が挙げられる。

本研究では、同一素材で3種類のゆとり量の違うCGsウェアを試作し、ゆとり量の違いがどのような過程を経て温熱的快適性、運動機能性に影響を及ぼすのか、被験者実験を通して明らかにすることを目的とする。

2. 方法

CGsの温熱的快適性に関する実験を①フィールド、②人工気候室で行った。

2.1 実験着衣

同一CGs素材でゆとり量が3段階に異なるウェアをメーカーに試作いただいた。Fig.1に装着状況を示す。各々、市販品のTight(以下T)、市販品よりも少しゆとり量の多いMedium(以下M)、ゆとり量の多いLoose(以下L)である。

KESによる材料物性実験により計測したCGs衣服試料の諸元をTable1に示す。参考値として、通常のスポーツ用Tシャツの物性も記す。CGsはTシャツと比較して厚みが若干厚いが、熱抵抗、通気抵抗は同程度である。

Table1 実験着の諸元

測定項目	T-shirt	CGS
厚さ d (mm)	0.40	0.47
熱伝導率 λ (W/mK)	0.04	0.06
熱抵抗値 d/λ ($K \cdot m^2/W$)	0.010	0.008
通気抵抗 ($kPa \cdot s/m$)	0.01	0.01
接触冷温感(W/cm^2)	0.10	0.15



Fig 1 3種のCGs装着した様子

2.2 フィールド実験

フィールド実験は2014年9月の7日間、横浜国立大学敷地内の陸上競技場で行った。被験者は横浜国立大学硬式野球部に所属する学生6名である。身長平均 $172.5 \pm 7.9\text{cm}$ 、体重平均 $68.2 \pm 10.2\text{kg}$ 、年齢平均 20 ± 0.6 歳である。Table2 に被験者6名の各CGs 着用時の胸部、胴部、腰部におけるゆとり量を示す。

TightとMediumではいずれの部位でも負のゆとりで特に腰部が負のゆとり量が大きく、締め付けが大きい。Looseでは腰部>胴部>胸部の順にゆとりが多く、Aラインとなっている (Fig.1 参照)。なお、実験に先立ち、被験者には実験の主旨を十分に説明し、承諾を得た上で参加させた。

Table2 各CGs 着用時の躯体部部位毎のゆとり平均±SD)

部位	Tight	Medium	Loose
胸部	-11.8 ± 6.0	-6.0 ± 7.1	16.7 ± 5.9
胴部	-11.7 ± 6.1	-2.4 ± 3.4	18.7 ± 5.4
腰部	-15.4 ± 6.9	-7.4 ± 5.5	37.4 ± 3.9

2.2.1 実験手順

被験者は実験開始約30分前に本学構内南地区運動場横の管理棟3階の控え室に入室した。上半身裸体、裸足の状態で体重計測の後、直腸温センサを挿入した。その後、口腔温を計測しながら、各センサ(皮膚温、衣服内温度・湿度、放熱量、耳内温、心拍、代謝)を貼付され実験着を着用し、ログ本体がウェストポーチに収納された状態で腰に装着した。スポーツドリンク200gを飲んだ後に実験を開始した。実験は、安静10分(管理室内)、運動20分(陸上トラック)、回復20分(陸上トラック横の木陰)の、計50分とした。被験者は実験中に5分ごとに主観申告の回答をした。

Table3 実験のタイムテーブル

主観申告	○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
経過時間(分)	0 5 10	15 20 25 30	35 40 45 50
被験者活動	座位安静	ランニング(6km/h)	回復 座位安静



Fig.2 トラックランニング風景.

実験のタイムテーブルをTable3に実験の様子をFig.2に示す。

主観申告の項目をTable4に示す。

実験時の運動は陸上トラックランニングとした。陸上トラックへは実験開始10分後に移動した。実験終了直後、CGsウェアを密封袋にしまい、体の汗を実験者の補助の元、タオルで拭き取った。直腸温センサを外してから体重測定を行った。以上の内容を1人の被験者につき1日1条件、計3条件での着衣条件で実験を行った。

Table4 主観申告内容

べとつき感		温冷感		湿潤感		快適感		蒸れ感	
非常にべとつく	5	とても暑い	3	飽和状態	6	非常に快適	3	とても蒸れている	5
べとつく	4	暑い	2	とても濡れている	5	快適	2	蒸れている	4
ややべとつく	3	やや暑い	1	濡れている	4	やや快適	1	やや蒸れている	3
べとつかない	2	どちらでもない	0	湿っている	3	どちらでもない	0	蒸れていない	2
全くべとつかない	1	やや寒い	-1	やや湿っている	2	やや不快	-1	全く蒸れていない	1
		寒い	-2	乾いている	1	不快	-2		
						非常に不快	-3		

2.3 人工気候室実験

9月に行ったフィールドでの実験では実際の暑熱環境での運動時でのCGsの着衣状態に近い環境での着用者の主観申告データが得られたが、生理データに関しては欠損が多く、統計的に有意な傾向があるかを検証するには十分なデータが得られなかったため、より環境を制御して再現性の得られやすい人工気候室の環境で実験を実施した。

2.3.1 実験手順

本実験は2015年1月の3日間、本学敷地内 IAS 内の人工気候室（温度 28℃、湿度 60%RH に設定）で行った。被験者は岡山県立大学および横浜国立大学の学生 6 名である。身長平均 170.3±5.6cm、体重平均 64.5±9.3kg、年齢平均 22±0.6 歳である。Table5 に被験者 6 名の各 CGs 着用時の胸部、胴部、腰部におけるゆとり量を示す。Tight と Medium ではほとんどの部位で負のゆとりで特に Tight での負のゆとり量が大きく、締め付けが大きい。Medium はフィールド実験の被験者の時よりも負のゆとりが少なく、ジャストフィットに近い。Loose ではフィールド実験と同様、腰部>胴部>胸部の順にゆとりが多く、A ラインとなっている (Fig.1 参照)。被験者被験者には実験の主旨を十分に説明し、承諾を得た上で参加させた。



Fig3 センサの貼付状況

被験者は暑熱環境下が再現された横浜国立大学構内 IAS 内の人工気候室に入室した。上半身は裸、靴下を脱いだ状態で体重測定を行い、その後直腸温センサを挿入した。体温(口腔温)を測定した。各センサ(皮膚温、衣服内温度・湿度、放熱量、耳孔内温、心拍、代謝、発汗)を貼り付けられ、ログ本体をウェストポーチに収納された状態で腰に装着した。実験着を着用し、スポーツドリンク 200g を飲んだ後に実験を開始した。センサを貼付した状態を Fig3 に示す。

Table5 各 CGs 着用時の躯体部部位毎のゆとり (平均±SD)

部位	Tight	Medium	Loose
胸部	-15.1±3.7	-2.3±2.7	8.5±3.9
胴部	-9.2±4.7	3.5±5.6	19.6±3.6
腰部	-14.9±5.1	-3.4±3.6	37.6±3.6

実験は、安静 10 分 (椅子に座った状態)、運動 20 分 (トレッドミル)、回復 20 分 (椅子に座った状態) の、計 50 分とした。実験中は 5 分ごと主観申告を回答した。実験時の運動はトレッドミルを用い、8km/h でランニングするものとした。実験中に測定した活動量のデータより、ランニング中の運動強度

は約 6.5mets であった。実験終了直後、アンダーシャツを密封袋にしまい、体の汗を実験者の補助の元、タオルで拭き取った。直腸温センサを外してから体重測定を行った以上の内容を実験者が 1 人の被験者につき 1 日 1 条件(サーカディアンリズムを考慮し、同一時刻に開始)、計 3 条件での着衣条件で実験を行わせた。実験のタイムテーブルを Table6 に示す。

Table6 実験のタイムテーブル

主観申告	○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
経過時間(分)	0 5 10	15 20 25 30	35 40 45 50
被験者活動	座位安静	運動 ランニング(8km/h)	回復 座位安静

2.4 データ解析方法

2.4.1 熱通過率

皮膚温、放熱量および環境温を用い、式 (1) より熱通過率 h_t を算出した。

$$h_t = \frac{q}{T_s - T_e} \dots (1)$$

(h_t : 熱通過率(W/m²/°C)、 q : 放熱量(W/m²)、 T_s : 皮膚温(°C)、 T_e : 環境温(°C))

2.4.2 発汗量

実験前後の被験者の重量変化量として、総発汗量・無効発汗量・有効発汗量・発汗効率を求めた。発汗量は実験前後の被験者の重量変化に補給した飲水量を足して式(2)より総発汗量 W_t を算出した。

$$W_t = W_b + W_e - W_a \dots (2)$$

W_t : 総発汗量, W_b : 実験前の被験者の重量, W_a : 実験後の被験者の重量, W_e =補給水 (200) (単位: g)
実験終了時に体に付着していた汗や、着衣に付着した汗を無効発汗とし、着衣やタオル、ポラール

バンドの重量増加から無効発汗量を求め、有効発汗量 W_v 、発汗効率 m_r を式(3)(4)により算出した。

$$W_v = W_t - W_i \quad \dots (3) \quad (W_v : \text{有効発汗量} \quad W_i : \text{無効発汗量 (単位 : g)})$$

$$W_r = \frac{W_v}{W_t} \times 100 \quad \dots (4) \quad (W_r : \text{発汗効率 (単位 : \%)})$$

有効発汗量から式 (5) より蒸発速度 m_t 、式(6)より蒸発放熱量 q_w を算出した。

$$m_t = \frac{W_v}{t \cdot A_{skn}} \quad \dots (5), \quad q_w = m_t \cdot L \quad \dots (6)$$

W_v : 有効発汗量 (g) m_t : 蒸発速度(g/m²/s) A_{skn} : 被験者の体表面積 (m²)、 q_w : 蒸発放熱量(W/m²)
 L : 潜熱係数 (2430J/g) t : 測定時間 (s)

測定された温度から飽和水蒸気圧を算出する。水蒸気圧の算出方法を式(7)(8)に示す[3]。

$$\beta k(\theta) = \exp \left[\frac{1}{\theta} \frac{\sum_{v=1}^5 k_v (1-\theta)^v}{1+k_6(1+\theta)+k_7(1+\theta)^2} - \frac{1-\theta}{k_8(1-\theta)^2+k_9} \right] \quad \dots (7)$$

(β : 飽和水蒸気圧 (Pa), θ : 湿度 (°C), $k_1 \sim k_9$: 定数)

$$P = \beta k \cdot RH \quad \dots (8)$$

(P : 水蒸気圧 (Pa) , RH : 相対湿度 (%))

式(9)より絶対湿度を算出する。

$$C = \frac{M_w P}{R_0 T} \quad \dots (9)$$

(C : 絶対湿度 (g/m³) , M_w : 水の分子量 (g/mol) , R_0 : ガス定数 (8.315J/(K · mol)) , T : 絶対温度(K))
 人工気候室実験で発汗量を発汗計で継時的には計測した。しかし、発汗計による発汗量の経時データは腹部、背部ともに被験者 1 名ずつしか 3 着衣条件のそろって取ることができなかった。そのため、発汗のプロフィールは被験者ごとに差は少ないと仮定して、式(2)~(5)から算出したデータを用いて継時的な蒸発速度を求めた。それにより算出された値を用い式(10)より蒸発熱伝達率を算出した。

$$h_w = \frac{q_w}{C_{skn} - C_e} \quad \dots (10)$$

(h_w : 蒸発熱伝達率 (W · m/g) , C_{skn} : 被験者の衣服内絶対湿度 (g/m³)、 C_e : 環境の絶対湿度 (g/m³)
 データ処理は統計処理ソフト SPSS Ver.20 を利用し一元配置分散分析および重回帰分析を行い、有意水準は † : $p < 0.10$ を有意傾向、* : $p < 0.05$ を有意とした。

3. 結果および考察

3.1 フィールド実験結果

3.1.1 ゆとり量が温冷感におよぼす効果

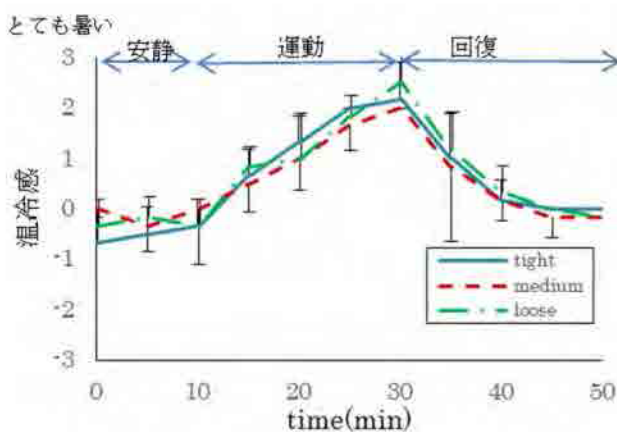


Fig.4 温冷感のウェアによる違い

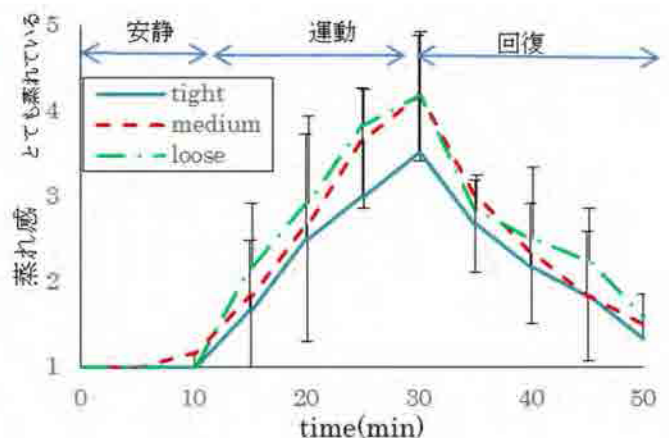


Fig.5 蒸れ感のウェアによる違い

Fig.4 に温冷感、Fig.5 に蒸れ感への着衣のゆとり量がおよぼす効果について被験者平均を示す。温冷感、蒸れ感ともは実験開始から徐々に増していき、運動終了時時刻である 30 分にピークをむかえ

る。運動後半からピーク時の温冷感はL条件が一番高値を示した。蒸れ感では運動開始時から最後までL条件が高値を示した。しかし、温冷感、蒸れ感ともにウェアによる有意差はみられなかった。他の主観でも同様の傾向であった。

3.2 人工気候室実験結果

3.2.1 熱通過率

熱通過率の結果を部位ごと(胸部・上背部・下背部)に、それぞれ Fig.6、Fig.7、Fig.8 に示す。

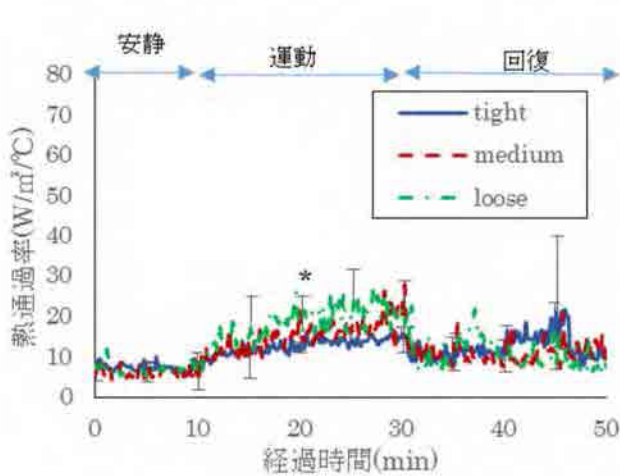


Fig.6 胸部熱通過率の推移 (* : p<0.05)

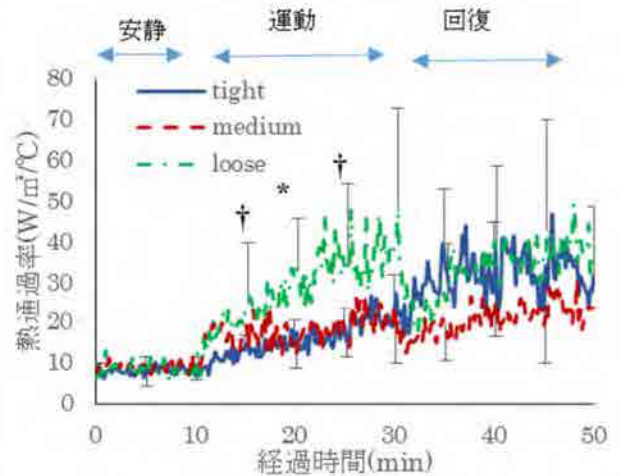


Fig.7 上背部熱通過率 (* : p<0.05, † : p<0.10)

胸部の熱通過率は、運動時にはL着用時が常に最も高値を示し、実験開始20分時には有意差が認められた。回復期初期には、3条件ともに熱通過率が下がり、L、M着用時は下がったところで値がおむむね安定し、実験終了時まで続く。T着用時は、一度はL、M着用時同様に熱通過率が下がるが、下がりきった後に再び上昇する (Fig.6)。

上背部の熱通過率は、運動時T、M着用時においては熱通過率が緩やかに上昇する。L着用時の運動時の熱通過率の上昇の割合が大きい。運動開始5分後、15分後には有意な傾向があり、10分後には有意差が認められた。回復期の熱通過率は、3条件とも一度下降した後に再び上昇する。T、L着用時は、M着用時と比較すると上昇が急である (Fig.7)。

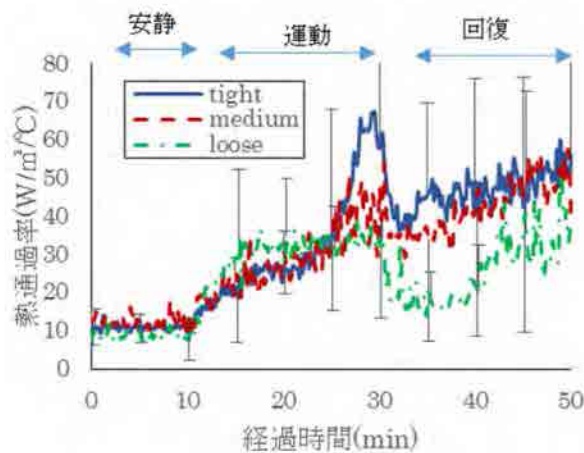


Fig.8 下背部熱通過率の推移

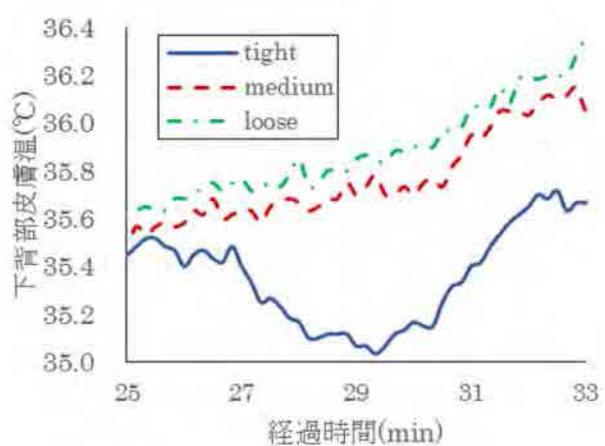


Fig.9 下背部皮膚温の推移比較

下背部の熱通過率は、運動開始から約15分間L着用時が他のウェア着用時と比較して高値を示す。その後運動終了時をまたぐ約7分間ではT着用時の値が最も高値を示す (Fig.8)。この期間の下背部の皮膚

温を比較してみると有意差が認められた (Fig.9)。

運動終了時から実験終了まではL着用時の熱通過率が他のウェア着用時と比較して高値を示す。運動中にL着用時の熱通過率が高値を示した原因として、運動中に生じるウェアのはためきによるふいご作用によりウェアと身体の間に対流が生まれ、それにより身体の放熱量が増加、さらにそれに伴い皮膚温が低下したためだと考えられる。

3.2.2 衣服内温度

実験中の胸部衣服内温度において着衣を比較したものを Fig10 に示す。運動中L条件時は、他の条件時よりも温度低下が生じている。実験開始 20 分時には有意差も認められる。また、回復期においてはT条件時が他の条件時と比較して温度低下が急である。運動時は走行中に発生した衣服のふいご作用が衣服内温度を下げていていると考えられる。また、運動後はT着衣時は直接肌とウェアが触れることにより生じる熱伝導による乾性放熱およびそれに伴う汗の蒸発放熱により効率的に放熱が起きていることが考えられる。

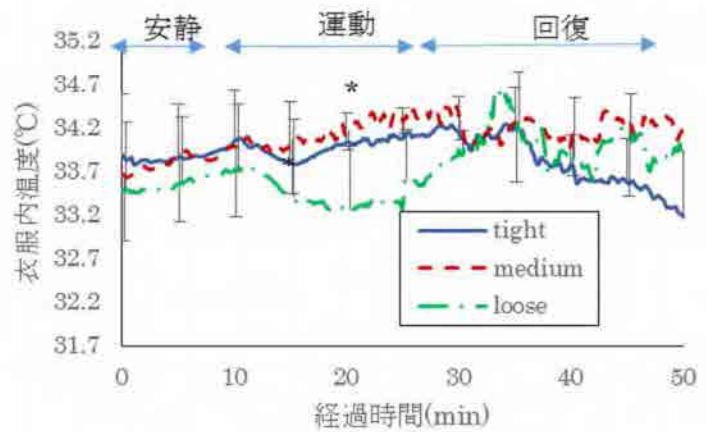


Fig.10 胸部衣服内温度の推移 (* : p<0.05)

3.2.3 発汗量の経時変化

被験者の腹部と背部に取り付けた発汗センサにより得られたデータが少なかつたため胸部のデータが3条件揃っていた被験者 A の発汗量 (実験開始時との差) を Fig11 に、背部のデータが3条件揃っていた被験者 B の発汗量 (実験開始時との差) を Fig12 に示す。

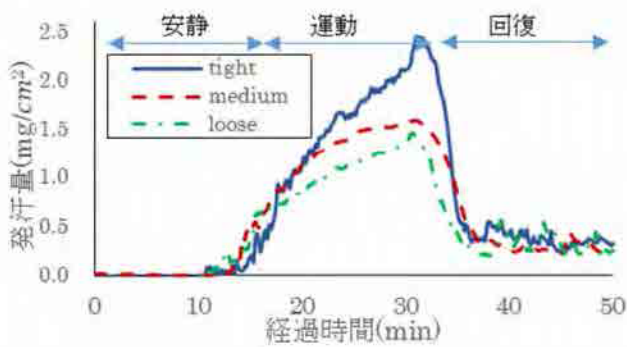


Fig11 背部発汗量の推移

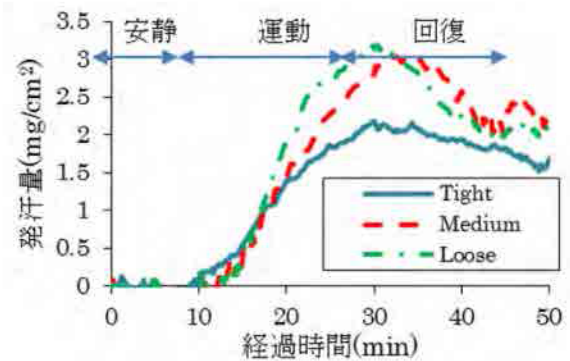


Fig.12 腹部発汗量の推移

3.2.4 蒸発熱伝達率

背部においては、差はあまり見られない。しかし Fig13 に示すように腹部においては運動開始直後にはL着用時において高値を示し、運動終了時にはT着用時において高値を示した。運動初期にはL着用時において効果的にふいご作用による対流を起し、また、運動終了時においてはT着用時において効果的に汗の濡れ広がりによる熱伝導、および蒸発放熱を利用できたものだと考えられる。

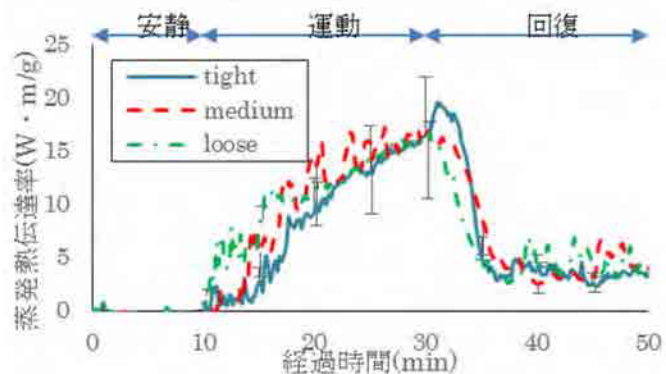


Fig.13 腹部の蒸発熱伝達率

3.2.5 耳孔内温度

運動開始後から徐々に上昇する。運動開始後5分間は温度が下降する。し運動後も急激に上昇し約35分にピークをむかえ徐々に下降するが、実験終了時の温度は実験開始時の温度より高い。T条件は他の2条件よりも運動時の上昇度が小さくピーク時の温度、および回復期の温度も他の2条件と比べて低値を保った。しかし、有意差はみられなかった (Fig.14)。

3.2.6 直腸温

運動開始により上昇していくが、上昇を始める時間はウェアごとに異なり、T、L、M条件の順番で早い。また、運動終了後約5分で直腸温のピークをむかえ、ピーク時の温度はM着用時ではT、L着用時よりも低値を示した。しかし、直腸温の相対値に有意差は認められなかった (Fig.15)。直腸温と耳孔内温の挙動が異なることは今後の熱中症予防指標としてどうとらえるべきか、検討課題である。

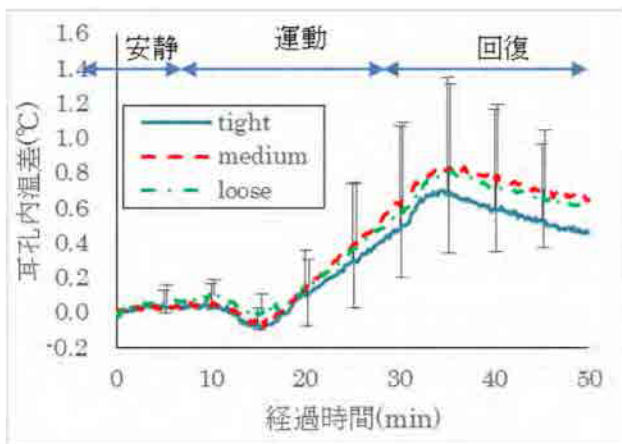


Fig.14 耳孔内温度の推移

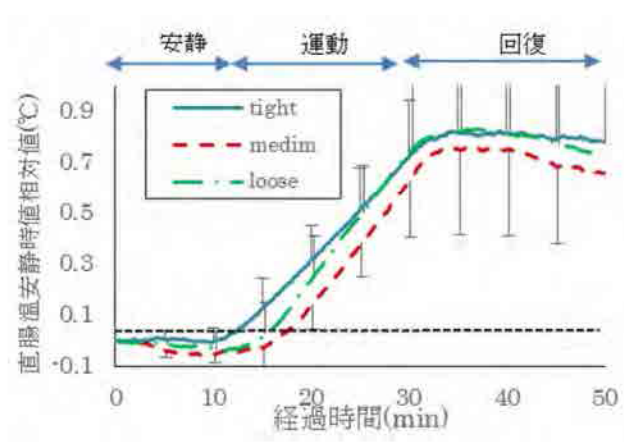


Fig.15 直腸温 (安静時値相対値) の推移

3.2.7 心拍数

運動開始と同時に急激に上昇し3条件とも心拍数140まで上昇した後運動終了時まで緩やかに上昇した。運動中、M、L着用時の心拍数はほぼ同値を示すがT着用時はより高値を示した。運動終了とともに心拍数は急激に減り、回復期約1分後以降は緩やかに減少した。回復期はM着用時ではT、L着用時と比較して低値を示した。実験終了時には、実験開始時の心拍数までは下らない。実験開始時5分後、45分後に有意傾向、40分後には有意差が認められ、Mが有意に低い傾向だった (Fig.16)。

3.2.8 代謝

3条件とも同様の推移を示した。運動開始1分間は代謝が急激に上昇しその後、高原状に運動終了時までには緩やかに上昇した。運動終了後代謝は急激に下降し、約1分で安静時の代謝まで下降した後実験終了まで安定する。ゆとり量による差は認められなかった (Fig.17)。

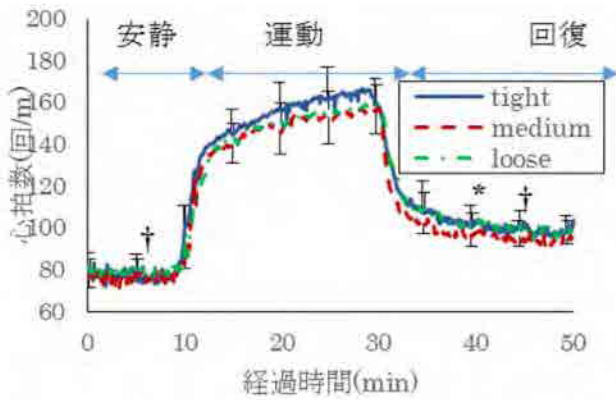


Fig.16 心拍の推移 (* : $p < 0.05$ † : < 0.10)

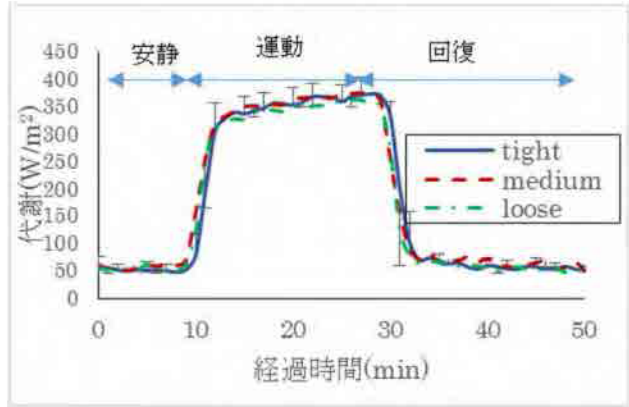


Fig.17 代謝量の推移

3.2.9 主観申告

べとつき感は運動開始時から増していき、30~35分の間でピークに達し、ピークを過ぎると回復に向かった。Tは他の2条件と比べてピークの値が低値を示し、35~40分の間をみると、Tは他の2条件と比べて急速に回復に向かった。しかし、有意差はみられなかった (Fig.18)。蒸れ感は運動開始時より上昇し、25~35分の間でピークに到達し、その後回復に向かうが、実験開始時の蒸れ感までは下がらない。M着用時には他の2条件よりも蒸れを感じ始める時間が早く蒸れ感はMとT着用時には運動終了時に最も高値を示す。L着用時には実験終了時の前と後に蒸れ感のピークが2山みられる。被験者によりピークとなるタイミングが異なるためと考えられる。しかし、いずれの場合もウェアによる有意差は認められなかった (Fig.19)。

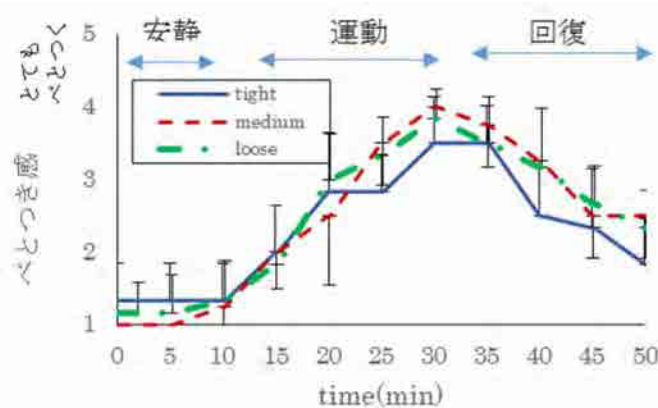


Fig.18 ゆとり量がべとつき感におよぼす効果

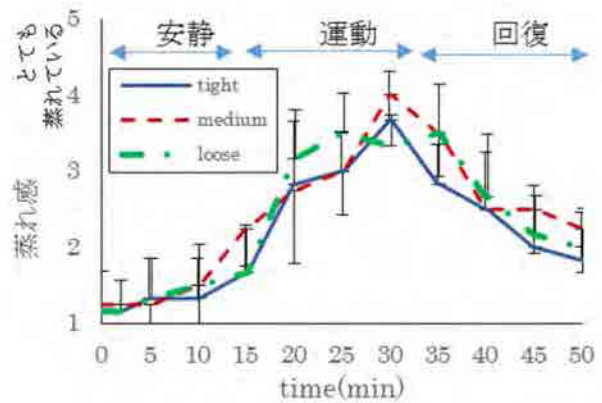


Fig.19 ゆとり量が蒸れ感におよぼす効果

4. まとめと今後の課題

同一素材で3種類のゆとり量の違うCGsウェアを試作し、ゆとり量の違いがどのような原因で温熱的快適性に影響を及ぼすのか、被験者実験を通して明らかにすることを目的として実験を行った。

その結果、運動時にはL着衣時に蒸発熱伝達率、熱通過率が大きくなり、衣服内温度が下がった。衣服にゆとりがあるため、衣服が動作時に揺動する“はためき”による(ふいご作用)強制対流が生じたことが要因であると考えられる。一方、運動後期においては、タイト着用時に熱通過率の上昇が生じ、回復期においては、T着用時に衣服内温度の低下が生じた。この原因は身体にぴったりとフィットしたことで、熱伝導が起きやすくなること、加えて運動中にかけた汗が熱伝達率を上げたことで、乾性放熱が有効的におこなわれたこと、濡れ広がりによる蒸発放熱、これらにより有効的に放熱が行われたためと思われる。なお、本研究は横浜国立大学教育人間科学部の2014年度の卒業論文[4]として望月氏がまとめた内容をベースにまとめた。MICTの重点プロジェクトの年報に一部報告した[5]。

<謝辞>

本研究は科学研究費補助金一般研究A(23240099),平成23-26年および本学のMICTの重点プロジェクトの助成により実施した。お礼申し上げます。実験用CGSウェアを提供していただきました共同研究のミズノ株式会社の川端洋明様、被験者としてご協力してくださいました横浜国立大学野球部および岡山県立大学の皆様に心から感謝申し上げます。

【引用・参考文献】

- (1) 田中英登, 薩本弥生, 野球選手の着衣条件から見た熱中症予防に関する研究 (アンダーシャツ素材を中心に), デサントスポーツ科学 Vol.26, 181-189 (2005)
- (2) L.A. Houghton, B. Dawson, S.K. Maloney, Effects of wearing compression garments on thermoregulation during simulated team sport activity in temperate environmental conditions, Journal of Science and Medicine in Sport, Vol.12 303-309 (2009)
- (3) 日本機械学会蒸気表: (社) 日本機械学会 (編), (1992)
- (4) 望月雄翔, 運動時の着心地にコンプレッションインナーのフィット性が及ぼす効果, 2014年度卒論
- (5) 薩本弥生, 杉本千佳, 田中英登, 小泉淳一, 人間生活環境の温熱的快適性評価によるQOL向上のためのウェアラブルシステム開発に関わる研究プロジェクト(2014)

2-1-1-4 人工気候室での陸上競技用Tシャツのデザインの工夫による換気増進効果の検討

中田いずみ*, 薩本弥生**, 島崎康弘***, 杉本 千佳**

*元横浜国立大学大学院 **横浜国立大学 ***岡山県立大学

Izumi Nakada*, Yayoi Satsumoto**, Yasuhiro Shimazaki*** and Chika Sugimoto**

*Former graduate school of Yokohama National University, **Yokohama National University,

***Okayama Prefectural University

要 旨

背部にコインを入れふいご作用の増幅をねらったスポーツウェアが暑熱環境下での熱中症予防に効果があるか検討するため、20°C、65%rhの人工気候室での10km/hrでのトレッドミル走行中の着衣の揺れをコインの有無で動作解析により比較した。さらに、走行中の換気量および熱通過率をトレーサガス法による換気実験と胸部と背部の放熱量と皮膚温の計測によりコインの有無で比較した。走行中のウェアの揺れは、コインを背部に入れると、コインを入れない時に比べて、ウェアの揺れが増幅していることが確認された。換気および背中下部の熱通過率もコインを入れることで増加した。このことから、コインを入れることで、ふいご作用の増幅による放熱の促進に貢献することが明らかとなった。

1. 緒 言

近年、夏季を中心に、熱中症による死亡が毎年多数、報告され、地球温暖化やヒートアイランド現象の影響もあり、日本の夏の気温は上昇傾向を示しており¹⁾、夏季を中心に熱中症が毎年多数報告されている。平成25年夏期(6月~9月)の全国における熱中症による救急搬送人員は昨年に比べ約1.3倍増加し、平成22年6月からの調査開始以降、これまで最多であった平成22年を上回る搬送人員数となった^{2),3),4),5)}。また、暑熱馴化が起きていない春先には、比較的温暖な温度域で熱中症を発症する事例もある。

暑熱環境に長時間暴露されると脱水症状となり体温が上昇し、中枢神経障害による熱中症が生じやすくなる。特に屋外で太陽などの輻射の強いところでは、その輻射熱を人体が直接受けるため暑熱ストレスとして輻射の影響が大きい。一方、屋内でも暑熱環境で湿度が高いと汗をかけた場合に水分移動が阻害されることで熱中症になり、死亡する場合もある。特に暑熱順化していない人、持久力のない人、肥満傾向の人は、体温調節能力(発汗反応および皮膚血管拡張反応)が一般の成人よりも低いため、機能不全になり死亡事故につながりやすく、危険であり、対策が必要である。

熱中症を予防するには暑さを避け、こまめに水分を補給し、急に暑くなる日には注意することなどが必要であるが、体育の授業や部活動等、実際の教育活動の現場では、厳しい暑熱環境下であってもスポーツが行われている現状がある。

暑熱環境下の温熱的快適性には環境要因、人体要因のほか、着衣の熱水分移動特性が重要な役割を果たし、衣服は身体からの放熱量、外部からの

輻射熱、水分蒸発の3つの観点から人体周りの熱収支の調節ができるものとしてその役割は大きい。特に、暑熱環境下では環境と皮膚温との温度差が小さく、発汗が重要な放熱の手段となるため、汗の蒸発による蒸発放熱を促進するような衣服が望まれる。そのため、着衣の温熱的快適性には衣服の熱水分移動性能、特に蒸発放熱が重要であり、暑熱環境時の熱中症予防のために、暑熱時に温熱的に不快感を減らすための条件として着衣素材の種類のみでなく着衣のデザインや、人の動作、環境の風速などを工夫する必要がある。

このように、熱中症という病的状態に移行しないためにも、熱中症予備軍の病的状態移行の把握と、その改善と予防が急務であり、屋外競技で陸上競技用のTシャツであっても、比較的被覆面積が小さく軽装で他のスポーツと比較して不快感は小さいが、このようなウェアであっても過酷な暑熱環境では、熱中症が生じる危険性がある。しかし、すでに素材や被覆面積を減らすデザインの工夫による改良には限界がある。そこで、熱中症対策として有効なデザインの工夫として、ふいご作用が生じやすいように工夫されたものを共同研究のM社が開発した。

本研究では、このウェアのふいご作用増進効果が暑熱環境下における運動として陸上競技場でのランニング時に熱中症予防に有効であるのか、コインの有無により熱水分移動性およびトレーサガス法による換気量、人体生理に与える影響を比較することで検証することを目的とする。

2. 研究方法

2-1 実験方法

コインの有無による効果を比較するため、①動作解析実験、②人工気象室における換気実験を行った。本実験で検討する着衣について Fig.1 に示す。



Fig1 ふいごTシャツを着用した様子

ウェアの背部のウエストの高さにコインが入るポケットが設置されており、このコインにより動作時のウェアの揺動が増幅され、ふいご作用がより起きやすくなり、放熱効果が高くなるとうたわれている。KES による材料物性実験により計測した着衣試料の諸元について Table1 に示す。

Table1 実験着の諸元

測定項目	T-shirt	CGS
厚さ d (mm)	0.40	0.47
熱伝導率 λ (W/m/K)	0.04	0.06
熱抵抗値 d/λ (K · m ² /W)	0.010	0.008
通気抵抗 (kPa · s /m)	0.01	0.01
接触冷温感(W/cm ²)	0.10	0.15

2-2 実験手順

2-2-1 動作解析実験

動作解析ソフト (キッセイコムテック株, 型式: KC-1HICam-Sys) を用いて、コインを入れる位置に動作解析用のポイントマーカをつけ、トレッドミルによる走行(10km/h)を約 30 秒間行い、コイン有・無の 2 条件で、各々マーカの軌跡を 3 次元で計測する。被験者は 1 名である。走行位置による誤差が生じない垂直方向の揺れをみる z 軸を取り上げ、z 軸の 30 秒の周期的な軌跡を周期を合わせて平均化したものを比較検討する。

2-2-2 人工気象室における換気実験

被験者は横浜国立大学学生 9 名のうち 4 名が体育会陸上部男子部員で年齢 21.3±0.8 (歳)、身長

177.0±5.5 (cm)、体重 60.0±3.7 (kg)、BMI19.0±1.4、体表面積 1.74±0.07 (cm²) である。本実験は、2013 年 5 月上旬から 6 月下旬にかけて、本学の人工気候室で温度 20°C、湿度 65%RH に設定してトレーサガス法を用いて行った。被験者は実験開始約 30 分前に実験室に来室、人工気候室に入室した。上半身裸体にガスを通すチューブ (前面躯体部、背面躯体部に Inlet・Outlet 各々チューブを 8 本ずつ) を装着した後、Tシャツを着用し、トレーサガスとして炭酸ガスを流し (流量は一定になるように制御されている)、実験を開始した。実験は、トレッドミルによる走行 (10km/h) を 10 分間行い、Inlet/Outlet の CO₂ 濃度を各 5 分ずつ測定をし、走行終了後、座位にて安静を 5 分間とり、その間に Background の測定をした。その後、大型換気扇風機 (プロモート株式会社, 型式: SDV-200) を使用して、実験によって高くなった人工気候室内の二酸化炭素濃度を下げ繰り返し実験を行った。なお、実験で得られた数値は式 (1) によって換気速度 (Ventilation rate: VENT と略す) を算出した。

$$VENT = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{out} - C_e} V_{in} \dots \dots (1)$$

ここで VENT: 換気速度(l/min), C_{in}: inlet 着衣に入れる炭酸ガス濃度(ppm), C_{out}: outlet サンプリングチューブに戻る炭酸ガス濃度(ppm), C_e: 環境の炭酸ガス濃度, V_{in}:チューブ内の流量(l/min)

また、温熱的快適性評価のための温熱生理計測の評価項目を厳選し、本実験ではトレーサガス法実験と並行して 5cm×5cm の熱流計センサ (型式:M55A / 江藤電気社製) を 2 箇所 (胸部および背中下部) に貼付し、データロガ (型式: THERMIC MODEL 2300A / 江藤電気社製) で 1 秒毎に連続測定し収録した。各センサの取り付け位置を Fig.2 に示す。

なお、熱流計センサで計測した皮膚温、放熱量お



Fig2 換気実験のセンサの取り付け位置

よび環境温を用い、式(2)より熱通過率熱通過率 h_t を算出した。

$$h_t = \frac{q}{T_s - T_e} \dots \dots \dots (2)$$

ここで h_t :熱通過率(W/m²/°C), q :放熱量(W/m²), T_s :皮膚温(°C), T_e :環境温(°C)

調査にあたり被験者には主旨を十分に説明し、承諾を得た。

2-2-4 データ解析方法

本研究のデータ処理は、被験者実験から得られたデータを平均値化したものを基にした。平均した値は、標準偏差を算出した。統計処理ソフト SPSS Ver.22 を利用し、対応のある平均値の差の検定を行った(有意水準は: $p < 0.10$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ を有意とした)。

3. 結果と考察

3-1. 動作解析実験結果

着衣の走行動作時のコイン位置の移動軌跡を拡大してFig.3に示す。コイン有の方が垂直方向の揺れの振幅が大きいことがわかる。そこでマーカの軌跡の周期的なZ軸方向(垂直方向)の変位を周期を合わせた移動平均をFig.4に示す。コイン有の方が、コイン無よりも0.1%水準で有意に揺れが増幅しており、これらのことから、コインの重さによって、コインを入れない時に比べて、ウェアの揺れが増幅していることが確認できた。

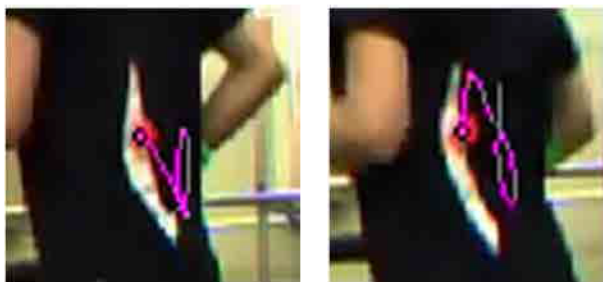


Fig.3 コイン部の移動軌跡

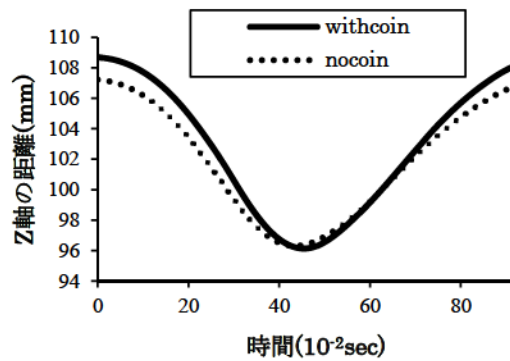


Fig.4 コインによる垂直方向揺動増幅 $p < .001, N=1$

3-2. 換気実験結果

着衣の換気量を表す換気速度の9人の被験者の平均値の結果をFig.5に示す。

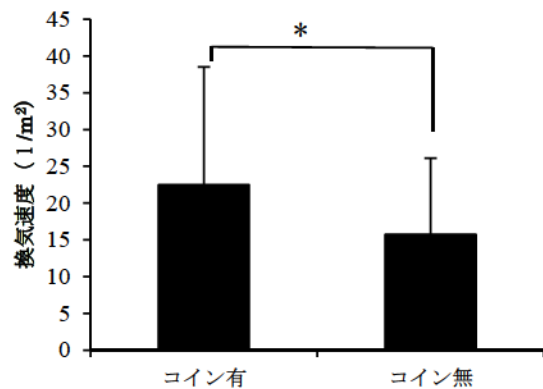


Fig.5 コインによる換気速度増加 * : $p < .05, N=9$

コイン有の方が5%水準で有意に大きな値を示し、コインを入れることにより換気量が増加することが明らかになった。また、熱流を計測した胸と背中下で、胸においてもコイン有の方が大きかったものの、有意差は見られなかった。しかし、背中下において

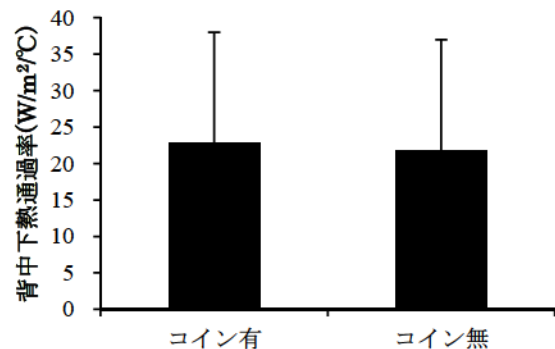


Fig.6 コインによる熱通過率増加 ** : $p < .01, N=9$

1%水準で有意にコインを入れた時の方が熱通過率が増加することが明らかになった (Fig.6) .

4. まとめと今後の課題

暑熱環境下でのコインの有無というデザイン効果の違いによる温熱負荷の違いが人体生理に与える影響を評価し、暑熱環境下における熱中症予防に適したウェアとしてふいごTシャツが妥当であるか検討した。動作解析実験により、コインを入れるとコインを入れない時に比べて、ウェアの揺れが増幅していることが確認できた。換気および熱通過率を計測する人工気候室実験により、コインを入れることで、コインを入れない時よりも、換気速度、熱通過率ともに増加し、コインによるふいご効果の増幅という着衣条件の工夫が換気量および熱通過率の促進に貢献することが明らかとなった。このことから、コインを入れることで、ふいご作用の増幅による放熱の促進に貢献することが明らかとなった。

謝 辞

本研究は文部科学省科学研究費 (A) No. 23240099 (2011-2014) および横浜国立大学未来情報通信医療社会基盤センターの助成を受けて実施した。ここに

記して感謝の意を示す。

KES 材料物性の測定にご協力いただいた神奈川県産業技術センターの加藤三貴様に感謝申し上げます。実験着衣の選定に関してお世話になったミズノ(株)の川端様に感謝する。また、被験者として実験にご協力頂いた横浜国立大学体育会陸上競技部および硬式野球部の部員の皆様、同大学学生の皆様に心よりお礼申し上げます。

参考・引用文献

- 1) 井幕知伸,堀越哲美;日本における夏季の体感気候の経年変化と分布に関する研究 - 予測至適着衣量を用いた涼しい夏の表現 -, 人間と生活環境,20(1),13-27,(2013)
- 2) 総務省消防庁;平成 24 年夏期 (6 月~9 月) の熱中症による救急搬送の状況,(2012)
- 3) 総務省消防庁;平成 25 年夏期 (6 月~9 月) の熱中症による救急搬送の状況,(2013)
- 4) 総務省消防庁;平成 24 年都道府県別熱中症傷病者搬送人員数,(2012)
- 5) 総務省消防庁;平成 25 年都道府県別熱中症傷病者搬送人員数,(2013)

2-1-1-5 アウトドア用パーカ前部に設置した換気口が温熱的快適性におよぼす効果

青柳卓也¹⁾, 薩本弥生²⁾

¹⁾横浜国立大学大学院, ²⁾横浜国立大学

Effect of installed ventilation hole in front of outdoor parka on its thermal comfort

Takuya Aoyagi¹⁾, Yayoi Satsumoto²⁾

¹⁾ Graduate school of Yokohama National University, ²⁾ Yokohama National University

Abstract: This study aims to clarify the effects of the ventilation hole installed outdoor parka's front on its ventilation rate, heat and moisture transfer and subjective assessment. Two patterns of the ventilation condition of the outdoor parka, one is open, the other is closed, are compared each other. We conducted two subjective experiments, one in which the ventilation rate was investigated by using tracer gas method, and the other physiological data, heat flux, skin temperature and sweat rate, were measured to evaluate the heat transfer and evaporative transfer coefficient by using the thermal load test. For both experiments, subjects walk on treadmill at 6km/h. The values of ventilation rate, heat transfer coefficient, evaporative transfer coefficient, subjective assessments of thermal comfort and the ratio of ventilation rate compared to needed ventilation rate of open condition are superior to those of closed condition. Significant differences in those values between open and closed are recognized. The value of open ventilation rate is 1.6 times as high as closed one. The ratio of measured ventilation rate compared to needed ventilation rate indicate 35% at open and 20% at closed. When the ventilation was open, subject's thermal comfort was promoted compare with closed.

Key words: thermal comfort, ventilation rate, needed ventilation rate, heat transfer coefficient, evaporative transfer coefficient

要旨: 本研究ではアウトドア用パーカ前部に配置した換気口が換気速度、熱水分移動性、被験者の主観へおよぼす効果を検証することが目的である。アウトドア用パーカ前部に配置した換気口の開口・閉鎖の2条件でトレーサガス法による換気計測実験と、トレッドミル歩行による温熱負荷の被験者実験を行った。また必要換気速度を算出し、実測した換気速度との比から開口効果の検証を行った。換気速度は開口時に1.6倍向上し、温熱負荷実験では熱通過率、蒸発熱伝達率が開口歩行時に閉鎖条件を上回り、主観申告調査でも開口時の方が快適という結果が得られ、必要換気速度と実測の換気速度から算出した割合でも開口時約35%、閉鎖時約20%と開口時に向上し、いずれも有意差が認められた。

キーワード: 温熱的快適性, 換気速度, 必要換気速度, 熱通過率, 蒸発熱伝達率

1. はじめに

着衣の温熱的快適性のためには着衣の熱水分移動特性が重要な役割を果たす。熱水分移動性には素材特性と着衣の構成要因が複合的に影響する。着衣の構成要因として換気口の開口条件等が影響を与える。アウトドア用のパーカでは、人体からの不感蒸散や発汗などの水分を衣服外に放出するとともに外部からの雨を防ぐ必要がある。最近では透湿防水布が用いられるため、快適性は顕著に向上したが、運動が長期で大量な発汗が生じた場合は、透湿性だけでは賄いきれない。青柳ら(2014)[1]は素材に透湿防水布を用い背部に換気口を配置した着衣の被験者実験で素材の有用性と限界を示し、デザイン効果の可能性を示した。透湿防水布の効果は発汗が多量でない状況で効果を示すが、運動が進み多量の発汗を伴ったとき、十分な効果が発揮されない。しかし換気口を開口することで熱通過率、蒸発熱伝達率は向上した。

換気口や透湿性の効果を検討した研究として Ruckman ら

(1998)[2]は換気口を設け改良したジャケット着用時のトレッドミル実験を行い、運動中は平均皮膚温に差がみられ、換気口によるふいご効果がみられることを明らかにした。しかし、この論文では換気速度を実測するのではなく、平均皮膚温や総発汗量で換気速度を推測するに留まっていた。手足の揺動による着衣のふいご作用による換気は、人体からの熱水分移動性を促進させるため、着衣の温熱快適性向上に重要であるが、現状では、上記の論文の例のように多くの論文では換気速度そのものを定量的に計測して評価を行っていない。

換気速度を定量的に測定するトレーサガス法は Crockford ら(1972)[3]により衣服の換気測定として導入された。今日まで、被服の換気速度の計測の研究が若干行われている。しかし、いずれもサーマルマネキンを用いたモデル実験が多数を占め、被験者を対象とした研究に関しては、筆者は見つけることができなかった。マネキンを用いた実験で得られた結果は再現性が高いという利点はあるが、実際に被服を着用す

るのは人間であり、定量的に換気速度の計測を行い、放熱量や発汗量、被験者の主観などの生理データを合わせて検証することが必要と考える。換気口の配置について、上田 (2004) [4]の背部や Ruckman ら(1998)[2]の腋下部のように設置して検証を行った研究は見受けられるが、前部に配置し検証を行った研究は見受けられない。

そこで、本研究ではアウトドア用パーカ前部に配置した換気口の開口・閉鎖の2条件でトレーサガス法による換気計測実験と、トレッドミル歩行による温熱負荷の被験者実験を実施し、換気口の開口効果を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2.1 アウトドア用パーカの素材と換気口の開口条件

着衣に換気口を設けそのデザイン効果を検証する際、これまでの研究では換気口を背部に設置するケースが多く、前部に注目した研究は数少ない。そこで、本研究では、胸部周辺の左右に換気口を配置した。素材は通気性のないポリウレタン性のもを使用した。用意したパーカの換気口を開けた状態(open)と閉めた状態(closed)の2条件(Fig.1に示す)にて被験者実験を実施した。



Fig.1 The position of ventilation hole

2.2 トレーサガス法

トレーサガス法(定常法)を用いてアウトドア用パーカの換気性能を評価した。システムの概念図をFig.2に示す。

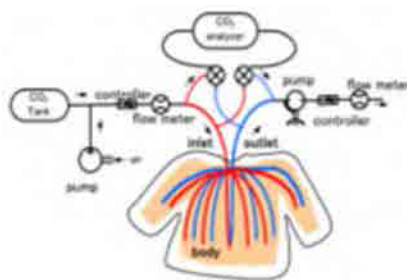


Fig.2 Schematic diagram of tracer gas system.

トレーサガスとして炭酸ガス(99.95%の純度)を用い、マスフローコントローラー兼流量計(山武株式会社製、型式:MQV)により外気とミックスしたガスを一定炭酸ガス濃度でアウトドア用パーカ内に導入する。アウトドア用パーカ内で均等に導入されるようにInletチューブは4つに分岐させ、一定の流量(0.5mL/min)で流し、それと同様の流量で同じように分岐させ均等に配置したoutletチューブでサンプリングし、アウトドア用パーカ内と環境の炭酸ガス(CO₂)濃度を計測し換気速度

を計測した。導入・排出経路各々分割した4つのチューブは被験者の前身頃部2箇所、後身頃部2箇所である。サージカルテープで身体に留めつけた。アウトドア用パーカ内に挿入する部分のチューブはできる限り着衣内空隙を乱さないように均等分布させるためチューブの径は外径2.0mm、内径1.0mmの硬質チューブを用いた。また、出口から10mm間隔で先端から500mmまで片側50か所の貫通する直径0.5mmの孔をチューブにドリルで開けてアウトドア用パーカ内でさらに均等に炭酸ガスが分布するように工夫した。トレーサガス法(定常法)ではトレーサガスをチューブで着衣したアウトドア用パーカ内の衣服内空間に分岐させたInletチューブで均等に分布するように一定の流量で流し、それと同様の流速で同じように分岐させ均等に配置したoutletチューブでサンプリングし、各々の位置と環境の炭酸ガス(CO₂)濃度を計測し換気速度を計測する。換気の指標であるventilation rate (VENT)はequation (1)で算出される。

$$VENT = V \frac{CO_{2in} - CO_{2out}}{CO_{2out} - CO_{2e}} \dots \dots (1)$$

ここで、VENT: 換気速度 (L/min), CO_{2in}: inletに流入するCO₂の濃度(ppm), CO_{2out}: outletに流出するCO₂の濃度(ppm), CO_{2e}: 環境のCO₂濃度(ppm), V: inletとoutletの流量(L/min).

2.3 被験者

被験者の諸元をTable.1に示す。

Table.1 Characteristics of subjects

subject	age	height	weight	BMI
A	19	1.83	66	19.71
B	23	1.73	56	18.71
C	19	1.65	60	22.04
D	21	1.72	64	21.63
E	23	1.75	66	21.55
F	24	1.68	53	18.78
G	23	1.85	61	17.82
average	21.7±2.1	1.74±0.07	60.9±5	20.0±1.7

換気計測実験に参加した被験者はDを除いた6名、温熱負荷実験に参加した被験者は7名である。身長、体重とも日本人の平均を大きく外れず、BMIもやや痩せ型のGを除き標準体型の被験者であることがわかる。

2.4 実験手順

両実験とも横浜国立大学IAS棟内の人工気候室内で25℃、50%RHに設定し実施した。トレーサガス法による換気計測実験と温熱負荷実験の実験手順をそれぞれ以下に示す。

2.4.1 換気計測実験

被験者は人工気候室内に入室後、身体にチューブを貼付され、Tシャツ(綿100%)を着用、その上から実験着を重ね着し、トレッドミルで10分間6km/hの早足歩行を行ったのち5分の座位安静をとった。その間にinlet, outlet, environmentのCO₂濃度の計測を5分間ずつ行った。openとclosedをそれぞれ3回繰り返し、計6回繰り返し実験を行った。

2.4.1 温熱負荷実験

人工気候室内のトレッドミル上で早足歩行を行わせた。計測項目は皮膚温7点(前額・手甲・前腕・腹部・大腿・下腿・足甲)、直腸温、衣服内湿度3点(胸部・上背部・下背部)、放熱量6点(胸部・脇・上腹部・下腹部・上背部・中背部)、心拍、代謝量、発汗量2点(腹部・背部)、実験前後の重量変化を計測し、実験中被験者の主観の聞き取り調査(5項目:快適感・温冷感・湿潤感・べとつき感・蒸れ感)を行った。被験者は人工気候室内に入室後、トレッドミル上で各種センサを貼付され、Tシャツ(綿100%)を着用し、その上からパーカを重ね着した。その後、スポーツドリンクを200ml摂取し、実験を開始した。計測時間は計50分間で、10分間トレッドミル上で座位安静(rest)を取った後、20分間6km/hの早足歩行(walk)を行い、再びトレッドミル上で20分間の座位安静(recovery)をとる。実験開始0分時から終了の50分時まで5分毎に計11回被験者の主観の聞き取りを行った。人体のホメオスタシスを考慮し、被験者は2条件を同じ時間帯、異なる日に実験を実施した。

2.5 算出方法

換気速度は換気計測実験で得られたCO₂濃度を equation(1) に与え算出される。

熱通過率は equation(2) で算出される。

$$h_t = \frac{q_d}{T_s - T_e} \dots \dots \dots (2)$$

ここで h_t : 熱通過率(W/m²/°C)、 q_d : 放熱量(W/m²)、 T_s : 皮膚温(°C)、 T_e : 環境温(°C)

蒸発熱伝達率は equation(3) で算出される。

$$h_w = \frac{q_w}{C_{sk} - C_e} \dots \dots \dots (3)$$

ここで h_w : 蒸発熱伝達率(W・m/g)、 q_w : 蒸発放熱量(W/m²)、 C_{sk} : 衣服内絶対湿度(g/m³)、 C_e : 環境の絶対湿度(g/m³)

必要換気速度は equation(4) で算出される。

$$V_n = \frac{S_o}{C_{sk} - C_e} \dots \dots \dots (4)$$

ここで V_n : 必要換気速度(L/min)、 S_o : 総発汗量(g)

必要換気速度と実測値の割合は equation(5) で算出される。

$$V_r = \frac{VENT}{V_n} \cdot 100 \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 V_r : 必要換気速度と実測値の割合(%)

換気速度や熱通過率など、条件ごとに有意差が認められるか、SPSSVer.22を用い、平均値の差の検定を行い解析した。

3. 結果

様々な項目を計測したが紙面の都合上、差が見られた項目について抜粋し結果を示す。

3.1.1 換気口が換気速度におよぼす効果

換気計測実験で得られたCO₂濃度を equation (1)に与え、換気速度を算出し比較した結果を Fig.3 に示す。

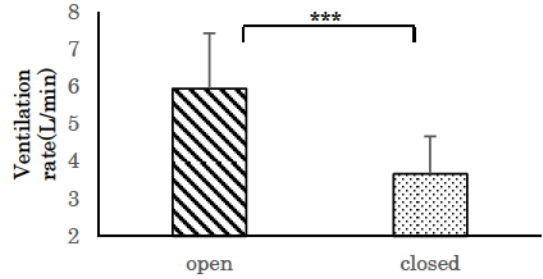


Fig.3 Effect of ventilating opening on ventilation rate (***: $p < 0.001$)

Closed 時約 3.6L/min、open 時約 5.8L/min となり、open 時で 1.6 倍換気速度が向上し、有意差が認められた。

3.2.1 換気口が熱通過率におよぼす効果

換気口が熱通過率におよぼす効果について、運動開始 10 分時から実験終了の 50 分時までの平均熱通過率の推移を Fig.4 に、差のみられた部位の 15 分時における比較を Fig.5 に示す。

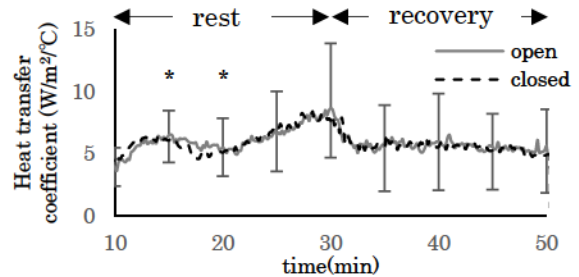


Fig.4 Effect of ventilation opening on overall heat transfer coefficient (*: $p < 0.05$)

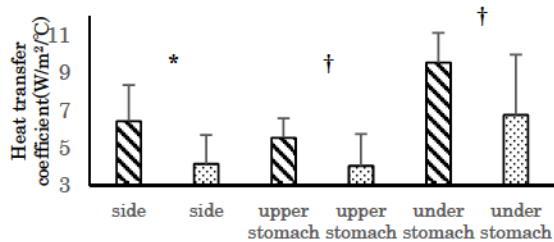


Fig.5 Effect of ventilation opening on heat transfer coefficient of side, upper stomach, and under stomach at 15min (*: $p < 0.05$ †: $p < 0.1$)

Fig.4 より、両条件とも熱通過率は運動時に緩やかに上昇し、運動終了とともに下降、回復時にはほぼ横ばいの推移をすることがわかる。そして運動時に open の熱通過率が closed を上回り、15 分時、20 分時に有意差が認められた。

Fig.6 より、部位ごとに見てみると、換気口付近の脇では有意差が認められ、上下腹部に傾向がみられた。他の部位ではみられず、3 部位とも前面であった。

3.2.2 換気口が蒸発熱伝達率におよぼす効果

換気口が蒸発熱伝達率におよぼす効果について、値が比較的安定し始めた 15 分時から運動終了の 30 分時までの結果を Fig.6 に示す。Fig.6 より、両条件とも値の変動はあるものの、運動中に値が上昇している。また、運動中は安定的に open の蒸発熱伝達率が closed を上回っていることが見てとれ、運動時には有意差が認められた。

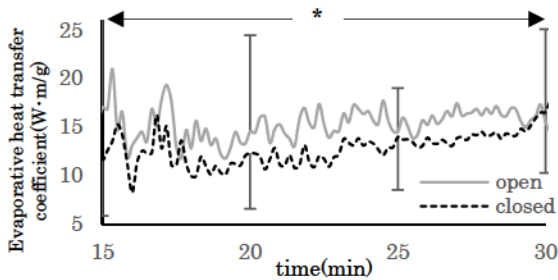


Fig.6 Effect of ventilating opening on evaporative heat transfer coefficient in walk ($p<0.05$)

3.2.3 主観申告

実験開始から5分毎に聞き取りを行った主観申告について、快適感の項目について比較を行った結果を Fig.7 に示す。

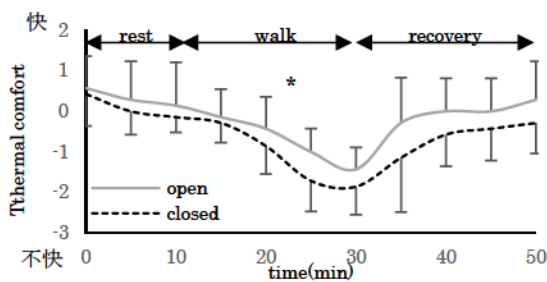


Fig.7 Effect of ventilation opening for subject's sense of comfort ($p<0.05$)

Fig.7 は値が正値で大きいほど快適で負値が大きいほど不快を示している。どちらの条件も同じように推移し、運動が進むほど不快に感じ、運動終了してから回復していることが見てとれる。また実験全体を通して、open が closed の値を上回り、25 分時には有意差が認められた。

3.2.4 必要換気速度と実測の換気速度における割合

equation(4)で算出された必要換気速度の比較を Fig.8 に、equation(5)で算出された割合の比較を Fig.9 に示す。

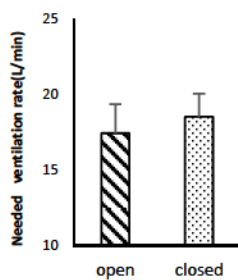


Fig.8 Effect of ventilation opening for the needed ventilation rate

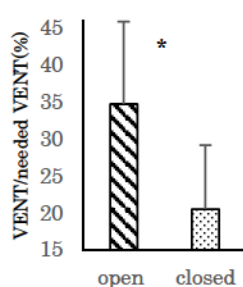


Fig.9 Effect of ventilation opening for the rate ventilation rate to the needed ventilation rate ($p<0.05$)

Fig.8 より、必要換気速度は closed の方が多いことがわかる。Fig.9 より、必要換気速度と実測値の割合は open が closed を上回り、open では約 35%、closed では約 20%必要換気速度を満たすという結果となり、2 条件間で有意差が認められた。

4. 考察

本研究では、アウトドア用パーカ前部に配置した換気口の

温熱的快適性に効与える影響を検証するため2種類の被験者実験を実施し、換気速度や熱通過率、蒸発熱伝達率から評価を行った。換気口を開き、歩行を行うことで熱通過率や蒸発熱伝達率が向上し、その効果を発揮した。このことは歩行を行い強制対流が生じる際に、換気口があることで対流放熱を向上させ、被服内環境の換気を促していることを示唆している。また、被験者の熱的快適性に関する聞き取り調査でも open の方が快適域に近い数値を示し歩行中には有意差が認められていたことから、人にも知覚できる効果があると言える。実測した換気速度と被験者の発汗量と絶対湿度から算出される必要換気速度の割合では、open では35%、closed では20%程度と、換気口を開くことが効果的である。

快適性は向上したが、割合では必要換気速度を十分満たしているとは言えず、熱通過率に関しても部分的に見ると換気口付近の脇をはじめ上腹部、下腹部にのみ有意差やその傾向が認められず、背部にまで影響を及ぼすことはなかった。今回は人工気候室内の静穏気流下で実験を行った。今後は有風下での検証や換気口を背部にも設置し前後の換気口効果を複合的に検証し、より快適な条件を探ることが課題である。

5. まとめ

本研究ではパーカ前部に配置した換気口の効果を明らかにするため、換気口の開口・閉鎖の2条件でトレーサガス法による換気計測実験と、トレッドミル歩行による温熱負荷の被験者実験を実施し検証を行った。以下に結論をまとめる。

- ① 換気速度は開口時に1.6倍向上した。
- ② 開口・歩行時に熱通過率・蒸発熱伝達率・主観申告が閉鎖条件と比較し高値を示し、有意差が認められた。
- ③ 換気速度は開口時に必要換気速度の35%、閉鎖時に20%となる。

謝辞

実験用パーカを試作いただいたミズノ株式会社川端洋明氏に感謝する。本研究は文部科学省科学研究費(A) No. 23240099 (2011-2014)の助成を受け実施した。ここに記して謝意を示す。

文献

- [1] 青柳卓也, 薩本弥生, 2014. アウトドア用パーカのデザイン・素材特性が温熱的快適性におよぼす効果. 繊維学会予稿集
- [2] J.E. Ruckman and R. Murray, 1998. Engineering of clothing systems for improved thermophysiological comfort The effect of openings. International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 11
- [3] Crockford, G.W., M. Growder, and S.P. Prestidge, S.P. 1972. A tracer gas technique for measuring clothing microclimate air exchange rates. Brit. J. Indust. Med. 29, 378-386
- [4] 上田博之, 2004. レインウェアの背部ベンチレーションが部位別衣服換気速度に及ぼす影響. 大阪信愛女学院短期大学紀要 第38集

以上の内容を以下の HES39 のシンポジウムで口頭発表した。
39th Symposium on Human-Environment System
HES39 in Odaiba, 20-21 Nov., 2015

2-1-2 歩行マネキンによる評価

2-1-2-1 歩行マネキンによる着衣の熱移動および換気への素材物性やデザインの効果の評価

薩本弥生¹⁾, 劉雨²⁾, 青柳卓也²⁾, 上野哲³⁾

¹⁾横浜国立大学, ²⁾横浜国立大学大学院, ³⁾労働安全衛生総合研究所

Effect of material property and design of clothing on its heat transfer and ventilation rate -Evaluation by using quasi-walking thermal manikin-

Yayoi Satsumoto¹⁾, Liu Yu¹⁾, Takuya Aoyagi¹⁾, Satoru Ueno²⁾

¹⁾Yokohama National University, ²⁾National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

Abstract: This study aims to clarify the effect of material property and the design of clothing on its heat transfer coefficient and ventilation rate by using the walking manikin and the tracer gas method. It also aims to verify the validity of the indirect method to measure heat transfer coefficient from the ventilation rate. Under the wind condition, there were little effect of ventilating opening on heat transfer in both rest conditions and the walking conditions. When walking the ventilating opening was effective for the improvement of heat transfer, but it was not effective at the rest under the calm environment. As for local heat transfer, ventilating effect was significantly seen at the abdomen and the back. It was clarified that the ventilation rate and the heat transfer coefficient had the correlation ($r=0.54$).

Key words: Thermal comfort, ventilation rate, heat transfer coefficient, ventilating opening, outdoor parker

要旨: 歩行による着衣のふいご作用の換気は人体からの熱移動性を促進させるため環境の風の効果以上に着衣の温熱快適性向上に重要であるが、現状ではきちんとした定量法が規定されていない状況である。そこで、本研究では暑熱に効果的な着衣の条件を検討するため、歩行サーマルマネキン、トレーサガス法を用いた実験によりアウトドア用のパーカ着装時の熱通過率や換気速度にパーカの特性、歩行、環境がどのように影響するかを明らかにすることを目的とした。さらに、熱通過率と換気速度評価を同期して行い、両者を比較することで、着衣の熱移動性の評価法として換気速度からの間接的評価法の妥当性を検証することを第2の目的とした。有風時には安静・歩行時とも換気口は放熱に有効でなかった。無風環境で換気口は安静時には熱通過率向上に有効でなかったが、歩行時にはそれは有効であった。部位毎に熱通過率を見てみると開口部付近の腹部と背部で開口による有意差が認められた。換気速度と熱通過率には相関係数 0.54 で相関関係があることが明らかになった。

キーワード: 温熱的快適性, 換気速度, 熱通過率, 換気口, アウトドア用パーカ

1. はじめに

着衣の温熱的快適性のためには着衣の熱水分移動特性が重要な役割を果たす。熱水分移動性には素材特性と着衣の構成要因が複合的に影響する。着衣の構成要因として換気口の開口条件等が影響を与える。アウトドア用のパーカでは、人体からの不感蒸散や発汗などの水分を衣服外に放出するとともに外部からの雨を防ぐ必要がある。最近では透湿防水布が用いられるため、快適性は顕著に向上したが、運動が長期で大量な発汗が生じた場合は、透湿性だけでは賄いきれない。この場合、効果的に汗を放出するためには換気を促す開口部を設けるとよい。

換気口や透湿性の効果を検討した研究として Ruckman ら (1998) は換気口を設け改良したジャケット着用時のトレッドミル実験を行い、運動中は平均皮膚温に差がみられ、換気口によるふいご効果がみられることを明らかにした。しかし、この論文では換気量を実測するのではなく、平均皮膚温や総

発汗量で換気量を推測するに留まっていた。手足の揺動による着衣のふいご作用による換気は、人体からの熱水分移動性を促進させるため、着衣の温熱快適性向上に重要であるが、現状では、上記の論文の例のように多くの論文では換気量そのものを定量的に計測する方法が規定されていない。

換気量を直接計測するトレーサガス法はCrockfordら(1972)によって衣服の換気測定として導入された。Havenithら(2000, 2010)は窒素と炭酸ガスの2つのトレーサガス法で比較実験した。結果、どちらでも換気速度の計測値の精度に遜色がないことを明らかにした。また、Havenithら(2000)はトレーサガス法の過渡法と定常法で比較実験を行い、過渡法は換気速度を算出するためにおむつ内の空気容積の計測が必要であり、トレーサガス法の実験と同時に容積を計測することは困難で別途計測するとしても、計測は高価で時間がかかると指摘している。昨年度著者らは被験者実験でトレーサガス法を用いた結果を報告したが(薩本ら, 2012)、動的な着衣の換

気量や伝熱性能を精度良く評価するためには、被験者実験では人体の運動は個人差、時間変動が生じるため、着衣の周期的な動作を模擬する装置を用いることが重要となる。そこで着衣の熱抵抗、蒸発熱抵抗が直接計測できる発汗歩行マネキンを用いてトレーサガス法の計測システムによる換気計測を同時に行い、換気速度、着衣の熱通過率の関係を明らかにし、それらの物性に着衣のデザインや歩行、環境の風速等がどのように影響するかを評価することを目的とする。

2. 方法

2.1 アウトドア用パーカの素材と換気口の開口条件

アウトドア用パーカの換気口のデザインはこれまでの研究により換気に効果があると考えられる配置になるよう、換気口を前面には胸部と胴部、背面には全面と同様の高さの背中と腰部に設置してあるものを帝人株式会社 に依頼して3段階の透湿性レベルの素材を用いて試作いただいた (Fig.1 参照)。実験に用いた3種のパーカの素材と模擬皮膚の諸元を Table1 に示す。素材はいずれも防水性で通気性はなく、ゴアテック スラミネートタイプの高透湿性布 (High Permeable: HP) と極細繊維高密度織物タイプの中透湿性布 (Middle Permeable: MP) と塩化ビニル製の不透湿布 (Impermeable: IM) である。実験に用いたアウトドア用パーカの透湿性をカップ法ウォータ法 (A-2 法) (JIS-L1096,1990) により計測し、素材の剛軟性をカンチレバー法 (A 法) (JIS-L1096,1990) により計測し、その結果も Table 1 に示す。着衣の換気への換気口の開口条件を検討するため、比較のために各素材の試作パーカの換気口を閉鎖条件では閉じた (Fig.1 下段)。着衣の換気口の条件として、開口 (OP と略す)、閉鎖 (CL と略す) を条件とした。



Fig.1 Variation of outdoor parker used in experiments

2.2 トレーサガス法

Table 1 Characteristics of parker material.

Material	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m/K)	Thermal resistance (K·mm ²)	Air resistance (kPa·s/m)	Vapor resistance (s/m)	Bending resistance (mm)	
						Warp	weft
High permeable	0.170	0.205	3.14	∞	85.72	26.5±0.9	21.0±0.5
Middle permeable	0.270	0.175	5.02	∞	113.7	33.3±1.2	19.5±2.6
Impermeable	0.164	0.349	2.37	∞	∞	32.2±1.3	28.3±1.0
Simulated skin	0.574	0.130	7.90	∞	70.35		

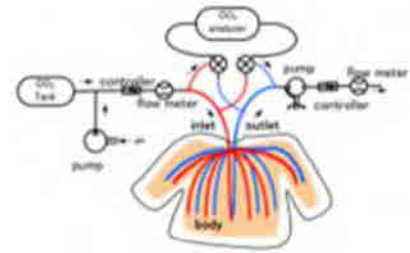


Fig.3 Schematic diagram of tracer gas system.

トレーサガス法 (定常法) を用いてアウトドア用パーカの換気性能を評価した。システム概念図を Fig.3 に示す。

トレーサガスとして炭酸ガス (99.95%の純度) を使い、マスフローコントローラー兼流量計 (山武株式会社製、型式:MQV) により外気とミックスしたガスを一定炭酸ガス濃度でアウトドア用パーカ内に導入する。アウトドア用パーカ内で均等に導入されるように Inlet チューブは8つに分岐させ、一定の流量 (0.5ml/min) で流し、それと同様の流量で同じように分岐させ均等に配置した outlet チューブでサンプリングし、アウトドア用パーカ内と環境の炭酸ガス(CO₂)濃度を計測し換気量を計測した。導入・排出経路各々分割した8つのチューブはマネキンの前身頃部2箇所、腕部4箇所、後身頃部2箇所である。サージカルテープで身体に留めつけた (Fig.4 参照)。



Fig.4 Position of tracer gas tubes

アウトドア用パーカ内に挿入する部分のチューブはできる限り着衣内空隙を乱さないように均等分布させるためチューブの径は外径 2.0mm、内径 1.0mm の硬質チューブを用いた。また、出口から 1cm 間隔で先端から 50cm まで片側 50 か所の孔をチューブにドリルで開けてアウトドア用パーカ内でさらに均等に炭酸ガスが分布するように工夫した。トレーサガス法 (定常法) ではトレーサガスをチューブで着衣したアウトドア用パーカ内の衣服内空間に分岐させた Inlet チューブで均等に分布するように一定の流量で流し、それと同様の流速で同じように分岐させ均等に配置した outlet チューブでサンプリングし、各々の位置と環境の炭酸ガス(CO₂)濃度を計測し換気量を計測する。換気の指標である ventilation rate (VENT) は equation (1) で算出される。

$$VENT = V \frac{CO_{2in} - CO_{2out}}{CO_{2out} - CO_{2e}} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、CO_{2in}: inlet に流入する CO₂ の濃度 (ppm), CO_{2out}: outlet に流出する CO₂ の濃度 (ppm), CO_{2e}: 環境の CO₂ 濃度(ppm), V: inlet と outlet の流量 (l/min).

2.3 歩行サーマルマネキン

マネキンの総体表面積は1.8m²で26分割されており、各々

Height	Bust girth	Waist girth	Hip Girth	Shoulder width	Length of the leg
169	91	75	91	40	72

温度センサと発熱抵抗線が埋め込まれている。制御ソフトでゾーン毎に表面温を±0.1°Cで精密に制御できる。サイズはアジア人男性の平均の体格である (Table 2)。両手・両足に棒をつけ、歩行動作の模倣が可能である。本研究では歩行時には歩行速度1m/s(4km/h) に設定した。

2.4 実験手順

実験は26°C、65%RHの人工気候室で行った。トレーサガス法による換気速度計測と同期してマネキンの皮膚温、放熱量および環境温を計測し、熱通過率を算出した。実験条件は素材の物性の異なる3素材 (HP,MP,IM)、換気口の開口の有無、歩行の有無 (歩行時1m/s)、風速の有無 (有風時1m/s) の24条件とし、3回の繰り返しを行い、全72回の実験を行った。

2.5 解析方法

熱通過率はequation(2)で算出される。

$$h_t = \frac{q}{T_s - T_e} \dots \dots \dots (2)$$

ここでh_t: 熱通過率、T_s:皮膚温、T_e: 環境温、q: 放熱量
熱通過率や換気速度に風速、素材、歩行、開口の4要因が有意に寄与するかをSPSS Ver.20を用い、平均値の差の検定あるいは分散分析で解析した。

3. 結果

3.1.1 換気口が換気速度におよぼす効果

換気口が換気速度におよぼす効果について、Fig.5に示す。有風・安静条件においては、開口の効果はMPだけ有意に開口時に換気速度が増加した。素材の違いとして閉鎖時のHPとMP、HPとIMで有意に素材により差があり、HPの換気速度が有意に大きかった。他の条件においてほぼ開口時が閉鎖時の換気速度を上回っていた。他の条件における素材の効果

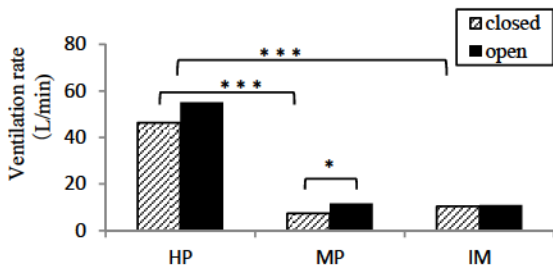


Fig.5 Effect of ventilating opening on ventilation rate in rest at 1m/s wind environment (*: p<0.05, ***:p<0.001)

に関してはHPの換気速度が有意に増加する結果となった。

3.1.2 歩行が換気速度におよぼす効果

歩行が換気速度におよぼす効果について素材別、無風・閉鎖条件における結果をFig.6に示す

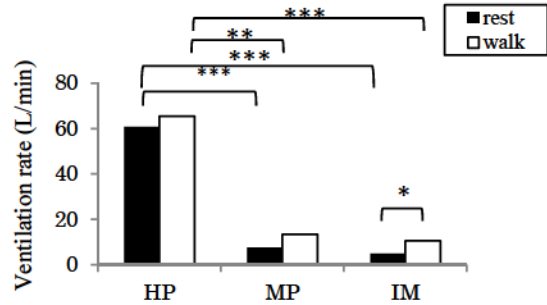


Fig.6 Effect of walking on ventilation rate at calm environment when the ventilating opening was closed (*: p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

無風・閉鎖条件では、歩行の効果はIMで有意に歩行で換気速度が増加していた。素材の違いとして、安静時と歩行時のHPとMP、HPとIM、歩行時のMPとIMで有意差がみとめられ、HP、MP、IMの順で換気速度が増大している。他の条件においても同様の傾向が見られた。

3.2.1 換気口が総熱通過率におよぼす効果

換気口が総熱通過率におよぼす効果について Fig.7に示す。

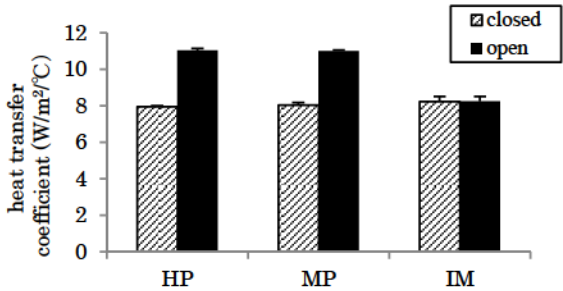


Fig.7 Effect of ventilating opening on over all heat transfer coefficient in walking at calm environment

有風条件においては、安静条件、歩行条件ともに開口と閉鎖条件においてほとんど差がなく開口の効果はみられなかった。無風条件においては安静時には差がほとんどみられなかったものの歩行時において熱通過率の増幅傾向がみられたが、有意差は認められなかった。

3.3.1 部位別にみた換気口が熱通過率におよぼす効果

アウトドア用パーカの熱通過率に開口部開口条件がおよぼす効果に関する部位別の熱通過率の結果を Fig.8に示す。

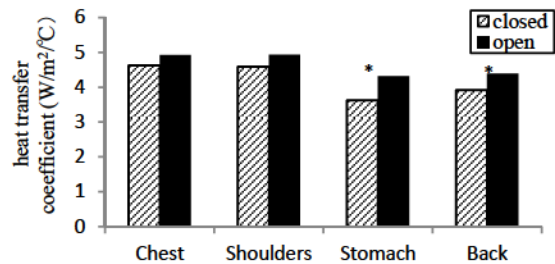


Fig.8 Effect of ventilating opening on local heat transfer coefficient in walking at calm environment (*: p<0.05)

熱通過率は腹部と背部に有意差が認められた。換気口による効果は腹部において大きく、閉鎖条件と比べ1.25倍、次いで背部では1.12倍、熱通過率が増幅した。その他の部位に関しても、開口が閉鎖を上回る結果となった。

3.4 換気速度と熱通過率の関係

換気速度と熱通過率の関係を Fig.9 に示す。HP では換気速度と熱通過率の相関関係が明確でなく特異であったため、HP を除いて MPIM のみの結果を示した。図より換気速度と熱通過率に相関関係が成り立つことが明らかになった。着衣の熱移動性に着衣のデザインが影響し、換気速度により熱抵抗値の代用が可能となる可能性が示唆される。

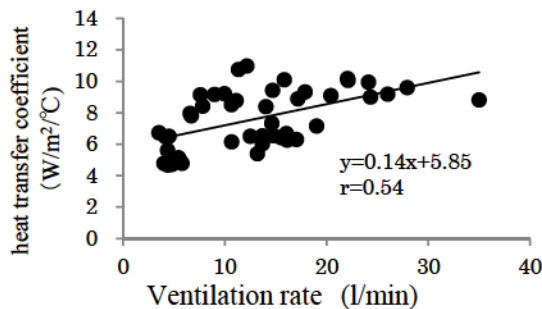


Fig.9 Relationship between ventilation rate and heat transfer coefficient

4. 考察

本研究では、アウトドア用パーカの温熱的快適性に効果的な条件を検討するため歩行サーマルマネキンとトレーサガス法を用いて検証を行った。着衣の熱通過率、換気速度を各条件で計測し、着衣の熱通過率、換気速度、デザイン、環境の風速の関係を明らかにし、それらがどのように影響するか実験で評価した。換気口は、無風・安静時には換気速度に有効でなく、歩行動作をすることで有効であることがわかった。熱通過率に関しても同様であり、無風・歩行条件時の部位毎に熱通過率を見ても開口部付近の腹部と背部で開口による効果が認められた。これは、換気口を設けることで歩行動作におけるふいご効果が増大し、着衣内に生じる対流が向上した結果と言える。素材の効果が換気速度では認められ、熱通過率ではほとんど認められなかった。それに関して、著者らの先行研究で(薩本ら、2013) 剣道着の換気速度に2つの素材で差が出た理由として、素材の通気性のみならず力学物性に差があり、素材のたわみややすさが原因として考えられた。本研究において、Table.2 に示したように、HP、MP と比べ IM が硬い素材であり、歩行動作をしても IM が最も揺れにくく、MP、HP の順で揺れやすい傾向が見られることが予想され、そのことが換気速度の差に反映していると推察される。

換気速度と熱通過率には正の相関があり ($r=0.54$) 換気速度により熱通過率の代用ができる可能性が示唆された。しかし、着衣の熱移動性に着衣・動作・環境の因子がおよぼす効果に関して細かく見ると、異なる傾向を示すところもある。よって換気速度を熱通過率の代用するためには課題が残る。

5. まとめ

着衣のデザインや環境の風速、歩行などが熱通過率におよぼす効果を定量化することができた。暑熱環境でアウトドア用パーカとしては、換気口の配置は、無風・安静時には有効ではなく、歩行動作をすることで初めて有効であることが明らかとなった。換気口の開口が熱通過率におよぼす効果を部位別にみると腹部、背部において有意に熱通過率が向上した。その他の部位に関しても、同様の傾向が見られた。熱通過率と換気速度の比較により、両者に $r=0.54$ で相関がみられ、換気速度により熱通過率の代用ができる可能性が示唆されたが、細かく見ると異なる傾向を示すところもあった。今後の課題として乾性放熱条件のみでなく蒸発放熱条件の実験を行い熱水分同時移動系で素材の透湿性の影響がある条件で同様の結果が得られるか検証する必要がある。

謝辞

本研究は科学研究費補助金一般研究 A(23240099)、平成 23-26 年の助成により実施した。お礼申し上げます。また、本実験の遂行のため重要な位置を占める歩行サーマルマネキンの使用に当たりご助力いただきました労働安全衛生総合研究所の奥野勉様および澤田晋一様に感謝いたします。実験の遂行に当たり様々な助言をいただいた桐蔭横浜大学の竹内正顕先生に感謝いたします。

文献

- Satsumoto, Y. and Havenith, G., 2010, Evaluation of overall and local ventilation in diapers, *Textile Research Journal*, 80(17): 1859/1871.
- Crockford, G.W., M. Growder, and S.P. Prestidge, S.P., "A tracer gas technique for measuring clothing microclimate air exchange rates", *Brit. J. Indust. Med.* 29, 378-386 (1972)
- Berglund, L.G. and Akin, F. J., "Measurement of air exchange in diapers by tracer gas methods", *TAPPI J.*, 80(9), 173-178 (1997)
- Havenith, G. and Zhang, P., "Comparison of Different Tracer Gas Dilution Methods For The Determination of Clothing Vapour Resistance", *EPSRC Report on Project GR/N10509/01* (2000)
- Havenith, G. Ping Zhang, Kent Hatcher and Hein Daanen, "Comparison of two tracer gas dilution methods for the determination of clothing ventilation and of vapour resistance", submitted to *ergonomics* (2010).
- 薩本弥生, 劉雨, 福山照芳, 尾川晃一, 山本晃, レインコートの換気性能に素材の透湿性や換気口がおよぼす効果、HES36 要旨集(2012)
- 薩本弥生, 川村友希, 杉本千佳: 暑熱環境下で熱中症予防に適した剣道用稽古着の検討服装と熱中症, 繊維製品消費科学会, 第 54 卷 3 月号, 20-30(2013)

以上の内容を以下の HES37 のシンポジウムで口頭発表した。
3rd Symposium on Human-Environment System
HES37 in Kobe, 30 Nov.-1 Dec., 2013

2-2 着衣の換気および熱水分移動性能への風、動作および着衣のデザインによる影響-足部

2-2-1 空気圧を用いた靴の換気計測用模擬歩行装置の開発

薩本弥生¹⁾、高山清隆²⁾、島崎康弘³⁾、香川利春²⁾、竹内正顯⁴⁾

A Pneumatic Apparatus to Estimate the Air Ventilation in Shoe by Walking

Yayoi SATSUMOTO¹⁾, Kiyotaka TAKAYAMA²⁾, Yasuhiro SHIMAZAKI³⁾,
Toshiharu KAGAWA²⁾, Masaaki TAKEUCHI⁴⁾

1) 横浜国立大学教育人間科学部, 2) 東京工業大学精密工学研究所,
3) 岡山県立大学情報工学部, 4) 桐蔭横浜大学スポーツ健康政策学部

One of authors aims at an improvement of shoes in terms of air ventilation. When a subject is walking the weight load to sole varies remarkably, accordingly there is usually some effects of pumping, which we are trying to improve by making prototype shoes. Tests of prototype cause pain to the person who becomes subject. An apparatus which pushes The shoe-sole instead of human subject has been expected in order to avoid cruel experiments.

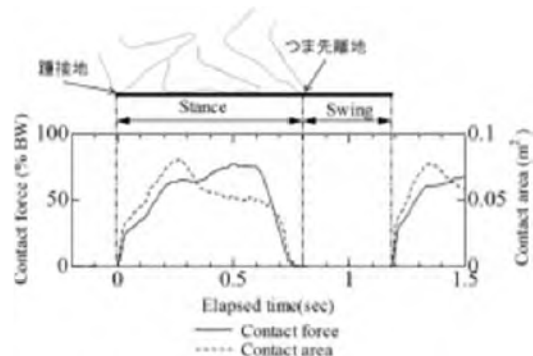
1. 装置開発の背景と目的

温熱環境に及ぼす人体影響評価として被験者データに基づく検証は非常に有意義である。一方で素材評価となると、被験者を用いることによる不安定性、時として倫理上適さない環境下へ被験者をさらすことなどの問題がある。衣服素材の場合、この側面からサーマルマネキンを使用する道が一つの方策となっている。類似の方針を採用して、様々な環境において靴自体や着靴時の温熱状態を把握する目的から、歩行を模擬する装置を作製する。

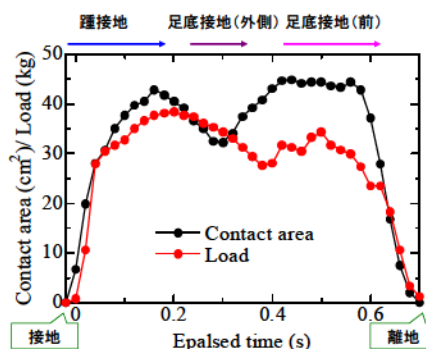
2. 模擬歩行装置の開発方法

上述より、換気、歩行動作および足部温熱状態の関連性が示唆された。ここでは、歩行動作により挙動に応じて靴底に交番的な負荷がかかり、それによって靴と足の間の空間が変形し、結果としてポンピング効果が得られると理解して、換気性状の再現を試みる。

図1(a)に歩行動作の概略図を示す。片足の歩行は、踵接地から、次に踵接地するまでの動作が1歩行周期であり、単位時間当たりの歩数を歩調という。歩行速度増大に伴い、歩幅、歩調は増加する。歩行周期は2局面に分けられる。踵が地面に接地し、次に足底全体で接地し、指を背屈させながら、付け根部分から最後に第1指および第2指で蹴り出して離地する接地期、右足が地面についていない遊脚期である。歩行速度増大に伴い接地期は減少する傾向がある。また、速度増大により、やがて歩行から走行へと動作が移行していく。



(a) 一般的な歩行周期



(b) 再現する時速4km/hの歩様(被験者:173cm,53kg)

図1 歩行周期

一般に、足圧は体重の大小の影響を受けるため、足圧を体重で除することで%BWとして規格化される。そこで、本研究においては日本人として標準的な体型の身長173cm、体重53kgの被験者データを基に装置を開発する。通常の歩行速度として4km/h(勾配0%)での足圧分布をトレッドミル上での歩行実験より、再現する歩行様相を図1(b)のように定める。

3本のシリンダを使い靴と足(木型)の固定、および負荷と接触面積、足圧が実際の歩行に近くなるように装置を構成した。試験部は図2に示す通りである。靴底に2本、靴上から1本のシリンダが接触し、シリンダの操作により目標を実現した。空気圧回路と制御信号は図3のようになっている。



靴固定機構

シリンダで靴を押えるユニット部

靴台座加振ユニット部

図2 歩行模擬装置

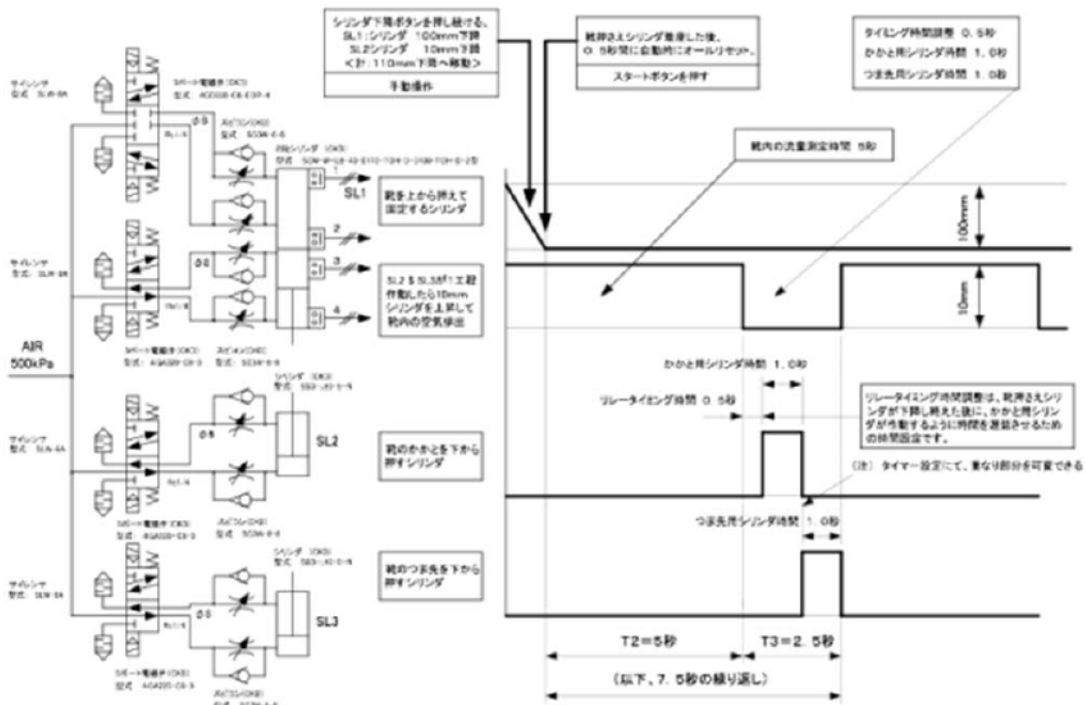
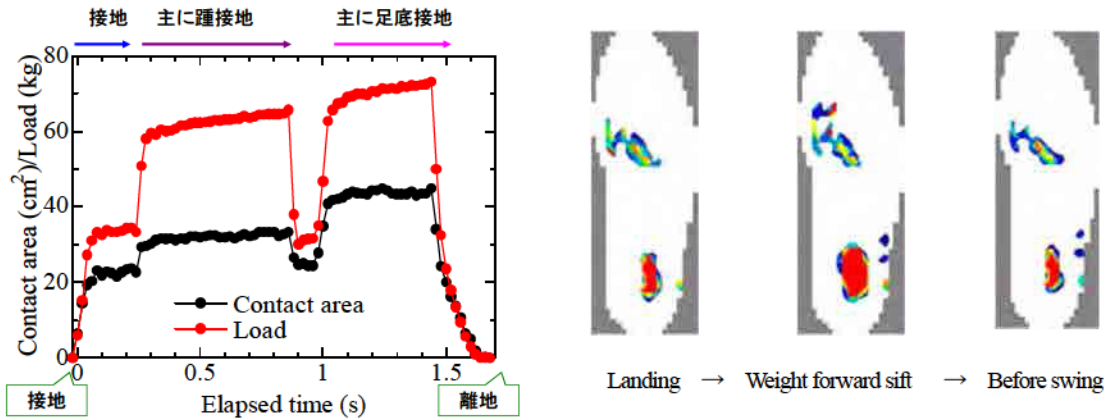


図3 作製装置の空気圧回路図

負荷と接地面積の一例は図4(a)のようになり、値変化の滑らかさと形状は歩行時に正確に一致したわけではない。しかしながら、換気を引き起こす作用の面では一応十分であった。足圧分布を見ると図4(b), ストローク(実際の歩行に較べるとゆっくりしている)の中盤であるが、足の外側縁で全く圧力がない。踵と足前部で同時に圧力が加わっている、圧力の強さは位相進行によって踵から前部へ変化しているが、

底からわずか 2 本のシリンダで動作させる面から、現象の幾分かリアリティに欠けるのは許容せざるを得ない。先に記したように換気を引き起こす面では十分に模擬が成り立っている。



(a) 足圧および接地面積の経時

(b) 各地点の足圧分布

図4 作成した模擬歩行装置による接地力および接地面積の経時変化

3. トレーサガス法

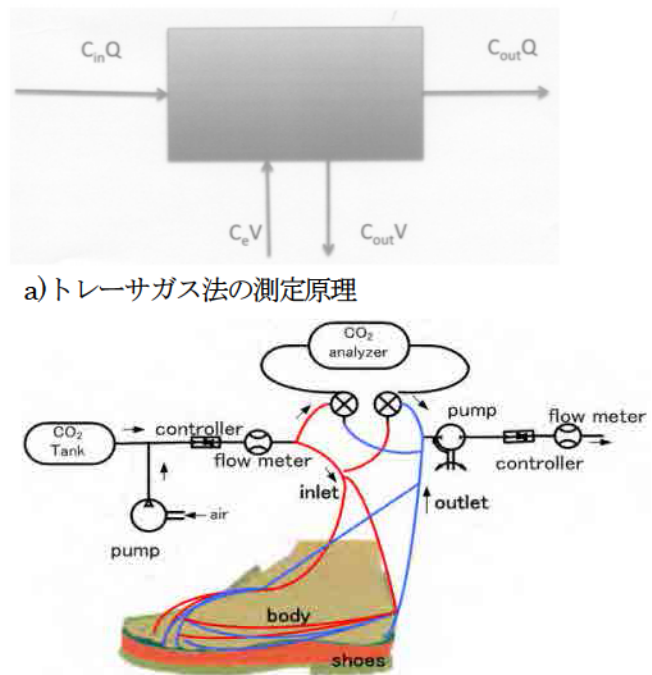
換気の測定には定常状態でのトレーサガス法を用いた[1]。原理は図5a)に示すようなものである。靴（と足の間の空間）を図5 a)のコントロールボリュームとする。トレーサガスをここでは二酸化炭素ガスとする。キャリガスを空気とする。キャリガス流量をQ、これは流入量と流出量が一致するように制御され定常状態で流れる。図5b)に実験装置の模式図を示す。流入部でトレーサガスを注入し、注入された二酸化炭素濃度を測定しC_{in}とする。流出部で同様に濃度測定してその値をC_{out}とする。換気量をVと仮定する、これは交番流で呼気量と吸気量は等しい。呼気時の二酸化炭素濃度は流出キャリガスの値と等しい。吸気時の濃度は外気における濃度C_eである。コントロールボリュームに関し質量保存を考えれば次の式が導かれる。

$$V = Q \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{out} - C_e} \dots \dots (1)$$

この関係を使って換気量を算出する。

4. 歩行模擬装置を用いた換気性能評価実験の結果

作製した歩行模擬装置を用いて、歩行時の換気性能評価を行った。例として、市販の靴と換気促進を工夫したインソールを挿入した靴の試験を実施した。換気の測定には定常状態での前述のトレーサガス法を用



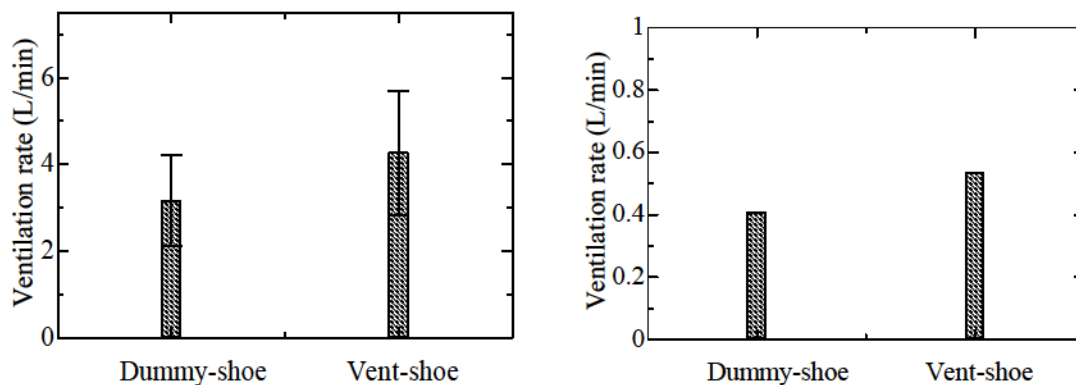
a) トレーサガス法の測定原理

b) トレーサガス法の実験装置模式図

図5 トレーサガス法

いた。

換気量測定結果を図6に示す。4名の被験者による同速度(4km/h)のトレッドミル歩行時の換気量が図6(a)、模擬歩行装置による換気量が図6(b)である。どちらの実験においても換気促進靴の換気量は大きく、被験者実験と歩行模擬装置実験の換気量に関する大小関係は一致している。歩行模擬装置のラスト(足型)は木型であり、実際の生ものの足との差が生じることは仕方がないと思われる。換気量の定量的な評価に関しては注意が必要であるが、換気の大小比較には十分有効な装置となった。本装置による結果は再現性も高く信頼できるうえ、被験者に苦痛を負わせなくても良いことから、実用的な実験が可能となったといえる。



(a) 被験者実験による2種類の靴の換気量 (b) 模擬歩行装置による2種類靴の換気量
図6 被験者実験および模擬歩行実験での換気量の比較

5. まとめ

着靴時の足部冷却の主要因と考えられる換気性能を評価できる模擬歩行装置を作製した。換気量の値に関しては注意が必要であるが、換気の大小比較には十分有効な装置となった。被験者に苦痛を負わせなくてもその面での実験は可能となった。以上をもって、着靴に起因する、足部温熱環境の評価法が確立され、改善策等の検討に活用できるシステムを構築できた。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費(A)NO.23240099(2011-2014)の助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を示す。なお、本研究の内容は「空気圧を用いた靴の換気計測用模擬歩行装置」として25年度春季フルードパワーシステム講演会で口頭発表した[2]。

参考文献

- (1) Satsumoto, Y., and Havenith, G., 2010, Evaluation of overall and local ventilation in diapers, *Textile Research Journal*, 80(17): 1859/1871.
- (2) 薩本弥生, 高山清隆, 島崎康弘, 香川利春, 竹内正顯, 空気圧を用いた靴の換気計測用模擬歩行装置, 25年度春季フルードパワーシステム講演会(2013)

2-2-2 足部および着靴時足部の温熱評価、および改善策の検討

島崎康弘

Yasuhiro SHIMAZAKI

1. 足部の温熱状態、温冷感、快適感の評価

1.1 足部の温熱的役割

人体は様々な面で非一様性を有する。例えば皮膚温度は、主に体温調整のために部位ごとに異なる値をとることが知られており、全身皮膚温度を表す際には部位ごとの重み付けを行い平均皮膚温度と称するのが一般的である。最も用いられる Hardy-DuBois の方法によれば、全身の面積割合から、頭部 0.07、上腕部 0.14、腹部 0.35、大腿部 0.19、下腿部 0.13、手部 0.05、足部 0.07 と主要部位の重み付けがされている。一方で各部位の温熱的役割は面積率だけでは規定されない。とりわけ人体末端部である手および足部は、面積率の小ささとは違い、環境に応じた皮膚温変動が大きく、また手および足部は発汗の多いことから、全身の体温調節において重要な役割を担っているといえる。そこで以下では、特に足部の温熱的影響について取り上げたい。

1.2 靴が与える温熱的影響

着衣のおよぼす温熱的影響に関する研究は数多く存在し、一般的に着衣は断熱性能として熱抵抗値で表現される。この熱抵抗値は clo 値として国際規格化されている。靴に関しても素材自体の評価は着衣の clo 値同様に可能ではあるが、ダイナミックな動きや接地など着衣の断熱性能評価では組み込まれていない要素が多く、さらに靴は着衣以上に閉塞性の高い空間をつくり出す。たとえば、靴着用時に激しい運動を行うと、靴内は高温多湿化し、靴内環境に対する快適感が悪化する。そのため、靴が足部や全身に与える温熱的影響を調べる必要性があり、これは足部の温熱環境改善により熱中症など温熱的疾患の予防への寄与を調べることにほかならない。

1.3 足部および全身の温熱状態と温冷感

足部のような局所的な温熱環境の変化は、全身に影響をおよぼす。着靴時において、運動時の全身および足部の温熱状態の変化や温冷感、快適感の変動、それらの相互関係について述べられた研究はない。また、上述のように詳細な足部の温熱的モデルは存在しない。既存の温熱環境評価指標の多くは被験者実験結果に基づき検証が行われてきており、本研究においても同様の手法にて、日常生活における、人体の温熱状態および靴内気候の変化と快適性との関係性について検討する。

全身および足部の皮膚温度、靴内温度、温冷感、快適感の関係把握のため、室内で環境条件、着衣条件を統一し、静止・歩行実験を行った。環境条件は気温 30℃、25℃、20℃とし、相対湿度は 50%一定とした。環境要素として、気温および相対湿度(T&D TR-73U)、風速(Young CYG-81000)、短波放射量および長波放射量(EKO MR-60)を測定した。人体要素として、全身皮膚温度の測定部位は Hardy-Dubois の平均皮膚温の算出法にならぬ、額、腹、上腕、手甲、大腿、下腿、足甲の 7 点を、深部温として、耳内温をそれぞれサーミスタ(日機装サーモ N542)にて測定した。また、足部皮膚温度として、つま先、土踏まず、足甲、踵の 4 点を J 型熱電対で測定した。代謝量を算出するため、呼気代謝モニタリングシステム(S&ME VO2000)を用いて酸素摂取量、二酸化炭素排出量を計測した。以上の生理量については 1 分間隔で測定した。心理申告として、ASHRAE Handbook に従い、全身および足部の温冷感(-3:寒い~3:暑い)と快適感(-2:不快~2:快適)を 2 分間隔で記録した。被験者は健全な男子大学生および大学院生 5 名であった。また、代謝量

への影響を考慮し、食事後2時間以上空け実験を行った。実験時間は50分間(0~10分、40~50分：立位安静、10~40分：歩行運動)とした。歩行運動では異なる歩行速度として、0 km/hの立位(静止)、6 km/hの歩行の2条件で行った。

全身の温熱状態を把握するため、人体の熱収支を基にした指標である人体熱負荷量を用いた。人体熱負荷量とは、日射や皮膚温度といった要素を含んでおり、非正常、非一様な環境において正確な人体熱収支を算出でき、温冷感や快適感を予測するために用いられる指標である。人体熱負荷量は F_{load} [W/m²] で表され、以下の式により定義される。

$$F_{load} = M - W + R_{net} - C - E \quad (1)$$

それぞれ、M:代謝量, W:機械的仕事量, R_{net} :正味ふく射量, C:顕熱損失量, E:潜熱損失量, 単位は全て[W/m²]である。

図1に気温条件ごとの運動期における人体熱負荷量の平均値を示す。本実験での熱損失量は、式(1)における機械的仕事量、潜熱損失量、顕熱損失量、正味ふく射量の和である。各気温条件において、歩行速度0 km/hと6 km/hで比較すると、人体熱負荷量には、歩行による代謝量の増加の影響が顕著に表れた。気温20℃および25℃において、歩行速度0 km/hの場合では、代謝量より熱放散の要素が強かったため、人体熱負荷量が負の値となった。また、歩行速度6 km/hの場合では、歩行による代謝量の増大によって、人体熱負荷量が正の値となった。

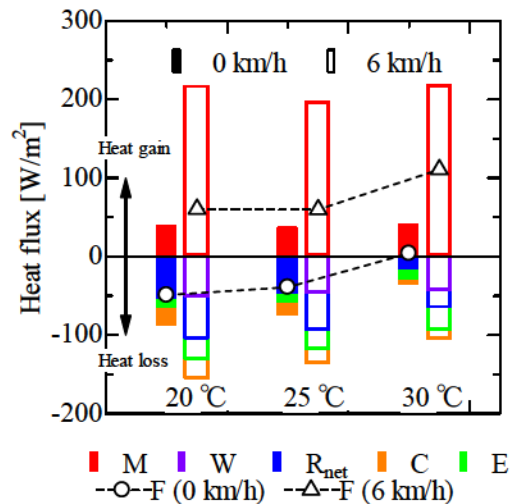


図1 気温ごとにみた全身熱負荷量とその内訳

図2に各気温条件における全身と足部の平均皮膚温度の経時変化を示す。なお、足部平均皮膚温度は実験開始時刻からの温度変化量を示している。また、値は全被験者の平均値である。歩行速度0 km/hにおける気温3条件の全身皮膚温度について、Tukey法を用いて多重比較を行った結果、気温差による有意な差があった(p<0.01)。

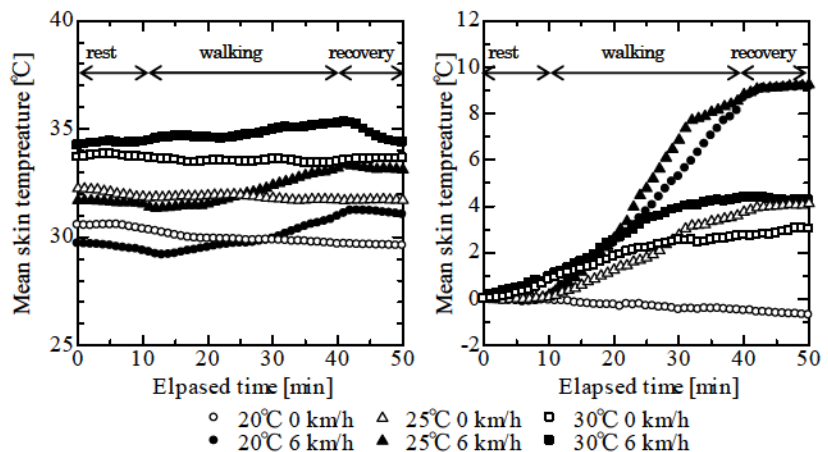


図2 全身および足部の皮膚温度の経時変化

気温20℃, 歩行速度0 km/hにおいて、全身および足部皮膚温度はともに減少している。気温20℃, 歩行速度6 km/hと気温30℃, 歩行速度

0 km/h および6 km/h の場合、全身および足部皮膚温度はともに上昇し、さらに、足部皮膚温度は全身皮膚温度に比べ、温度変化量が大きい結果となった。

図3に気温20℃と30℃における全身の人体熱負荷量と足部温冷感および足部快適感の経時変化の平均値を示す。歩行を行うことで、代謝量の増加が起こり、産熱量が放熱量を上回ったため、全身温冷感が上昇した。それに伴い体温調節機能のために皮膚温度が上昇した。皮膚温

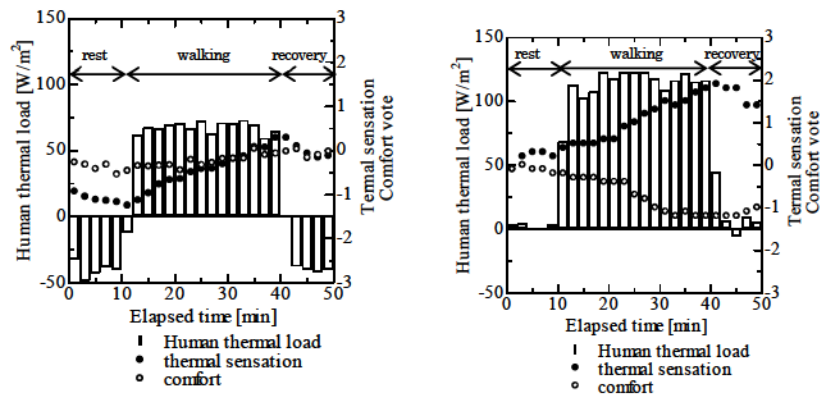


図3 20℃、30℃における全身熱負荷量，足部温冷感，足部快適感の経時変化

度上昇には部位別に傾向があり，体幹部よりも末梢部の方の変動が大きかった。末梢部には放熱機能の働きがあるが，足部では靴の断熱機能のために温度上昇が激しく，足部温冷感が上昇した。気温30℃においては足部温冷感の上昇に伴い快適感が減少したと考えられる。しかし，気温20℃においては，快適感が上昇している。よって，足部の快適感には足部の温熱状態に加え，全身の温熱状態を把握する必要があるといえる。

1.4 着靴時の温熱快適性マップの作成

目指すべき，また望ましい温熱環境を定量的に規定する必要性から，上述の結果を踏まえて，全身および足部のいくつかの温熱状態における快適感マップを作成した(図4)。両歩行条件において，気温 30 ± 1 ℃，足部皮膚温度 36 ± 1 ℃は不快領域となる。気温20℃歩行速度0 km/hにおいて，気温22℃から24℃，足部皮膚温度約36℃の不快と感じる快適感領域が歩行速度6 km/hにおいては，中立的な快適域に変化している。

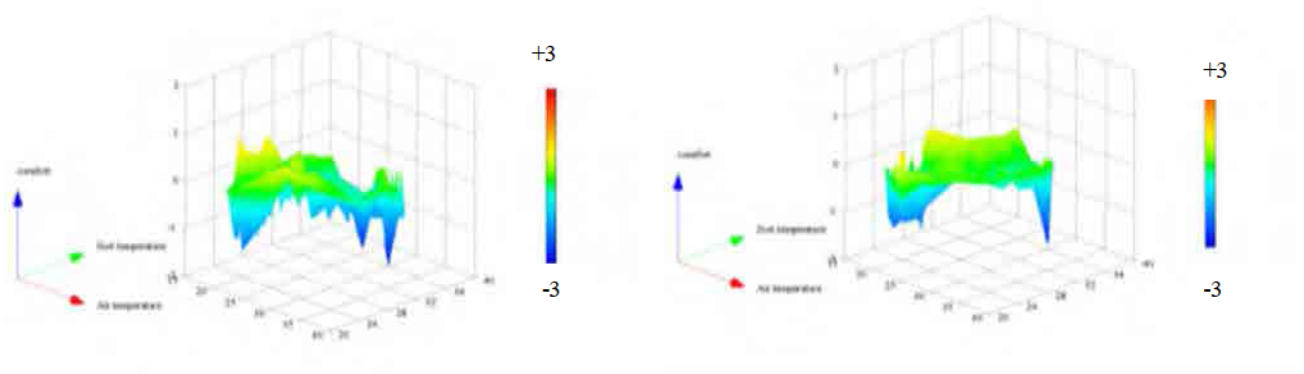


図4 着靴時の快適感マップ

2. (足部温熱状態への影響因子の検討)

2.1 足部の温熱環境形成要因

長時間にわたり靴を着用していると，靴内の温湿度は上昇する。閉塞性の高い靴を履いて夏季に屋外にて激しい運動を行うと，シューズ内温度は40℃以上にも達する，との報告もある。一方で，靴内温熱環境

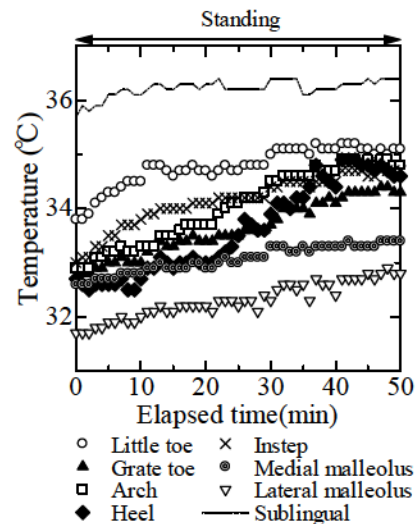
に関して、熱移動の詳細を検討した研究はこれまでみあたらない。外部環境としての外気温や日射などの影響で靴内空間が温められる可能性もあるが、高温部から低温部に流れるエネルギーの一般的な流れ方向を考えると、外気温が皮膚温度以上になることは少ないため外環境からの受熱は考えにくい。また、歩行動作に伴う伝熱現象が根本的に靴内温熱環境に大きく影響をおよぼしていると考えられる。

2.2 歩行動作の影響

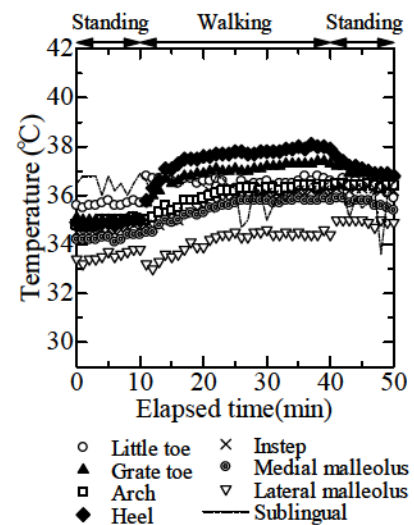
歩行、走行時における接地時の最大接地圧力の鉛直成分は体重の3倍に達することもあることから、接地圧力の力学的エネルギーが熱エネルギーに変換され受熱することが挙げられる。同時に足部と靴底での摩擦により発熱も起こりうる。一方で、遊脚期において、足部動作に伴う対流熱伝達による冷却も生じる。さらには歩行速度することによるこのように、靴内温熱環境形成には歩行動作そのものの影響が大きいことがわかる。したがって、異なる歩行速度において、歩行挙動測定、靴内温熱環境測定を行い、靴内温熱環境に与える影響を評価した。

実験はトレッドミル上で行う。測定項目は、環境要素として気温をサーミスタ (T&D TR-73U)、湿度を高分子湿度センサ(T&D TR-73U)の各要素を1分毎に測定した。また、生理的要素として被験者の足部皮膚温度の平均値を算出するため、つま先部、母趾、土踏まず、踵、甲、内果、外果の7箇所と深部温として舌下温をそれぞれJ熱電対にて1分毎に測定した。代謝量を算出するため、呼吸代謝モニタシステム(S&ME VO2000)を用いて、酸素摂取量、二酸化炭素排出量を測定した。また、発汗による放熱量を算出するため、実験前後に精密体組成計(TANITA TBF-110)にて全身の体重を測定した。なお、データの記録にはデータロガー(HIOKI LR8402)およびパーソナルコンピュータを使用した。実験時間は各人50分間とし、実験開始から10分間座位静止状態、実験開始10分から30分間歩行、その後10分間実験開始時と同様に座位静止状態で行なった。歩行速度は、接地動作解析と同速度の3.0、6.0、9.0、12.0 km/hに設定した。また、靴下の影響を無くすため、被験者は全員裸足で同一の靴を履いて行なった。代謝による影響をなくすために食事後2時間以上の時間を空けた。被験者は健康な成人10名であった。

図5(a)は歩行速度0 km/h(立位)にて50分間立位静止状態を保った際の皮膚温度経時変化である。立位であっても足部温度は徐々に上昇し、平均1.7℃温度上昇した。図5(b)は歩行速度3.0 km/hにて歩行した際の皮膚温度経時変化を示す。立位10分間では、温度変化があまりみられなかった。初期温度は、足部上部では、足底に比べ初期皮膚温度が低かった。足部上部では、歩行開始初期に外果において、0.5℃程度の温度低下がみられ、その他の計測箇所では、計測開始10分時の皮膚温を保った。その後徐々に温度上昇した。歩行終了後、足



(a) 0 km/h 歩行(= 立位)

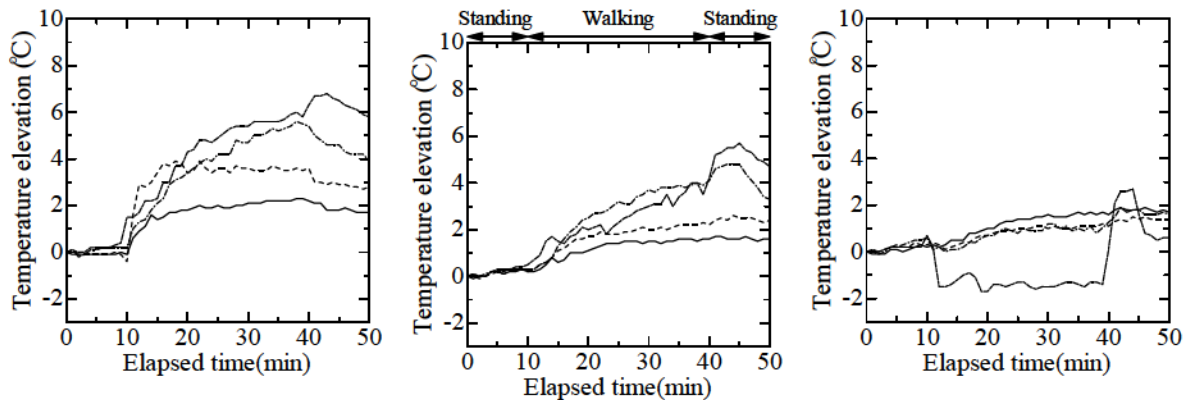


(b) 3.0 km/h 歩行

図5 立位および歩行時の皮膚温度経時変化

部上部においては温度上昇し、最も温度上昇した外果は0.6℃温度上昇した。足底にあるつま先、拇指、土踏まず、踵は、歩行開始直後から温度上昇した。特に、拇指と踵において、歩行開始直後から急激に温度上昇した。歩行終了後、拇指と踵においては温度低下がみられ、実験終了時には、その他の計測箇所と同程度の皮膚温度まで低下した。つま先と土踏まずにおいては、歩行終了時の皮膚温度を保持した。実験開始50分後、すべての計測箇所において、実験開始時より、皮膚温度上昇がみられた。歩行終了時においては、踵が最も温度上昇し、3.0℃上昇し、38.0℃になった。このように歩行速度の応じた皮膚温度変動をすることが分かる。

歩行速度ごとの計測箇所の比較を行うため、図6(a)-(c)に各皮膚温度変化の経時変化を示す。



(a) 拇指

(b) 土踏まず

(c) 足甲

図6 歩行速度別に見た各部の皮膚温度経時変化

皮膚温度変化傾向は、3つの傾向に別けることができた。1つ目は、拇指と踵である(図6(a))。これは、歩行時に急激に温度上昇し、歩行終了後に温度低下する傾向をもつグループである。このグループは、歩行速度が速くなるにつれ、温度上昇幅が大きくなる。歩行速度12.0 km/hにおいて、拇指は6.3℃、踵は8.8℃温度上昇した。また、3.0 km/hにおいても、拇指において1.6℃、踵において3.5℃温度上昇した。特に、歩行開始初期に急激に温度上昇する。歩行開始5分間にて、踵では、0.4~0.6℃/min温度上昇した。拇指では、0.2~0.5℃/min温度上昇した。

つま先と土踏まずは、2つ目のグループに分けられる。このグループは、徐々に温度上昇する傾向である(図6(b))。また、拇指と踵に比べて、温度上昇幅が小さい。歩行速度12.0 km/hにおいて、つま先は2.9℃、踵は4.2℃温度上昇した。また、3.0 km/hにおいても、拇指において1.6℃、踵において3.5℃温度上昇した。3つ目は、甲、内果、外果のグループである(図6(c))。このグループは、歩行開始初期に温度低下し、歩行終了時に急激に温度上昇するグループである。歩行速度12.0 km/hにおいて、甲は1.4℃、内果は0.9℃、外果は0.7℃温度低下し、歩行終了後に甲は2.7℃、内果は0.9℃、外果は3.9℃温度上昇した。歩行速度が速くなるにつれ、歩行時の温度低下が大きくなり、歩行終了後の温度上昇が大きくなった。皮膚温度変化傾向として、足裏測定箇所では、歩行時に温度上昇し、足部上部測定箇所では、温度低下した。歩行速度の増大に伴い、温度変化も大きくなった。

代謝量は、静止時60 W/m²程度であったが、歩行を開始した10分後から急激に増加する。歩行時の代謝量平均値は、歩行速度3.0 km/hにおいて111.1 W/m²、6.0 km/hにおいて195.8 W/m²、9.0 km/hにおいて343.7 W/m²、12.0 km/hにおいて481.6 W/m²と、歩行速度が速いほど代謝量も増加した。

歩行時において、踵は最初に接地するため、短時間に大きな接地圧力を受ける。また足裏離地前に全足

部に大きな接地圧力がかかる。これにより、温度上昇が大きい計測箇所は、大きな接地圧力がかかる箇所にある。このことから、歩行時の接地圧力の力学的エネルギーが衝撃吸収分熱エネルギーに変換されていることが考えられ、拇指や踵に熱エネルギーが伝わり、温度上昇していると考えられる。また、歩行速度が速くなるにつれて、拇指と踵の温度上昇幅も大きくなった。歩行速度が速くなるにつれ、接地圧力も大きくなったため、より大きな熱エネルギーが加わったと考えられる。接地圧力が大きくかからない、つま先や土踏まず、足部上部においては、拇指や踵に比べ、温度上昇が低い傾向にある。このような計測箇所においては、代謝による発熱、靴の保温性による影響で温度上昇したと考えられる。そのため、徐々に温度上昇したと考えられる。歩行時において、足部上部が温度低下したのは、足部動作に伴う対流熱伝達によるものだと考えられる。発汗による放熱も考えられるが、代謝量の方が放熱量に比べ、大きいいため、温度低下させることはない。対流による放熱は、周囲に風が吹いているときや、動作を伴っているとき、影響はより大きくなる。本実験においても、歩行速度の増加に伴い、足部接地速度の増加がみられたため、対流の影響も大きくなり、温度低下したと考えられる。

2.3 靴内冷却機構（換気量）

靴内を冷却機構として対流熱伝達が有効であると示唆された。足部が動作することによる対流放熱がある。また、歩行時には、接地期と遊脚期において足部が変形することによって靴内でふいご作用が発生し、靴内と外部環境とで空気の入れ替えが起きることから、換気量も対流放熱の重要な要素の一つと考えられる。

そこで、歩行速度 0, 3.0, 6.0, 9.0 km/h にて歩行した際の換気量の測定をトレーサガス法により、気温 25 °C、湿度 50%RH に保たれた室内で行った。実験時間は 17 分間とし、実験開始から 12 分間歩行、実験開始 12 分から 5 分間座位安静である。

図 7 に各歩行速度における熱バランスを示すが、一般に速度が増すにつれて代謝量の増大が著しく、9 km/h 歩行では立位の 5 倍程度の代謝量を示す。一方で、足部皮膚温上昇は図 6 で見るように 2~3 倍程度である。これより、足部においては、代謝量増大以上に冷却機構が速度に準じる形で増していることがうかがえる。

ここで換気量についてみると、歩行速度が増加することによって、歩数が増加したことにより換気量が増加した（図 8）。9.0 km/h 歩行においては立位時比で約 7 倍換気量が増加しており、足部の動きが増大することで換気量が増加、放熱量が増加して、足部温度の低下が抑えられ靴内温熱環境改善に効果があることが示唆された。

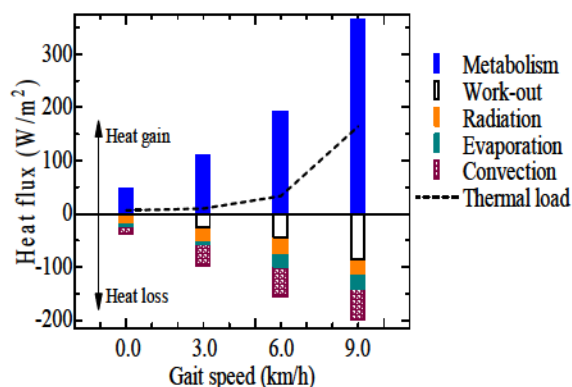


図 7 歩行速度別に見た人体熱バランス

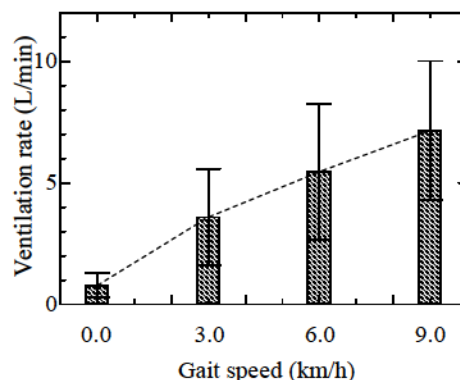


図 8 歩行速度別に見た換気量

2.4 換気量に与える影響因子

靴内温熱環境形成において、換気量が重要な要素の一つであることがわかった。そこで以下では換気量に影響を与える要因について考察する。

まず靴自体を構成する素材の影響が挙げられる。我々の生活環境下では一般に、靴内部空気温度より外環境温度の方が低いため、靴内外の空気換気が足部温熱環境へ影響すると考え、とりわけ、通気口となるアッパー素材に着目する。靴素材が足部温度分布におよぼす影響として、空気が靴素材を介して熱交換を行なうときの性能指標となる熱通過率を測定した。JIS1420 に倣って実験装置を作成した。深さ 10 mm にくり抜いた発泡スチロールに足部を模擬した 250 mm×100 mm のシリコンラバーヒーターを設置し、アッパー部分を想定し、上部に使用する生地を被せた。さらに、その上から直方体型の空洞を施した発泡スチロールを被せた。なお、皮膚温相当としてヒーター温度は約 33 °C に設定した。図 9 に実験装置の概略図を示す。

サーミスタ(日機装サーモ N542)を用いて、ヒーター温度、ヒーター上方空気層温度、生地上方空気層温度を 1 分毎に計測した。

以下の式(2)を用いて、熱通過率を算出することができる。

$$K = \frac{q}{(T_h - T_c)} \quad (2)$$

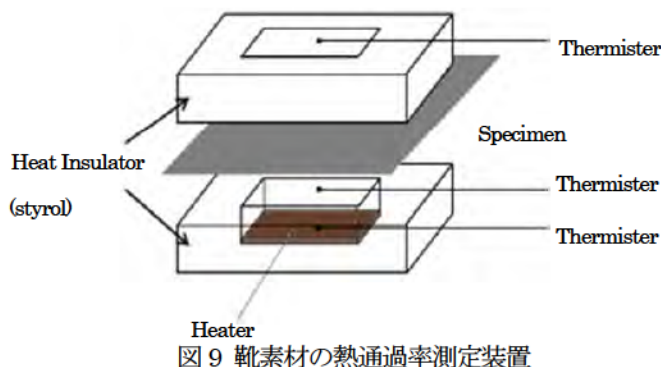


図 9 靴素材の熱通過率測定装置

ここで K:熱通過率[W/(m²·K)], q:熱流束[W/m²], T_h:ヒーター上方の空気層温度[°C], T_c:生地上方の空気層温度[°C]。ただし、T_h, T_c は定常時の温度を用いた。

着靴状況での足部温熱環境把握のため、アッパー素材の熱通過率が異なる 2 種類の靴着用時と裸足時の 3 条件にて、トレッドミル上で歩行実験を行なった。主な測定項目・方法は前述同様である。実験時間は 50 分(0~10 分および 40~50 分は立位安静、10 ~40 分を歩行運動)とした。また、歩行速度は 0 km/h とし、運動強度の影響を把握するため、開口率 0%時のみ 3 km/h も行った。なお、実験環境は、中立環境を想定し、温度、相対湿度の制御が可能である人工気象室にて、室温 25 °C、相対湿度 50%RH とした。

表 1 に使用したアッパー部素材の開口率、熱通過率、厚さ、熱伝導率をそれぞれ示す。開口率の増大に伴い、熱通過率も増大することが確認できる。図 10 は開口率と実験 30 分の皮膚温度の変化量の関係性を示している。

表 1 素材の諸元

	Porosity [%]	Overall heat transfer coefficient [W/(m ² ·K)]	Thickness [mm]	Conductance [W/(m·K)]
A	26.4	14.6	0.58	0.067
B	42.7	23.9	0.58	0.047

表 2 は各部位について結果をまとめたものである。外気温に比べて靴内気温が高いとき、開口部を通した換気により靴内で対流冷却が生じる。つま先下は着靴することで外気と接しにく

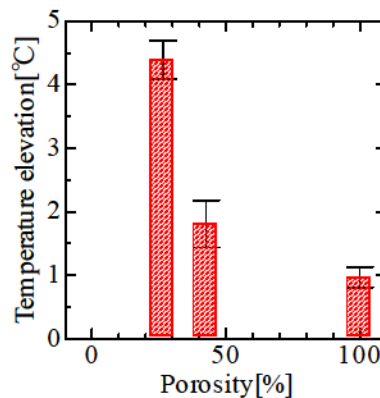


図 10 開口率と皮膚温度上昇の関係

く、対流冷却が生じず、温度上昇幅が大きくなった。また、歩行によってシューズ内空気が循環し対流熱伝達が促進され、対流冷却によるエネルギーが、歩行時に温度上昇に寄与する代謝エネルギーを上回る。それによって、立位時に比べて、歩行時の温度上昇幅は小さくなった。歩行時において、踵部では対流熱伝達が生じにくく、温度上昇幅が大きくなる。

表2 足部の皮膚温度上昇の詳細

Porosity	Gait	Upper forefoot	Forefoot	Great toe	Lateral midfoot	Medial midfoot	Heel	Instep
26.4%	3km/h	4.4	4.9	4.4	4.2	3.4	6.4	2.3
26.4%	0km/h	5.7	5.9	5.3	4.8	3.0	3.0	3.1
42.7%	0km/h	2.5	3.5	2.6	3.4	2.5	2.2	2.0
100%	0km/h	1.1	0.82	1.1	1.2	0.27	1.3	0.99

換気のみか、メカニズムを考えると、靴内に空気の循環する空間がある程度必要であると推測できる。この足部の靴へのフィット性を、足部充填率を指標に考えてみる。足部充填率は足部が靴内でどの程度の割合を占めるのかを示すものであり、シューズ内体積 $V_1[m^3]$ と被験者の足部体積 $V_2[m^3]$ を用いて式(3)で定義される。

$$R = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

充填率が高い場合は靴内に隙間が小さく、充填率が低い場合は靴内の隙間が大きいことを意味する。

図11は歩行速度6.0 km/hにて歩行した際の充填率と換気量の関係を示したものであり、両者に一定の相関関係があることが分かる。本実験で用いた靴は、アッパー部に高い通気性があり、シューズ内に隙間を大きくすることで、歩行時の接地期に踏み込む空気を増大させ、換気量が増加したと考えられる

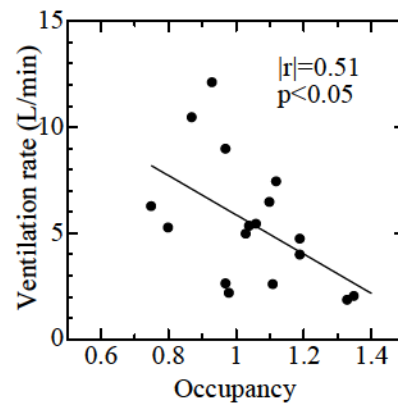


図11 充填率と換気量の関係

3. 本セクションのまとめ

- ・足部および全身の温熱状態と環境、活動状態の関連性について延べた。
- ・熱エネルギーの流れに着目し、着靴時の足部温熱環境形成に与える因子について検討した。

以上を以て、着靴に起因する、足部温熱環境の評価法が確立され、改善策等の検討に活用できる。

参考文献

- (1) Shimazaki, Y and Murata, M., 2015, Effect of gait on formation of thermal environment inside footwear, Applied Ergonomics, 49: 55/62.
- (2) Shimazaki, Y, Matsutani, T and Satsumoto, Y, Evaluation of thermal formation and air ventilation inside footwear during gait: The role of gait and fitting, Applied Ergonomics (in press).
- (3) 松谷俊輝, 島崎康弘, 野津滋, 倉嶋謙吾, 快適シューズ設計のための足部温度と快適性の関係把握, スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, USB-Flash 7 pages, (2015).

3. 熱中症予防の警報メールシステムの構築をめざして

青柳卓也¹⁾、薩本弥生²⁾、佐古井智紀³⁾

1)横浜国立大学院生、 2)横浜国立大学、3)信州大学

背景

20 世紀後半の経済的な発展により、日本の生活環境の基盤は飛躍的に整備されていった。その反面、CO₂などの温室効果ガスの増加により地球温暖化が進み、海面上昇、水不足、異常気象などの自然災害の増加、生態系の変化による食糧不足や疫病などマイナスの現象が生じることが危惧されている。さらには水や食料の確保のため、経済や政情不安などを招く危険性もあり、その危険は今の世代の人類ではなく 2 世代、3 世代後の人類に襲い掛かる。そのため、この課題解決が持続可能な開発に繋がるのである³⁻¹⁾。2005 年、小泉内閣時にクールビズ・ウォームビズが提唱され、以後その言葉は毎年夏、冬が訪れる度 TV や新聞で報道されるようになった^{3-2),3-3)}。これらは 1997 年に国連で採択された京都議定書による温室効果ガスの一つである CO₂の削減を目的とした。

クールビズキャンペーンとは環境省が音頭を取り、2005 年に温室効果ガスの一つである CO₂の主な発生源である電気の使用量を削減するため、夏期におけるエアコンの設定温度を当時の現状よりも高い 28℃に設定させることを目標に掲げ、その実現のため、服装規範のために夏期でもスーツ、ネクタイを着装しているビジネスマンの服装を改め、軽装化を推奨する運動のことである。また、冬期においては同様の目的でウォームビズ運動が展開され、温暖化防止のため、エアコンの設定温度を 20℃に設定することが推奨されている³⁻³⁾。クールビズは夏期において 28℃の室内環境で快適に過ごせる服装、ウォームビズは冬期においては室温 20℃で快適に過ごすことのできる服装と奨励されている²⁾。しかし、企業にとっては環境に配慮することと同時に作業従事者の生産性は無視できない。西原ら⁴⁾は冷房設定温度 28℃環境における知的生産性の評価を行っている。ジャケット着用(約 1clo)時における 25℃環境と 28℃環境での快適性と知的生産性を比較すると、28℃環境では快適性、知的生産性は有意に低下する結果となった。また、クールビズを想定した 28℃環境低着衣量(約 0.6clo)条件を加えた 3 条件での比較において、28℃環境低着衣量の条件で快適性、知的生産性の低下は緩和されてはいるものの依然 25℃環境の優位性は変わらなかった。さらに、榎本ら^{3-5),3-6)}は、生理データの観点からも、実際のオフィス環境では十分に快適性が保証されていないことを明らかにしている。地球温暖化を防ぐために政府主導で始まったクールビズ・ウォームビズは、その言葉に関して国民の間で定着し、オフィス環境でもある程度、浸透していった²⁾。しかし、個人での地球温暖化防止のためにクールビズ・ウォームビズ対策をする意識は十分に高くなっていたとは言えない状況であった³⁻⁷⁾。

しかし、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災という未曾有の大災害に直面した人々は電力供給もままならない状況で生活せざるを得なくなった³⁻⁸⁾。この災害は私たちに様々な教訓を残し、人々は防災対策、日本の原子力発電依存脱却に関して意識しただろう。さらに省エネを目指したクールビズへの関心も高まった³⁻⁷⁾。このような災害時や夏期・冬期、運動時に着衣が果たす役割は大きい。それは、被服が CO₂を排出せず、ポータブルに人と一緒に持ち運べ、脱ぎ着するのが簡易で個別に体温調節が可能であるためである。着衣の温熱的快

適性には被服の熱水分移動性能が影響を与え、温熱的に快適にするための条件として着衣素材の種類のみでなく着衣のデザインや、人の動作、環境の風速や幅射の寄与は大きい。そこで、夏期や運動時の着衣の熱水分移動性能の向上のために、温熱的に快適な着衣を考える際は素材のみでなく、デザインを検討することも重要である。その一例として青柳は2014年卒業論文でアウトドアパーカの温熱的快適向上に関して素材の透湿性だけでなく、換気口の開口により快適性を向上できることを被験者実験により明らかにし⁹⁾、学会発表している³⁻¹⁰⁾。さらにその評価を被験者で行う意義は大きい。確かに、発汗サーマルマネキンで熱水分移動を正確に計測、評価を行うことは重要ではあるが、実際に着用するのは人間であり、なによりも発汗サーマルマネキンでは感覚の評価ができないからである。

上記のように夏期におけるクールビズが奨励されているが、都市部ではヒートアイランド現象が年々進行し、都市部での気温は右肩上がりである。省エネが叫ばれ空調の過度な使用を抑えるような社会的風潮の中、外気温は上昇しており東京でも夏期に35℃を超える日もあり、熱中症のリスクは高まっている。熱中症の定義について Fig.3-1 に示す。熱中症軽度では、めまいや多量の発汗であるが、症状が重度になると意識障害など危険な状態に陥り入院の必要があり、死亡のリスクは高まる。総務省の報道資料¹¹⁾を、26年度の全国熱中症病者搬送件数を都道府県別にみると、東京都を始め埼玉県、千葉県、神奈川県首都圏と、愛知県、兵庫県、大阪府、京都府、福岡県の地方都市を抱える地域で件数が多い。また、高齢者、幼児のように環境にすぐ対応できない世代や、暑熱順化していない人、持久力のない人、肥満傾向の人は体温調節機構が機能不全になりやすく、死亡事故につながりやすく危険であり、対策が必要である。そこで、特に運動するにあたり苛酷な環境である夏期に被験者の個別の状況に応じて病的状態にならないうちに運動を中断するために、熱中症への移行状態の早期把握と、その予防システムの構築が必要であり、予防システムが国民のQOLを維持することに貢献できると考える。

分類	症状	対処方法
I 度	<ul style="list-style-type: none"> ・めまい, 失神 ・筋肉痛, 筋肉の硬直 ・大量の発汗 	通常は入院を必要とせず、安静、経口的に水分と塩分の補給を行う。
II 度	<ul style="list-style-type: none"> ・頭痛, 気分の不快, 吐き気, 嘔吐, 倦怠感, 虚脱感 	入院治療が必要である。安静、体温管理、十分な水分とNaの補正が必要であり、重症化する可能性を考慮する。
III 度	<ul style="list-style-type: none"> ・意識障害, 痙攣, 手足の運動障害 ・高体温 	入院治療が必要である。体温管理、呼吸循環管理、DIC治療などを迅速に行う必要がある。

Fig.3-1 熱中症の症状および対処法

近年では熱中症予防指針として WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) という指標が TV の天気予報や環境省でも使用されている³⁻¹²⁾。この指標は Yaglou らにより米国で提唱され、気

温・湿度・輻射から算出され国際標準化機構でも基準化されている³⁻¹³⁾。しかし人の熱的快適性を考える上では十分ではない。温熱的快適性に及ぼす要因と WBGT を算出するための要因を Fig. 3-2 に示す。

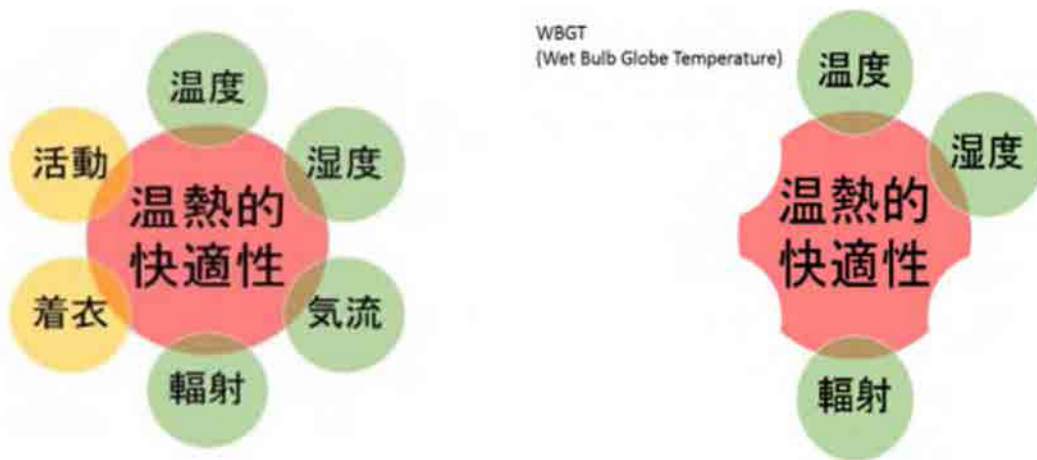


Fig. 3-2 温熱的快適性に及ぼす要因と WBGT を算出するための要因

Fig. 3-2 より、気温・湿度・輻射・気流・着衣・活動の環境 4 要因、人体側の 2 要因、計 6 要因が複雑に作用し人体の熱的快適性に影響を与えている。しかし WBGT は環境要因の気温、湿度、輻射のみから予測を行っている。佐古井ら³⁻¹⁴⁾は WBGT の修正とその適用域について言及しているが、着衣の熱抵抗などの修正を加えても、3met ほどの運動強度中程度において、ぬれ率 0.5 を大きく外れる場合は WBGT の重み係数の想定から外れることを明らかにしている。また、人体側の要因を考慮に入れていない WBGT では、夏場でも着衣量の多い野球や剣道といったスポーツ時やバドミントンのような着衣量が小さくても活動量が極端に大きいスポーツに対応できているとは言いがたい。そこで人体側の要因も組み入れた新たな熱中症予防の指針が必要であると考えられる。

Gagge ら³⁻¹⁵⁾は標準有効温度(SET*)を提唱している。これは気温・湿度・輻射・気流・着衣・活動の 6 要因すべての複合影響を、夏服・静穏環境下での椅座安静時の体感温度へ換算する指標である。このうち活動量については、換算すべき環境の着衣・気流条件を活動量によって変化させる。よって、WBGT よりも熱中症予防に有効であると考えられる。

しかし、SET*の問題点として、SET*の標準着衣量が高活動時に負値になり、物理的にあり得ない値をとること、SET*計算に用いられる Two Node Model の発汗量が高活動時に過少となり、温熱生理状態を正しく予測できないことを佐古井ら³⁻¹⁶⁾が明らかにしている。そこで佐古井ら³⁻¹⁴⁾は SET*は高活動時に SET*24℃、静穏気流下では中立温感をもたらす着衣が存在しない問題を、中立として参照する環境温度を 24℃より低い 20℃とすることで解決した。そして Two Node Model の発汗が活動時に過少であることを示し、Two Node Model の発汗モデルを改善した修正 SET*を提案した。

修正 SET*により従来のモデルの修正は図られているが、被服のデザインによる熱抵抗の低減は考慮されていない。著者³⁻⁹⁾は前述のように 2014 年卒業論文では背部に換気口を設け、デザインの工夫により熱水分移動が向上するというを明らかにしている。他にもデザインが温熱的快適性に寄与するといった研究は多数報告されている。修正 SET*の熱抵抗の低減率は ISO9920³⁻¹⁷⁾に掲載されている Havenith の提唱する式が採用されているが、卒論で示したようなデザインの工夫で熱抵抗がより低減されることが ISO9920 のモデルでは反映されていないと考えられる。いろいろな着衣の場合の運動による熱抵抗の低減率への着衣のデザイン効果に関してデータを蓄積することが必要と考えられる。

本項の研究の目的

背景で述べたように被服が温熱的快適性に果たす役割は大きい。特に災害時や暑熱時のスポーツ時には、被服が CO₂ を排出せず、ポータブルに人と一緒に持ち運べ、脱ぎ着するのが簡易で個別に体温調節が可能であるため、健康維持や熱中症への対策として有効であると推察する。また、人体の熱収支を予測し熱中症予防に繋げることが国民の QOL 向上に寄与すると考える。現在の熱中症予防のための温熱環境指針には WBGT が用いられているが、被験者の生理量と組み合わせて細やかな対策がなされていない現状では、温熱環境指針としては十分とは言えない。被験者の個別の状況に応じて病的状態にならないうちに運動を中断するために、熱中症への以降状態の早期把握と、その予防システムの構築が必要である。

そこで、本項では熱中症予防に貢献するシステムを構築するため、快適な被服デザインの検証と、現在熱中症予防指針として使用される WBGT を用いた警報メールシステムの妥当性の検証、そして新たな熱中症予防の指標として修正 SET* を警報レベルの指標として用いる有用性と限界、および改善にむけての方向性について検討する。

本項の研究の目的である新たな熱中症予防システム構築に向けた概要図を Fig. 3-3 に示す。

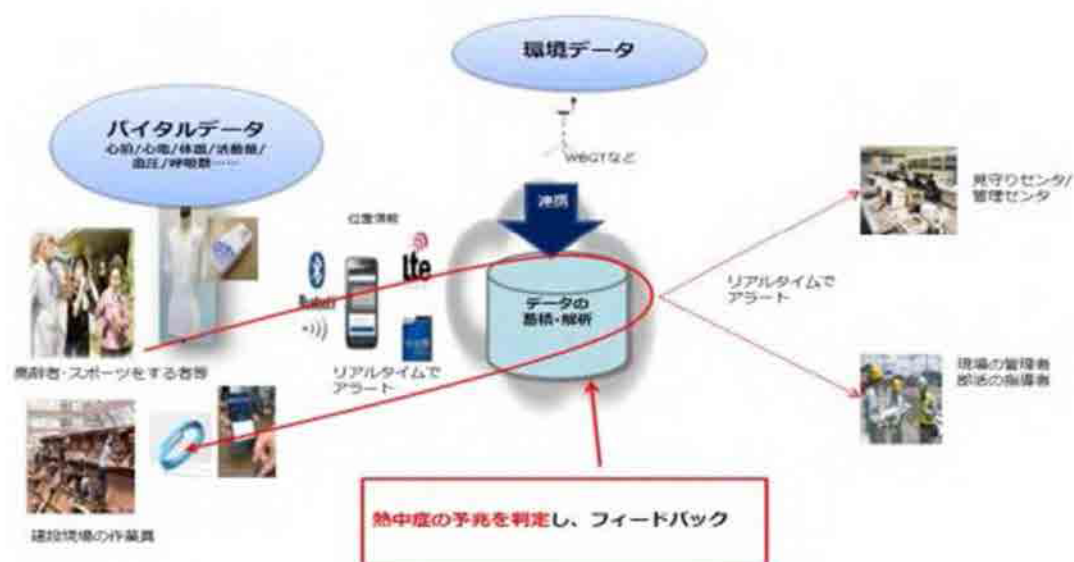


Fig. 3-3 本研究の目指す熱中症予防システムの概要図

将来的には高齢者やスポーツ従事者・建設現場作業員などのバイタルデータと環境のデータを蓄積、熱中症リスクを解析し、リアルタイムで警報を発信する。本人だけでなく、部活の指導者や建設現場の管理者などへの発信もし、熱中症に陥る前に作業を中断させるなどの措置を取れるようなシステムの構築を目指す。

本研究では、教育環境での熱中症予防に焦点を絞り、特に部活動や体育の授業などのスポーツ時の熱中症予防に向けてのシステム作りをめざす。よって対象者を基本、本学の運動部に所属の大学生とし、環境の温熱評価も運動を行う屋内、屋外での環境を運動場、体育館での運動を想定した。システムの送信対象を、本人や部活動の指導者、マネージャーとし、熱中症に陥る前に作業を中断させるなどの措置を取れるようなシステムの構築を目指す。

3-1 ウェアラブル無線 BAN システムの構築

杉本千佳
横浜国立大学

3.1.1 はじめに

生活環境において人の快適性状態や健康状態を計測・評価するためには、ウェアラブル無線 BAN システムが必要である。ウェアラブルセンサと体のまわりのネットワークである BAN (ボディエリアネットワーク) によりデータを取得し、コーディネータを介してより広域のネットワーク (PAN、WAN) に接続することで、広くデータの活用が可能になる。日常において様々な活動をしているときの生体情報を計測し、各行動中にバイタルがどのように変化するかを検証することで、熱中症予防のための生体評価モデルを作成することを目指す。

3.1.2 ウェアラブル無線 BAN システムを構成するセンサの開発

まず、温熱的快適性を実験室環境外の日常生活において評価するため、温熱生理計測の評価項目を検討し、ユーザーの装着・測定負担が低く、PC 等のコンピュータ端末でリアルタイムにデータモニタリングできるようなウェアラブル無線 BAN システムを開発した。初年度開発したシステムを構成するウェアラブルセンサは、①耳装着型体温計 (図 1)、②衣服内気候計測計 (小型温湿度計) (図 2)、③貼付型皮膚温計 (小型温度計) (図 3)、④貼付型心拍・温度・3 次元加速度計 (活動量計) (図 4) から成る。



図 1 耳装着型体温計



図 2 衣服内気候計測計



図 3 貼付型皮膚温計



図 4 活動量計

3.1.3 ウェアラブル無線 BAN システムを構成するセンサの改良

耳装着型体温計は、次年度にセンサ部構造の改良による温度計測の安定化と外部材質変更による耐久性向上を図り、装着性と温度特性を改善しヘッドフォン型にした (図 5)。本システムは、受信アダプター (図 6) によりノート PC でデータ取得可能であるとともに、日常生活において移動中も常時身につけて連続的なデータ計測を可能とするため、複数のコーディネータでセンサデータを受信可能とし、さらに次年度開発した小型軽量無線データロガー (図 7) でもデータ取得可能としてモバイル性をあげ、コーディネータとデータロガーの双方でデータ受信・蓄積を可能とすることによりデータ欠損を防ぎ、システムを高信頼化している。無線データロガーは小型で運動時等における携帯にも適している。



図 5 ヘッドフォン型耳装着型体温計



図 6 受信アダプター



図 7 小型軽量無線データロガー

PCにセンサを無線接続した場合の構成を図8に示す。専用のアプリケーションをPCにインストールすることにより、データをリアルタイムモニタリング可能である。センサとコーディネータ間の無線方式は、IEEE802.15.4に準拠した周波数2.4GHz帯の無線通信を採用している。信頼性のある通信を実現するためTCPプロトコルをとり、ACKが受信できない場合の再送処理回数や送信エラーのタイムアウト時間を適切に設定するようTCP/IP実装し、通信信頼性を高めた。また、TDMA方式により、複数のセンサからの同時アクセスを可能にした。

構成した各センサのデータサンプリング周波数は、①-③が1Hz、④が204Hzである。一般的なオフィスと家庭において通信性能を評価した結果、平均データロス率はオフィス環境では①-③が0.01%、④が0.42%、家庭環境では①-③が0.02%、④が0.65%であり、再送により信頼性が向上していることが確認された。オフィスと家庭では、部屋の広さや設置物、構造・材質の違いがあり、また利用されている無線電波環境の違いもある。環境によって差があるため一概には評価できないが、本目的においては概ね十分な性能と言える。

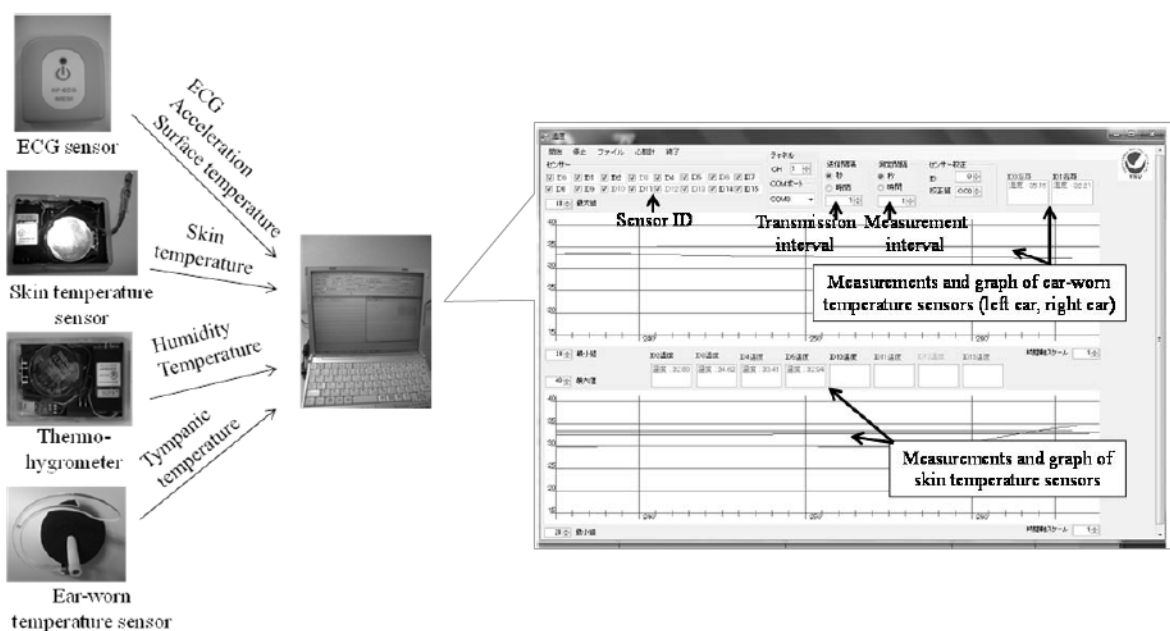


図8 PCにセンサを無線接続した場合の構成

3.1.4 ウェアラブルBANシステムの改良

ウェアラブル無線BANシステムの小型化・高信頼性・ユーザビリティ向上を図るため、センサ実装方法とデータ送受信方法は何度か改良を行っている。「耳装着型体温計」はセンサ部構造をさらに改良し、計測時の温度特性の安定化を図った(図9)。「衣服内気候計測計」および「貼付型皮膚温計」は、センサ等各種部材と実装方法を見直し、チップ基盤を新たにおこし、部材の変更、電池の小型化、ハード・ソフトでの低消費電力化、実装の工夫を行うことにより、これまでの半分強の大きさの小型化と頑強化を実現した(図10,11)。このシステムを用いることで、フィールド環境および人工気候室で低拘束に温熱環境下で



図9 改良型耳装着型体温計



図10 衣服内気候計測計



図11 貼付型皮膚温計

の生体情報計測・評価実験を行うことを可能にした。各種作業時や運動時の常時生体情報モニタリングシステムとして、取得したデータからの熱中症行動・状態モデルの構築と新たな評価指標の検討を行なった。

3.1.4 ウェアラブル BAN システムを用いた熱中症予防支援システムを構築

さらに、熱中症予防支援システムを構築するため、コーディネータとしてモバイル端末（スマートフォン等）を用いてウェアラブル無線 BAN システムにより計測された生体情報をサーバに送信し、その状態を解析評価して情報支援のためのフィードバックを行うネットワークシステムを設計・開発した（図 12）。センサにより計測されたデータはモバイル端末（以下、スマートフォン）に保存できるとともに、スマートフォンにより外部ネットワークに接続し、データを設定時間間隔でサーバにリアルタイム伝送可能である。サーバではデータを受信管理し解析・表示でき、解析結果をスマートフォンに送信できる。また、スマートフォンだけではなく、PC、データロガーでもセンサの測定データを同時に受信可能である。

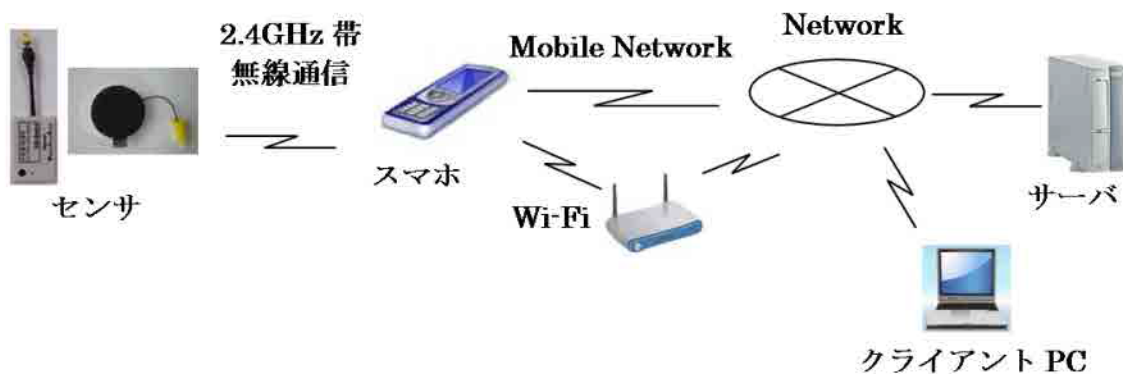


図 12 ウェアラブル無線 BAN システム

生体情報をサーバに送信し、その状態を解析評価して情報支援のためのフィードバックを行うネットワークシステム

また、ウェアラブル無線 BAN システムには含まれないが、熱中症予防のための生理指標として重要な直腸温、放熱量、および発汗量等を既存のセンサを用いて経時的に計測し、サーバにデータ蓄積できるように、データ統合用のアプリケーションソフトを開発した。

これまでに開発したウェアラブル無線 BAN システム、環境中に配置した WBGT センサシステムや温湿度センサシステム等を統合し、サーバ上でデータを収集・蓄積・解析評価し、熱中症予防評価アルゴリズムに基づいて、ユーザーが持つモバイル端末（スマートフォン）に判定結果をフィードバックするための熱中症予防システムを構築した（図 13）。最終的に、モバイルで熱中症予防評価に用いるバイタルデータは、ユーザーの装着負担を軽減するため、深部温度を計測するための耳装着型体温計①と、活動量を計測するための心電センサ④のみとした。ウェアラブルセンサのデータを開発した専用アプリをインストールしたスマートフォンで取得し、ネットワーク接続してサーバにリアルタイムにデータ送信し、サーバに収集された環境情報や属性情報をもとに時々刻々の個別の生体データから状態を判別する。サーバでは、複数のユーザーからのデータを処理できるよう、個別属性を管理している。

このシステムにより、屋内外のフィールド環境においてリアルタイムに温熱状態評価が可能になるとともに、長期間のデータ蓄積による生体状態の解析評価が可能になる。よって、取得したデータから熱中症予防評価モデルの更なる改良と新たな評価指標の構築が期待される。

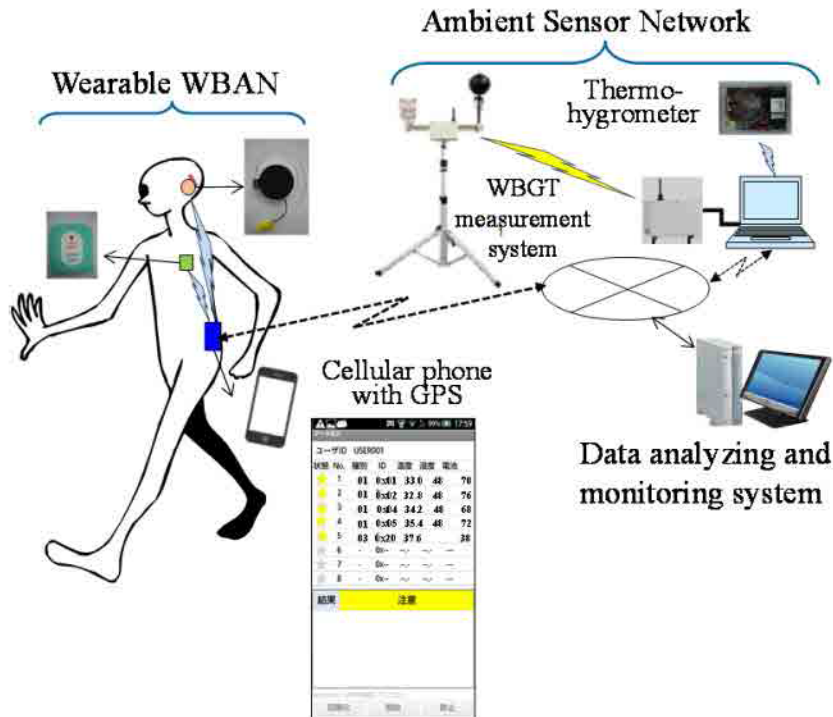


図 13 熱中症予防システム

学術論文

[1] Kento Takabayashi, Hirokazu Tanaka, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno, Multiplexing and Error Control Scheme for Body Area Network Employing, IEEE 802.15.6, IEICE TRANS. Communication, VOL.E97-B, NO.3, pp.564-570, March 2014

国際学会発表

- [1] K. Yamasue, K. Takizawa, K. Sodeyama, Chika Sugimoto and R. Kohno, "UWB Body Area Network to Medical Vital Sensing in Hospital and Home Environments," The Sixth International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012), La Jolla (USA), 2012.
- [2] Chika Sugimoto, Human Sensing Using Wearable Wireless Sensors for Smart Environments, Proc. of the 7th International Conference on Sensing Technology (ICST2013), S4C, New Zealand, Dec. 2013.
- [3] Chika Sugimoto, Human Sensing Using Wearable Wireless Sensors for Smart Environments, Proc. of the 7th International Conference on Sensing Technology (ICST2013), S4C, New Zealand, Dec. 2013.
- [4] Kento Takabayashi, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno, Effective Error Control Scheme with Channel State Information for WBAN, 8th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT 2014), 2014.

国内学会発表

- [1] Chika Sugimoto, Yayoi Satsumoto, Evaluation of Heat Stroke Risk in Thermal Environments Using Wearable Wireless Sensing System, 2012 年度 SICE 第 27 回生体・生理工学シンポジウム,北海道, 2012.
- [2] 高林健人・田中宏和・杉本千佳・河野隆二, 無線 BAN のための異なる QoS を考慮した多重化・誤り制御方式に関する一検討, 2013 年度 IEICE ソサイエティ大会, BS-9-2, 福岡, 2013.
- [3] 大日方 裕也, 山末 耕太郎, 杉本 千佳, 河野 隆二, "動的なチャネル推定を利用した UWB-BAN のための干渉対策双方向通信の研究", IEICE_H25 年度第 1 回 MICT 研究会, 小金井, 2013.
- [4] 佐藤 克憲, 山末 耕太郎, 杉本 千佳, 河野 隆二, "無線 BAN に適した送受信情報伝送の一体化による通信プロトコルの研究", IEICE_H25 年度第 1 回 MICT 研究会, 小金井, 2013.
- [5] 佐藤克憲, 山末耕太郎, 杉本千佳, 河野隆二, 低消費電力を考慮した送受信パケットアクセスの一体化による医療 BAN の MAC プロトコルの提案, 2014 年度 IEICE ソサイエティ大会, B-20-3, 2014.

3-2 BAN ウェアラブルシステムを用いての着装時の計測・分析・評価

3-2-1 某クールビズ実施オフィスの温熱環境と皮膚温への影響に関する実態測定

榎本 ヒカル¹⁾，薩本 弥生²⁾，杉本 千佳³⁾

¹⁾東京福祉大学教育学部，²⁾横浜国立大学教育人間科学部，³⁾横浜国立大学工学研究院

要旨：本研究ではクールビズ実施オフィスにおいて、その温熱環境とそこで働く人の温熱的人体反応を計測する調査を行った。調査項目は温熱環境については室温、相対湿度、気流速度、平均放射温度の4要素、人体反応としては皮膚温4点と耳内温、衣服内温湿度、および主観的申告類である。このうち皮膚温・耳内温・衣服内温湿度は新たに開発されたワイヤレス測定装置にて測定を行った。

1. はじめに

2005年6月より始まったクールビズ運動に伴い、以前は夏期のオフィスでよく報告されていた“冷房病”はほぼみられなくなった(榎本、2009)。しかしながら様々な調査で「クールビズは少々暑い」などの報告がされており、オフィスの設定温度に関してはさらなる検討の余地があるといえる。さらに夏期には近年は連日のように熱中症による救急搬送や死亡例が報道されており、日中多くの時間を過ごす労働環境において温熱環境条件を適切に保つことは非常に重要な課題であるといえる。そこで本稿では、クールビズ実施オフィスにおける実際の温熱環境とそこで働く人の皮膚温を測定し、オフィス温熱環境の現状の評価を試みたのでそれを報告する。

2. 方法

2.1 調査対象と調査時期

調査は埼玉県平野部にある某オフィスにて行われた。建物は2004年竣工で、調査対象事業者は2005年度よりクールビズ・ウォームビズを積極的に行っている。

調査対象者は当該オフィス3階にて勤務する男性2名、女性3名の計5名であった。勤務内容は一般事務や研究・開発管理関係であり、全員が私服で勤務していた。調査は2012年8月上旬に行われた。

2.2 調査方法

調査は、建物内温熱環境測定と、そこで働く被験者の人体反応計測からなる。

建物内温熱環境の測定項目は、気温、相対湿度、気流速度、平均放射温度で、複合計測器にて1分間隔で測定した。また外気の気象条件については最寄りの気象台のデータを使用した。

被験者の人体反応計測として今般新たに開発された、ワイヤレス型の温湿度計測装置を用い皮膚温と耳腔温を測定した。測定機器は親機(データロガー)と子機(温湿度計測機)からなり、親機は大きめのマッチ箱程度、子機は切手程度の大きさである。子機の温湿度測定部を皮膚表面にサージカルテープで貼り、親機を各自の着衣のポケットに入れて使用する。この方法で皮膚温4点から6点を計測し、4点法にて平均皮膚温を算出した。

計測は就業時間中のほぼ丸1日かけて行い、被験者には温冷感、温熱的快適感申告を30分に1回程度行ってもらった。そのほかに着衣状況を含めたフェイスシート調査を行った。

3. 結果および考察

3.1 温熱環境

図1に、被験者毎の皮膚温測定時間中の周囲気温とPMV値の変動を示す。PMV値は被験者毎に計算し、それぞれの周囲温熱環境要素と被験者の個別の着衣量および代謝量を1.1Metsとして計算した。

周囲気温は概ね25°Cから27.5°C程度であり、PMV値はISO7730で推奨される $-0.5 \leq PMV \leq 0.5$ の範囲に多くの時間は入っていたが、 $0.5 < PMV$ となる時間もあった。PMV値が -0.5 以下となる時間は始業前の空調機の立ち上がり時間である。

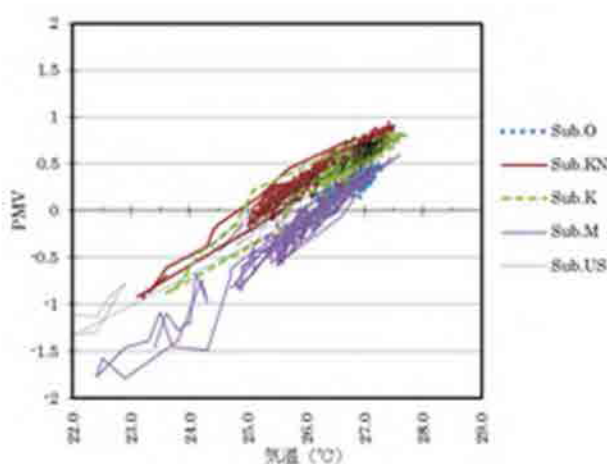


図1 気温とPMVの相関

3.2 平均皮膚温

図2に、周囲気温と平均皮膚温の相関を被験者毎に示す。平均皮膚温は33.5°C前後の状態が大多数であったが、被験者によっては殆ど33°C以下の者もいた。比較的平均皮膚温が高い被験者KN、USは男性でこの2名のclo値は0.52clo、被験者Kは女性であるが着衣量が0.44cloであったのに対し、被験者O、Mは女性であり薄着（着衣量0.32clo）であったことがその原因として考えられる。男性2名の平均皮膚温は34°Cを超えている時間も長く、暑い環境であることが窺われる。

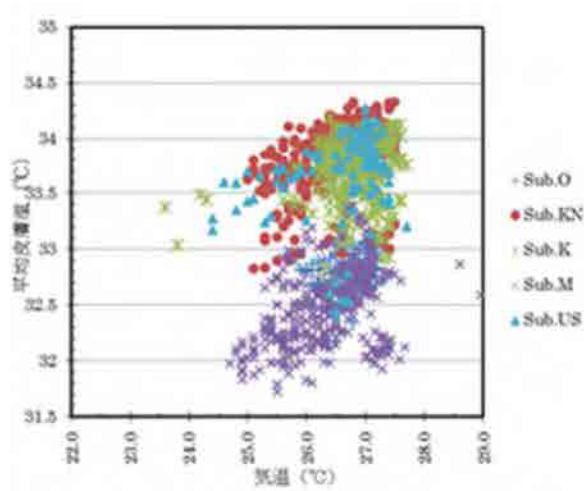


図2 気温と平均皮膚温の相関

3.3 環境と申告の関係

図3に、左耳腔温の経時変動を、被験者毎に示す。耳腔温はほぼ、36.0～37.5℃を示しており、個人差がみられる。図2と比較すると、耳腔温が37℃以上と比較的高めだった被験者の平均皮膚温も高い傾向が認められる。

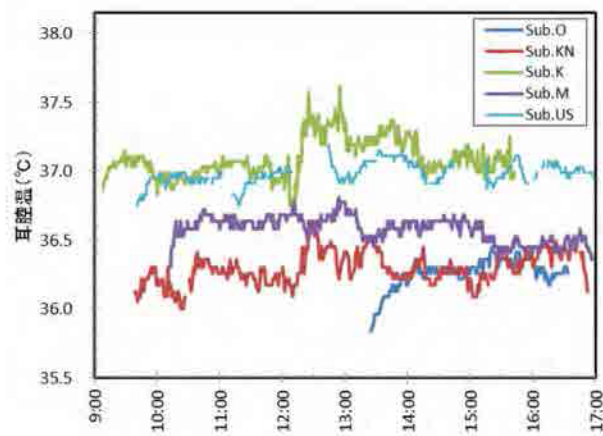


図3 左耳腔温の経時変動

3.4 環境と申告の関係

図4に、温冷感申告とそれを申告した時点のPMV値の相関を示す。被験者は比較的環境を「涼しい」側に評価していたことが窺われる。

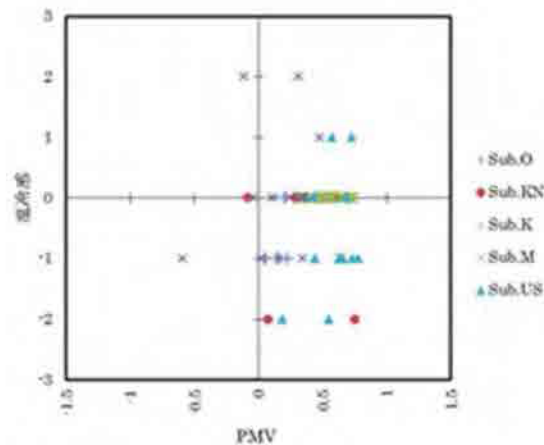


図4 PMVと温冷感申告の相関

4. まとめ

本調査で以下のことが明らかになった。

室内周囲気温はほぼ 28℃以下であり、“クールビズ”の温熱環境であった。

個別の PMV 値は周囲気温と相関しているが個人差もみられた。概ね周囲気温が 25℃から 27℃の時に PMV 値は±0.5 の範囲に入っていた。

平均皮膚温は、34℃以上の時間が長く続く人 (KN, K, US) がいる一方、終日 33℃以下の人 (O, M) もいる男性被験者は 2 名とも、34℃以上の時間が長く続いた。

主観的申告は、PMV 値が 0.5 以上であっても「涼しい」側の申告となっているケースが多くみられた。

以上、温熱環境が比較的悪くはないクールビズオフィスにあっても、皮膚温が高くなっている状態がみとめられた。

謝辞 調査対象オフィスの皆様に謝意を表します。

なお本研究は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(A) 23240099 無線通信による熱中症予防支援システムの構築と被服環境デザインの最適化、研究代表者：薩本弥生）の助成を受けたものである。

5. 文献

榎本ヒカル、池田耕一、東賢一、栃原裕、2009.「クールビズ」導入オフィスにおける勤務者の温熱環境評価、労働安全衛生研究、2(1) :p.5/10.

3-2-2 暑熱環境の陸上競技場でのTシャツのデザインの工夫による換気増進効果の検討

薩本弥生¹⁾, 中田いずみ²⁾

¹⁾ 横浜国立大学, ²⁾ 元横浜国立大学大学院

1. はじめに

近年、地球温暖化や都市気候により日本の夏の気温は上昇傾向を示しており¹⁾、夏季を中心に熱中症が毎年多数報告されている。平成25年夏期の全国における熱中症による救急搬送人員は58,729人で、昨年に比べ約1.3倍増加し、平成22年の調査開始以降で最多の搬送人員数となった^{2),3),4),5)}。また、暑熱馴化が起きていない春先には比較的温暖な温度域で熱中症を発症する事例もある。熱中症を予防するには暑さを避け、こまめに休憩を取り水分を補給することなどが必要であるが、体育の授業や部活動等、実際の教育活動の現場では、厳しい暑熱環境下であってもスポーツが行われている現状がある。

暑熱環境下の温熱的快適性には環境要因、人体要因のほか、着衣の熱水分移動特性が重要な役割を果たし、衣服は身体からの放熱量、外部からの輻射熱、水分蒸発の3つの観点から人体周りの熱収支の調節ができるものとしてその役割は大きい。特に、暑熱環境下では環境と皮膚温との温度差が小さく、発汗が重要な放熱の手段となるため、汗の蒸発による蒸発放熱を促進するような衣服が望まれる。

暑熱環境時の熱中症予防のために、暑熱時に温熱的に不快感を減らすための条件として着衣素材の種類のみでなく着衣のデザインを工夫する必要がある。

屋外競技の一つである陸上競技用ウェアは比較的被覆面積が小さく軽装で野球や剣道のような着衣量による負荷の大きいスポーツと比較して不快感は小さいが、このようなウェアでも過酷な暑熱環境では、熱中症が生じる危険性がある。しかし、すでに素材や被覆面積を減らすデザインの工夫による改良には限界がある。そこで、熱中症対策として有効なデザインの工夫として、ウェア背部にコインが挿入され、ふいご作用が生じやすいように工夫したウェアを著者らと共同研究を行っているM社が開発した。本研究では、このウェアのふいご作用が陸上競技場でのランニング時に効果があるのか、コインの有無により熱水分移動性及び人体生理に与える影響を比較することで検証する。暑熱環境下における熱中症予防に適したウェアとしてふいご作用を即したTシャツが妥当であるか検討することを目的とする。

2. 方法

2.1 実験着衣

コインの有無による効果を比較するため、フィールド実験を行った。本実験で検討する着衣について Fig.1 に示す。

ウェアの背部のウエストの高さにコインが入るポケットが設置されており、このコインにより動作時のウェアの揺動が増幅され、ふいご作用がより起きやすくなり、放熱効果が高くなるとうたわれている。KESによる材料物性実験により計測した着衣試料の諸元を Table1 に示す。ウェアの素材は吸水速乾性のポリエステル製である。比較のため、野球用のインナーに使われている CGS 素材の物性も併記した。

2.2 実験手順

本実験では、屋外のため、太陽光の輻射を考慮し、白色を用いた。比較のため紺と白で日射特性の違いを、EKO MR-60 および EKO MS-602 を用いて計測を行った。計測結果を Table2 に示す。



Fig1 The sport wear accelerating bellows action by insert the coin in the back.

Table1 Characteristics of sport wear

Measured properties	T-shirt	CGS
Thickness d (mm)	0.40	0.47
Thermal conductivity λ (W/m/K)	0.04	0.06
Thermal resistance d/λ ($K \cdot m^2/W$)	0.010	0.008
Air permeable resistance ($kPa \cdot s/m$)	0.01	0.01
Cool feeling (W/cm^2)	0.10	0.15

Table2 Radiation properties of wear.

Color of wear	reflectivity	absorptivity	transmissivity
white	35.4	51.0	13.6
navy	15.4	76.8	7.8

白色ウェアの反射率が 20%大きく、吸収率が 25.8%小さく、透過率も 5.8%大きいため日射を遮蔽する素材であることが分かる。

被験者は横浜国立大学体育会陸上部男子部員 8 名で年齢 20.6±1.2 (歳)、身長 173.9±5.6 (cm)、体重 58.1±3.1 (kg)、BMI19.2±0.9、体表面積 1.72±0.03

(cm²)である。被験者は実験開始約 30 分前に本学運動場管理棟控室に入室した。上半身裸体、裸足の状態で体重計測の後、直腸温の挿入を行った。その後、口腔温を計測しながら、各センサ (皮膚温付熱流計 3 点、(胸、背中上、背中下)、衣服内温湿度計 2 点 (胸と背中)、皮膚温計 4 点 (胸、上腕、大腿、下腿)、左耳孔内温度計、直腸温計、心拍計、運動強度) を貼付、装着した。熱流計は皮膚温内蔵型で 1cm×1cm の小型熱流計 (型式: S11A) を用いた。衣服内湿度、皮膚温、耳孔内温は本プロジェクトで開発した無線温度センサ付きログで計測した。データは 10 秒毎にログに収録した。直腸温は、有線温湿度センサ付きログ (型式:LT-8A/グラム株式会社製) を用いて専用の直腸温用プローブを用いて有線センサで 1 秒毎に計測した。心拍計はトレーニングコンピュータ (型式:RS800CX/Polar Electro 社製) を使用した。センサの取り付け位置を Fig.2 に示す。

被験者は実験着を着用し、主観申告 (温冷感、湿潤感、快適感、べとつき感、蒸れ感の 5 項目) を行った後、各センサを貼付後、200ml のスポーツドリンクを飲み、実験着に着替え、26°C に設定した控室にて約 10 分間安静にした。本学内の陸上競技場へ移動し、20 分間ランニングを行い、場内の木陰で椅子安静で回復期の計測を 20 分間行った。回復期にかいた汗は随時タオルでふき取り素早く密閉袋にタオルを戻した。なお、15 分間の回復期の終了時に各センサの計測を終了した。控室に戻り、口腔温を計測しつつ直腸温を含む各センサを外した。その後、上半身裸体、裸足の状態で体重計測を行い、スポーツドリンクを飲用了。実験のタイムテーブルを Table3 に、実験の様子を Fig.3 に示す。被験者には研究主旨を十分に説明し、承諾を得た。

主観申告の項目を Table3 に示す。

2-3 データ解析方法

データ処理は統計処理ソフト SPSS Ver.20 を利用し対応のある平均値の差の検定を行った (有意水準 † : $p < 0.10$, * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$ を有意)。

Table3 Time table of experiments (●Subjective rating)

rest sitting on a chair in 10min.	running 10 times in 400m track in 20min.	recovery sitting on a chair in20min.
●●●●●	●●●●●	●●●●●



Fig.2 Position of sensors attached



Fig.3 Photograph of subject running the track.

べとつき感		温冷感		湿潤感		快適感		蒸れ感	
非常にべとつく	5	とても暑い	3	飽和状態	6	非常に快適	3	とても蒸れている	5
べとつく	4	暑い	2	とても濡れている	5	快適	2	蒸れている	4
ややべとつく	3	やや暑い	1	濡れている	4	やや快適	1	やや蒸れている	3
べとつかない	2	どちらでもない	0	湿っている	3	どちらでもない	0	蒸れていない	2
全くべとつかない	1	やや寒い	-1	やや湿っている	2	やや不快	-1	全く蒸れていない	1
		寒い	-2	乾いている	1	不快	-2		
						非常に不快	-3		

3. 結果と考察

3.1 コインの有無の熱通過率への影響

計測した3箇所のうち、背中上の熱通過率の結果をFig.4に示す。

背中上においては5%水準で有意にコインを入れない時よりも、コインを入れた時の方が、熱通過率が増加し、熱が逃げやすくなることが明らかになった。胸と背中下においてはコイン有の方が大きかったものの有意差は見られなかった。総発汗量は、有意差はなかったがコイン有の方が、総発汗量は少なかった。コインのふいご作用で若干、温熱負荷が軽減されたことが示唆された。

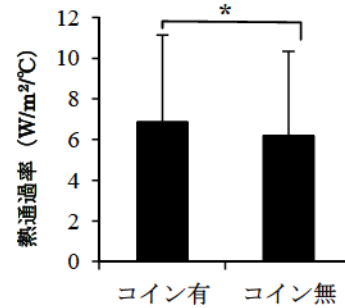


Fig.4 Effect of coin on heat transfer coefficient at the upper back.* : $p < .05, N=6$

3.2 コインの有無の衣服内気候への影響

胸の衣服内温度の計測結果をFig.5に示す。

胸の衣服内温度では、安静時と、コインの揺れによるふいご効果が期待できる走行時に、コイン有の方が、0.1%水準で有意に低値を示した。しかし、回復時には逆転した。動作時には冷却効果があるものの、動作がない時の冷却効果の持続性には課題があることが明らかとなった。一方、背中上の衣服内温度においては安静時と回復時にコインを入れた時の方が、0.1%水準で有意に低値を示した。衣服内湿度はフィールドでの無線センサの受信状況の限界で、欠損値が多く、解析を断念した。

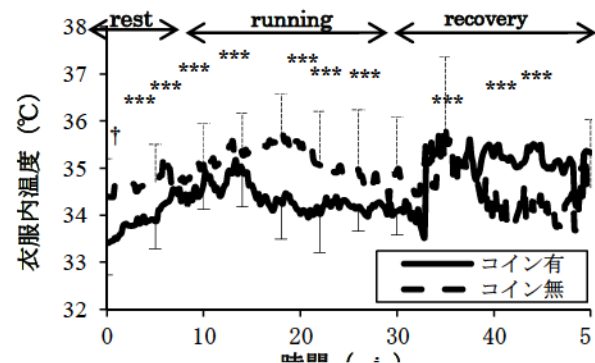


Fig.5 Effect of coin in the back on clothing microclimate temperature at the chest.† : $p < .10$, *** : $p < .001, N=8$

3.3 コインの有無の平均皮膚温への影響

平均皮膚温においても、安静から回復まで0.1%水準で有意にコイン有の時の方が低値を示し、特に回復期にはその差が大きく広がっており、コインによる揺れの増幅に伴うふいご効果による皮膚表面への冷却効果が見られた (Fig.6)。

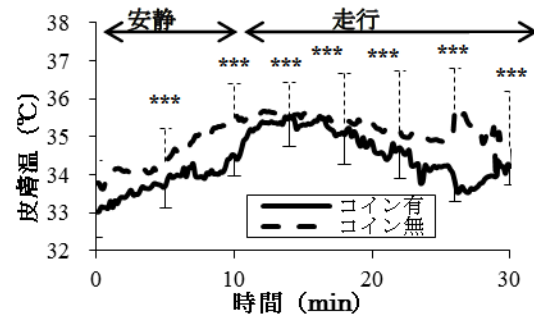


Fig.6 Effect of coin in the back on average skin temperature.*** : $p < .001, N=8$

3.4 コインの有無の心拍数への影響

心拍数においても差は小さいものの、安静から回復までのほとんどにおいて0.1%水準で有意にコイン有の時の方が低値を示し、コインによる揺れの増幅に伴うふいご効果で、温熱ストレスが軽減されたことが示唆された (Fig.7)。

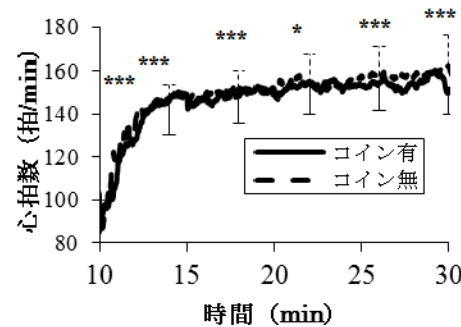


Fig.7 Effect of coin in the back on heart rate during running. * : $p < .05$, *** : $p < .001, N=8$

3.5 コインの有無の耳孔内温への影響

耳孔内温は皮膚温と同様の無線センサを使用して計測しておりフィールドでの無線センサの受信状況の限界で欠損値が多く、安静と走行の30分間のみの計測となった。耳孔内温でも、心拍同様、差は小さいものの、走行時において、0.1%水準で有意にコイン有の時の方が、低値を示し、コインによる揺れの増幅に伴うふいご効果で、温熱ストレスが軽減されたことが示唆された (Fig.8)。

3.6 コインの有無の直腸温への影響

直腸温においては全体を通してコイン無しの方が低値を示したが有意差は見られなかった (Fig.9) .

3.7 コインの有無の被験者の主観申告への影響

主観申告の調査結果について、温冷感の結果を Fig 10 に示す。温冷感へのコインの有無の有意な効果は認められなかった。このことより本研究のふいご作用を増幅させたウェアは一定の冷却効果があったが主観に有意な効果をもたらすには、さらなるデザインの工夫が必要であることが示唆された。

4. まとめ

暑熱環境下での熱中症予防に背部にコインを入れることでふいご作用が増幅するデザイン上の工夫をしたスポーツウェア実際に効果があるかを陸上競技場での走行実験により検討した。実験結果よりコイン有のウェアで胸と背中上の衣服内温湿度と平均皮膚温において有意に低値を示し、熱通過率も有意に増加し、ふいご作用の増幅による放熱の促進に貢献することが明らかとなった。心拍数、左耳孔内温へも有意な冷却効果がみられた。しかし、直腸温および温冷感申告では有意差が認められなかった。本研究のふいご作用を増幅させたウェアは一定の冷却効果があったが主観に有意な効果をもたらすには、さらなるデザインの工夫が必要であるといえる。

謝辞 本研究は科学研究費補助金一般研究 A(23240099),平成 23-26 年の助成により実施した。お礼申し上げます。

文献

- 1) 井幕知伸,堀越哲美;日本における夏季の体感気候の経年変化と分布に関する研究 - 予測至適着衣量を用いた涼しい夏の表現 - ,人間と生活環境,20(1),13-27,(2013)
- 2) 総務省消防庁;平成 24 年夏期 (6 月~9 月) の熱中症による救急搬送の状況,(2012)
- 3) 総務省消防庁;平成 25 年夏期 (6 月~9 月) の熱中症による救急搬送の状況,(2013)
- 4) 総務省消防庁;平成 24 年都道府県別熱中症傷病者搬送人員数,(2012)
- 5) 総務省消防庁;平成 25 年都道府県別熱中症傷病者搬送人員数,(2013)

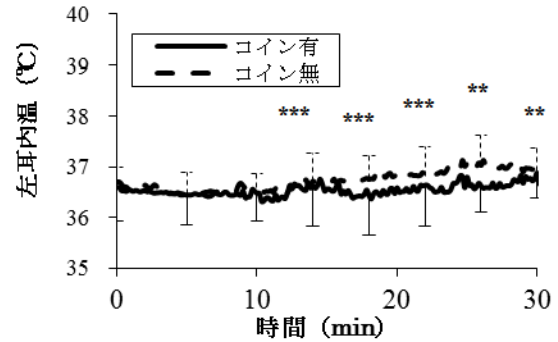


Fig.8 Effect of coin in the back on external ear temperature during running. **: $p < .01$, ***: $p < .001$, N=8

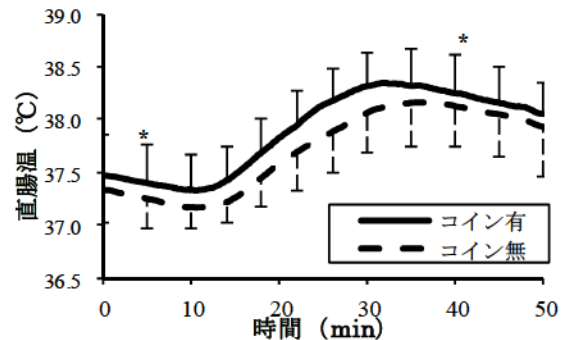


Fig.9 Effect of coin on rectal temperature. *: $p < .05$, N=8

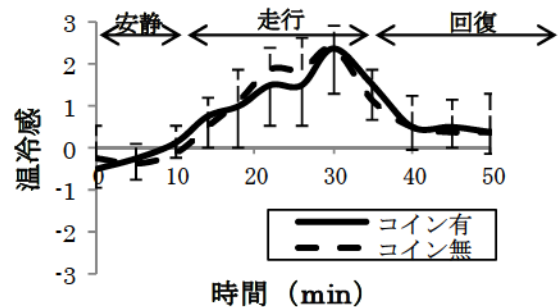


Fig 10 Effect of coin on thermal sensation. n.s : not significant, N=8

以上の内容を以下の HES38 のシンポジウムで口頭発表した。38th Symposium on Human-Environment System HES38 in Nagasaki, 6-7 Dec., 2014

3-3 WBGT を用いた熱中症予防支援システムの構築と検証

中田いずみ¹⁾、薩本弥生²⁾、杉本 千佳²⁾、 田中英登²⁾

1)元横浜国立大学大学院, 2)横浜国立大学

1.目的

暑熱環境下のスポーツ時には、熱中症が毎年多数報告されており、暑熱馴化が起きていない春先には、比較的温暖な温度域で熱中症を発症する事例もある。

そこで現行の最もメジャーな温熱物理指標である WBGT を用い、熱中症予防警報システムを横浜国立大学内に構築し、そのシステムを用いて 6 月～9 月の夏季の部活動中の熱中症予防のために WBGT を元にした警報メール配信とともに毎日の部活動の活動レベルや着衣状況等の調査を実施し、現行の熱中症予防システムが環境把握・改善に寄与するか、効果と課題を明らかにすることを目的とする。

2.方法

現在の熱中症予防のための運動指針には、人体の熱収支に影響の大きい気温、湿度、輻射熱の 3 つを取り入れた WBGT (湿球黒球温度) が主に用いられて、警戒レベルが 5 段階に規定されている。前述のように昨年度、屋外・屋内での運動中の熱中症予防のために運動場 2 箇所 (テニスコートと野球場) と体育館に WBGT 計測機を設置し、無線で受信できるシステムを構築した (Fig.1)。



Fig.1 熱中症予防のための支援システムの構築

(Fig.1)。5 段階の警戒レベルのうち、指定段階以上 (現在レベル 2 指定) になると、

レベルが上がるタイミングで、1 日に最大 4 回あらかじめ登録されている携帯メールに送信することにより、熱中症予防警報を配信した。また、昨年の予備調査により部活動開始時刻が 16 時頃の部活が多かったため、毎日 16 時にも定時メールを配信した。さらに本学の課外活動中の部員等を対象に協力を要請し、6 月～9 月の夏季の部活動中に、このシステムの警報がどの程度、主観とあっているか等の、アンケートを実施した。配信対象者と調査対象者がすべて同じではないため、配信対象者と調査対象者を分けて示す。メール配信対象者は本学大学生・大学院生 (以下学生と略) 65 名 (男性 44 名、女性 21 名)、神奈川県県立高校の教員 5 名 (男性 4 名、女性 1 名) の計 72 名である。調査対象者は本学学生 85 名 (硬式テニス部 (テニス部と略) 男性 23 名、アメリカンフットボール部 (アメフト部と略) 男性 35 名、陸上競技部 (陸上部と略) 男性 4 名、女性 1 名、硬式野球部 (野球部と略) 男性 5 名、剣道部男性 9 名、女性 2 名、部活動非所属者男性 4 名、女性 4 名、計男性 78 名、女性 7 名) である。調査内容は、活動量 (かなりハード⇔ソフトの 5 段階)、主観 (快適感、温靈感、湿潤感、べとつき感、蒸れ感各々 5 段階)、警報メールの配信内容と主観の一致度 (主観よりも低い⇔主観よりも高いの 5 段階)、水分補給の頻度 (5 段階)、活動場所 (屋内・屋外)、着衣量を共通項目にし、運動者には、活動時間、着衣の素材、休憩の頻度を追加で調査した。基本、質問項目は 5 件法で回答させた。

3. 結果と考察 :

3.1 アンケート調査結果

調査回答対象者は運動部が非運動者の 10 倍以上多い延べ 347 人、性別については、男子が女子の約 10 倍の延べ 338 人であった。所属部活はテニス部が延べ 172 人と最も多かった。4 か月間の回答者の述べ人数は 373 人であった。回答の多い活動月は、8 月が 161 人と最多、次いで 7 月が 140 人だった。活動開始時刻は 16 時が 140 人と最多、次いで朝 8 時が 107 人だった。本配信において、16 時に定時

のメール配信をしたことが妥当だったといえる。活動時間については、4時間以上が161人と最多で、一度部活を始めると4時間以上の長時間、活動が実施されている実態が明らかとなった。活動量の所属毎の特徴を以下に記す。活動量については、テニス部とアメフト部は“かなりハード”、“ややハード”がほとんどで、野球部と剣道部でも“ややハード”に最も多く回答しており、運動量が多いことが明らかとなった。陸上部では、“かなりハード”から“ソフト”までばらつきが多かった。部活動非所属者では“かなりハード”の回答者はなく、“普通”という回答が最も多かった。着衣量の所属毎の特徴をFig.2の着衣の組合せ回答割合、Fig.3の附属品の着用状況により4か月の合計回答数で示す。

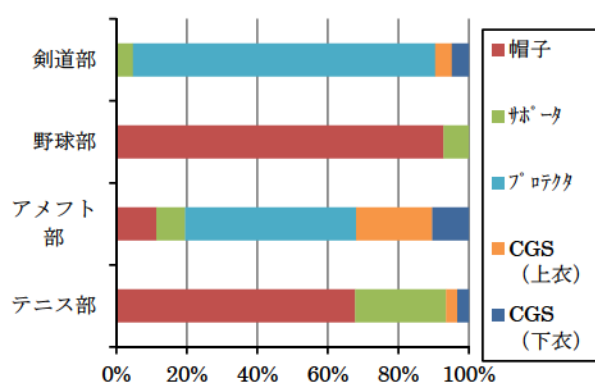
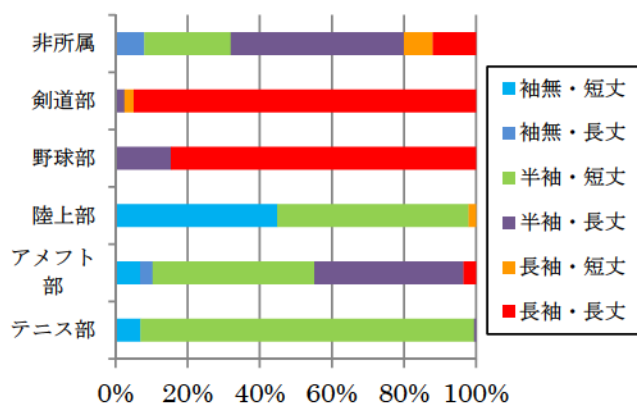


Fig.2 所属毎の着衣の上下の組合せの回答割合

Fig.3 所属毎の附属品の着用状況

着衣の組み合わせではテニス部、陸上部では、“半袖・短丈”が最多だが、陸上部では“袖無・短丈”とさらに軽装も同数近く回答があった。アメフト部は、“半袖・短丈”が最多で、“半袖・長丈”が次いで多かった。剣道部と野球部は“長袖・長丈”という回答が最多で、暑熱環境でも全身を覆う被覆面積が多い着衣形態であることが明確となった。剣道部や野球部では剣道着や野球のユニフォームを着用していたことが推察できる。部活動非所属者については、“半袖・長丈”が最多で、次いで“半袖・短丈”であった。Fig.3より附属品に関しては剣道部、ついでアメフト部でプロテクタ（防具）の回答が多かった。剣道部では、剣道着という被覆面積の多い着衣の上にさらに防具を着用していることが明らかとなり、暑熱環境下であっても、着衣量が多いことが確認できた。アメフト部でも基本・着衣の下にCGSを、上にプロテクタ（防具）を着用していることがうかがえ、これらの部活では被覆面積が多いに加え、重ね着による暑熱負荷が多いことが確認できた。テニス部と野球部においては帽子の着用が最多で日射対策がなされていた。一方、陸上部では帽子を含め附属品の着用回答者がいなかった。

屋外のスポーツでも所属により慣習が異なると推定される。身体密着型の衣服であるCGSは上衣、下衣とも被覆面積が大きく多量の汗をかくアメフト部が最多で、次いで剣道部が多く、テニス部でも若干着用されていた。汗処理としてCGSが期待されていることが推察される。

素材については、野球部以外は部活動の所属、非所属に関係なく“上下とも合繊”という回答が最多であった。アメフト部と野球部では、“上下とも合繊”と“上衣が合繊で下衣が天然”という回答もあり、特に野球部では“上下とも合繊”と同数であった。また、剣道部においては、6月と7月において“上下とも天然”という回答があり、少数ではあるが暑熱環境下に練習着として伝統的な綿の剣道着を上下着用している実態がうかがえた。

主観申告の1つである快適感について、月毎の特徴をFig.4に、所属毎の特徴をFig.5に示す。

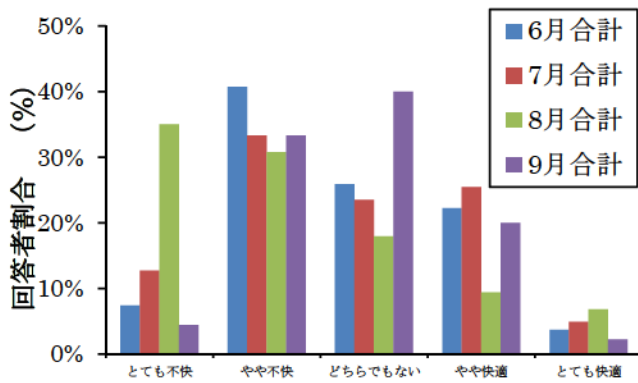


Fig.4 月ごとの不快感申告の回答割合の推移

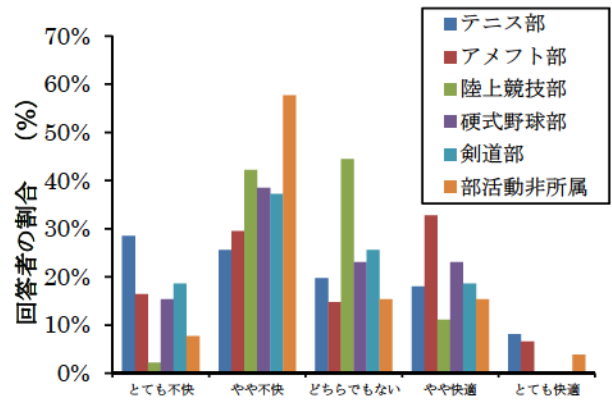


Fig.5 所属ごとの不快感申告の回答割合

6月から7月には“とても不快”が漸増するが10%前後であるが、8月に一気に“とても不快”が35%まで増加する。9月になると“とても不快”が5%を切り、“やや快適”が増加する (Fig.4)。所属と比較すると、テニス部、アメフト部、野球部、剣道部が“とても不快”の回答割合が多い (Fig.5)。

3.2 夏季の WBGT の平均値と各部活場所の温熱環境の特徴

4か月間の回答対象となった WBGT の平均値を Fig.6 に示す。また、晴れの日の各活動場所の黒球温の変化を Fig.7 に示す。

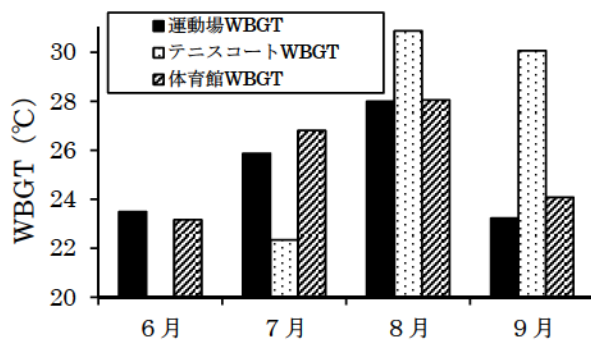


Fig.6 夏季の WBGT 平均値

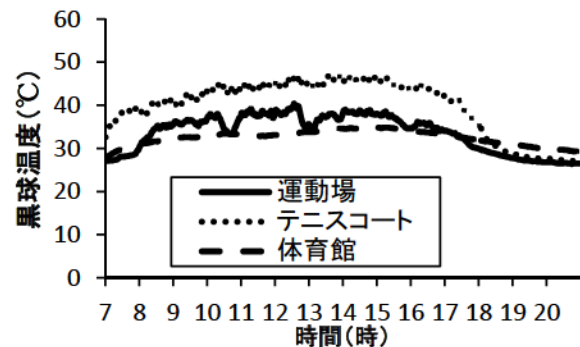


Fig.7 晴れの日の各活動場所の黒球温度の変化

各活動場所ともに8月まで WBGT は上昇し、9月になると下降した。また、運動場と体育館の回答対象となった WBGT の平均値はほぼ同値だが、テニスコートは7月では他の2つよりも低値であったが、8月、9月は高値を示した (Fig.6)。晴れの日のテニスコートの黒球温は早朝から日が沈む18時ころまで他の場所よりも最大7°C位、顕著に高い (Fig.7)。これは、テニスコート (ハードコート) の地面による日射の照り返しの効果と考えられる。一方、日が沈んだ18時以降は、体育館の黒球温が高く維持される。よって夕方以降の部活動では体育館の温熱負荷も大きくなる。

3.3 水分補給の頻度

着衣の被覆面積が高く、活動量も高いと思われるアメフト部において、全ての回答において水分補給が30分より頻度が高い5と回答していた。次いで、テニス部、陸上部、野球部、剣道部においても中央値は“30分に1度”の4であり、テニス部、野球部、剣道部では回答の25%が“30分よりも頻度が高い”との間に回答がされていることが明らかとなった。また、非所属者は中央値が“1時間に1度”であり、運動者よりも水分補給頻度が少なく、回答者の25%が1時間から2時間の間に水分補給を行っていることが明らかとなった。

3.4 休憩の頻度

休憩の頻度では、最も頻りに水分補給をしていたアメフト部が全ての回答において“2時間に1度以上”

と回答していたため、中央値も1と最も少なく、次に陸上競技部と剣道部の中央値が“1時間に1度”、テニス部と野球部では中央値が“30分に1度程度”で休憩を頻繁にとっていた。

3.5 警報メールと主観との関係

配信された警報メールと主観との関係の結果を Fig.8 エラー! 参照元が見つかりません。に示す。

5段階の回答の5は“かなり主観より警告レベルが厳しい”で1は“かなり主観よりも警告レベルが低い”とする回答であるが、どの部活および部活動非所属者も“主観とあった評価であった”と回答する3に中央値が位置し、概ね、主観と一致していると評価していた。しかし、テニス部と剣道部において、回答の25%が“主観とあった評価であった”と“やや主観よりも警告レベルが低い評価であった”とする間にばらついており、主観よりも警告レベルが過小評価であったと評価する傾向が見られた。これらのことから、暑熱環境の厳しい場所で活動量も多い者や、被覆面積の多い着衣を着用している者には現状の WBGT を用いた警報配信システムでは主観と一致しないことが明らかとなった。

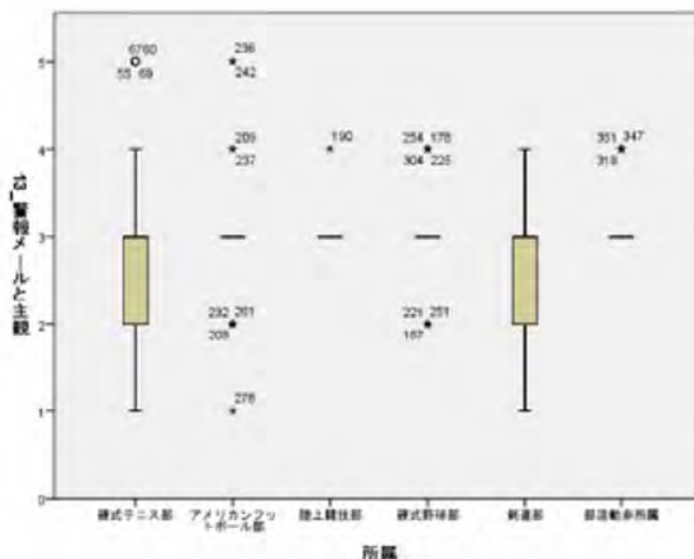


Fig.9 所属毎の配信警報メールと主観との関係

現状の警報システムは環境のデータのみから温熱環境指標を予測しており警報レベルの運動指針としては、不十分と予想される。そこで、今後、BAN 無線システムにより得られる人体側の生理データと組み合わせて被験者の個別の状況に応じて熱中症への移行状態の早期把握と、その予防システムの構築をめざす。

4.まとめと今後の課題

現行の最もメジャーな温熱物理指標である WBGT を用い、昨年度構築した熱中症予防警報システムを用いて6月～9月の夏季の部活動中の熱中症予防のために WBGT を元にした警報メール配信とともに毎日の部活動の活動レベルや着衣状況等の調査を実施し、現行の熱中症予防システムが環境把握・改善に寄与するか、効果と課題について検討した。その結果、現状の警報システムで客観的に毎日の部活動中の温熱負荷を示すことで熱中症予防の効果は得られたが、環境のデータのみから温熱環境指標を予測しており着衣量が多い、あるいは活動量多い、日射の照り返しが激しい部活動では警報レベルの運動指針としては、過小評価と評価するものもいた。そこで、今後、BAN 無線システムにより得られる人体側の生理データと組み合わせて被験者の個別の状況に応じて熱中症への移行状態の早期把握と、その予防システムの構築をめざす。

なお、本報告は中田いずみの 2013 年度の修論の一部としてまとめた[1]。

【引用・参考文献】

[1]中田いずみ, 衣服の着心地に関わる教育プログラムの開発をめざした研究, 2013 年度修士論文

3-4 WBGT による熱中症予防指針の有効性および限界に関する検討

青柳卓也*、薩本弥生**

*横浜国立大学学生, **横浜国立大学

1 背景

人の生理的現象として、中性温域でも常に皮膚の角質層表面や呼吸気道からは不感蒸散と呼ばれる水分蒸発が生じており、1g あたり 2.43kJ/g の放熱を伴う湿性放熱がなされている。暑熱環境下のスポーツ時には、環境温度が上昇し、運動負荷により代謝も上昇するため、血管拡張による皮膚温上昇では体熱平衡が取れなくなり、体温を調節するために汗腺から発汗が生じ、水分の蒸発による蒸発放熱を増加させる。暑熱負荷に対し、血管拡張と発汗反応で対処できる間は体温が一定に保たれるが、それ以上に負荷が増大すると体温が上昇する。さらに発汗による脱水症状が進むと心拍数が増大し、熱中症発症の危険性が高まる。

近年、地球温暖化や都市気候により、日本の夏の気温は上昇傾向を示しており、夏期をはじめ、熱中症が毎年多数報告されている³⁻¹⁸⁾。特に屋外で実施するスポーツ時及び肉体作業時での暑熱障害による死亡例が多く報告されている³⁻¹⁹⁾。また、川原³⁻²⁰⁾は暑熱馴化がおきていない春先には、比較的温暖な温度域で熱中症を発症する事例もあり、さらに本格的な夏が始まる7月下旬から8月上旬にかけて熱中症件数が多くなっていることを明らかにしている。

温熱的快適性には、気温・湿度・輻射・気流の環境要因と諸々の人体要因が影響する。物理的に測定可能な諸要因を元に人間の感覚との関係から体感温指標としたものは温熱環境指標とよばれる。温熱環境指標はその作成過程から2つに大別される。1つは熱平衡式を立て、それに人の生理的・心理的状态値を代入して指標を作る方法であり、Fangerにより提案されたPMV(Predict Mean Vote)やGaggeらの提案する標準有効温度SET* (Standard Effective Temperature) が現在の代表的指標である。もう1つは多数の被験者を用い生理実験を重ね、その結果をまとめて実験式やノモグラムを導くもので、Yaglouが提案する感覚温度または旧有効温度ET(Effective Temperature)がこれに属し、1970年ごろまで代表的な温感指標として使用された。両者の共通の特徴である実験を主として導かれる温熱環境指標は、実験を行った環境と気温、湿度、風速などの条件と同一環境で使用する場合には信頼性は非常に高いが、実験と異なる環境での温熱環境が予測できないところが欠点である。一方、熱平衡式を基礎に導かれる温熱環境指標は未知の環境での温熱環境予測は容易だが、精度に多少難点がある³⁻²¹⁾。

現在、日本体育協会や環境省ではArmstrongら³⁻²²⁾を参考に、温熱指標として湿球黒球温度WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)を採用し、熱中症予防のための運動時や日常生活時の指針を作成して広く世間に公表し、近年では夏期においてTVの天気予報でも報道され、熱中症予防活動を展開している。ここで、屋外、屋内における算出式を各々式(1)(2)に記す。

$$\text{屋外:WBGT} = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T_d \quad (1)$$

$$\text{屋内:WBGT} = 0.7T_w + 0.3T_g \quad (2)$$

ここで、 T_w :湿球温度(°C) T_g :黒球温度(°C) T_d :乾球温度(°C)

この指標はYaglouらにより米国で提唱され、気温・湿度・輻射から算出され国際標準化機構でも基準化されている。WBGTが28°Cを超えると暑熱傷害のリスクは高まり³⁻²³⁾、熱中症死亡数も増加することが報告されている³⁻²⁴⁾。よって、日本体育協会の指針³⁻²⁵⁾ではWBGTが28°Cを超えた環境下での激しい運動の原則禁止を呼びかけている。この指標は生理実験を積み重ね導き出された実験式であるが、Yaglouらの論文にはその熱伝達論的な検討は見受けられない。つまり、それぞれの係数に関し熱伝達理論が考慮されていないということである。簡便な温熱環境指標として重用されているWBGTは提案以来、医学系や体育系の分野から多

くの研究や検討がなされてきたが、これらの検討成果を概観すると、その多くは WBGT そのものの合理性や妥当性よりも、WBGT を正しい値とみなして、WBGT の数値が実際の人体の温熱生理反応とどの程度合致するかに焦点が置かれてきた。国際標準化機構でも基準化されているが、人の温熱的快適性を考える上では十分とはいえないだろう。一般に人の温熱的快適性を考える場合は気温・湿度・輻射・気流・着衣・活動の環境 4 要因、人体側の 2 要因、計 6 要因が複雑に作用し、影響を与えることが知られているためである。佐古井ら³⁻¹⁴⁾は WBGT の修正とその適用域について言及している。着衣の熱抵抗などの修正を加えても、3met ほどの運動強度中程度において、ぬれ率 0.5 を大きく外れる場合は WBGT の重み係数の想定から外れることを明らかにしている。WBGT も提案されてから年月が経ち、実際の人体反応と合致しない点など上記のように指摘されている。また、人体側の要因を考慮に入れていない WBGT では、夏場でも着衣量の多い野球や剣道といったスポーツ時やバドミントンのような着衣量が小さくても活動量が極端に大きいスポーツに対応できているとは言いがたい。

2 目的

背景で示したように WBGT による熱中症予防指針は普及している。しかし、人体側の要因が入っていない、環境のデータだけでの警報がどの程度実際に役立っているか。またその限界を検証する必要がある。

そこで横浜国立大学の運動部に所属する学生を対象に、夏期における WBGT の警戒レベルと学生の主観がどの程度一致するか検証を行い、その妥当性を明らかにすることを目的とする。

3 方法

3.1 調査方法

2014 年 8 月~9 月にかけて本学に所属する運動部(女子ラクロス部、剣道部、野球部、陸上部、テニス部)を対象に熱中症予防のための警報メールのアンケート調査を行った。Table1 に部活ごとの有効回答数を示す。有効回答数は合計 286 であった。

Table.1 有効回答数

ラクロス	テニス	剣道	野球	陸上	合計
48	53	44	121	20	286

3.1.1 警報メールシステム

横浜国立大学の運動場 2 か所(野球場前、硬式テニスコート内)と体育館に 1 か所の合計 3 か所に WBGT の計測装置および WBGT の値から警報メールを配信するシステムを構築している。警報メールの配信システムの概要を Fig.1 に示す。



Fig. 1 警報メールシステム概要

WBGT 値より規定されている 5 段階の警戒レベルを Fig.2 に示す。

● 運動に関する指針

気温 (参考)	WBGT 温度	熱中症予防運動指針	
35℃以上	31℃以上	運動は原則中止	WBGT31℃以上では、特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合は中止すべき。
31～35℃	28～31℃	厳重警戒 (激しい運動は中止)	WBGT28℃以上では、熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。運動する場合には、頻りに休息をとり水分・塩分の補給を行う。体力の低い人、暑さになれていない人は運動中止。
28～31℃	25～28℃	警戒 (積極的に休息)	WBGT25℃以上では、熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休息をとる。
24～28℃	21～25℃	注意 (積極的に水分補給)	WBGT21℃以上では、熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
24℃未満	21℃未満	ほぼ安全 (適宜水分補給)	WBGT21℃未満では、通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

(公財) 日本体育協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」(2013)より

Fig. 2 WBGT を参照した運動に関する指針

Fig.2 の運動に関する指針を参照し、レベル 2 以上で警戒レベルが上がる際に、あらかじめメールアドレスが登録されている各部活の代表者に警報メールが配信される。メールシステムの概要図を Fig. 3 に示す。1 日の途中で陽がかげるなどして一度、レベルが下がってからまた晴れてレベルが上がっても、2 度目のタイミングではメールは配信されない。よって、最大でも 1 日 4 回の配信となる。しかし、部活動が午後 4 時以降に開始される部が多いため、定時で午後 4 時に配信するように設定した。部活動中の WBGT を部活動後に部活動の代表者がアンケート対象者に知らせ、主観の聞き取りと警戒レベルが一致するか紙媒体のアンケート用紙に回答させた。

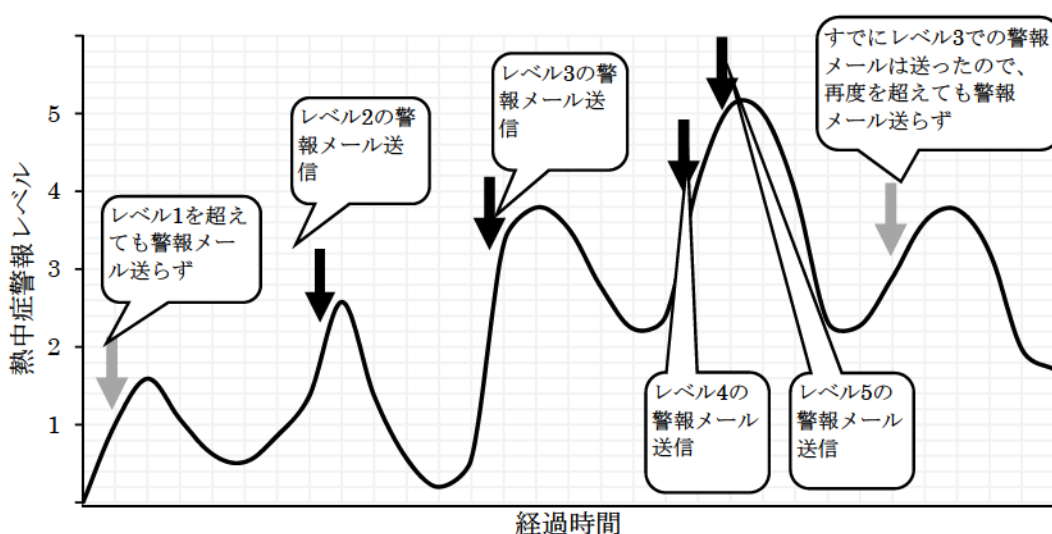


Fig. 3 熱中症予防警報メールシステム概要

WBGTは野球場・テニスコート・体育館で計測され、それぞれの部活動の環境に則したWBGTの値を代表者に配信し参照させ回答させる。すなわち、女子ラクロス部・陸上部・野球部には野球場のWBGT、テニス部にはテニスコートのWBGT、剣道部には体育館のWBGTを参照させた。Table2にWBGT警報メールの、警戒レベルとそれに対応したコメント内容を示す。

Table. 2 警報メールの警戒レベルと対応したコメント

警戒レベル	コメント内容
レベル1	注意
レベル2	注意 体調不良や熱中症の兆候に注意 》 運動の合間に積極的に水分・塩分補給！
レベル3	警戒 積極的に休息と水分・塩分補給を！ 》 激しい運動では30分おきに休息
レベル4	厳重警戒 持久走など激しい運動は避ける 》 積極的休息と水分・塩分補給の徹底！
レベル5	運動は原則中止 特別な場合以外は運動中止！ 》 活動時間や内容の変更を

3.1.2 調査内容

アンケートの内容について、各部活の代表者にはアンケートを行った日付、時間帯、場所、その日の水分補給、休息の頻度、熱中症になった人数の調査を行った。選手に対しては、その日の部活の活動量、着衣状況、着衣の素材、主観申告5項目(快適感・温冷感・湿潤感・べとつき感・蒸れ感)、警報メールと主観の一致具合の調査を行った。活動量、主観5項目およびメールとの一致具合に関してはそれぞれ5段階回答させた。内容についてTable3に示す。

Table. 3 アンケート内容

項目	活動量	快適感	温冷感	湿潤感	べとつき感	蒸れ感	メールとの一致具合
1	かなりハード	とても快適	とても暑い	とても湿っている	とてもべとつく	とても蒸れる	かなり主観よりも低い
2	ややハード	やや快適	やや暑い	湿っている	べとつく	蒸れる	やや主観よりも低い
3	普通	どちらでもない	どちらでもない	やや湿っている	ややべとつく	やや蒸れる	主観と合っている
4	どちらかというソフト	やや不快	やや寒い	ほとんど湿っていない	ほとんどべとつかない	ほとんど蒸れない	やや主観よりも厳しい
5	ソフト	不快	とても寒い	全く湿っていない	全くべとつかない	全く蒸れない	かなり主観よりも厳しい

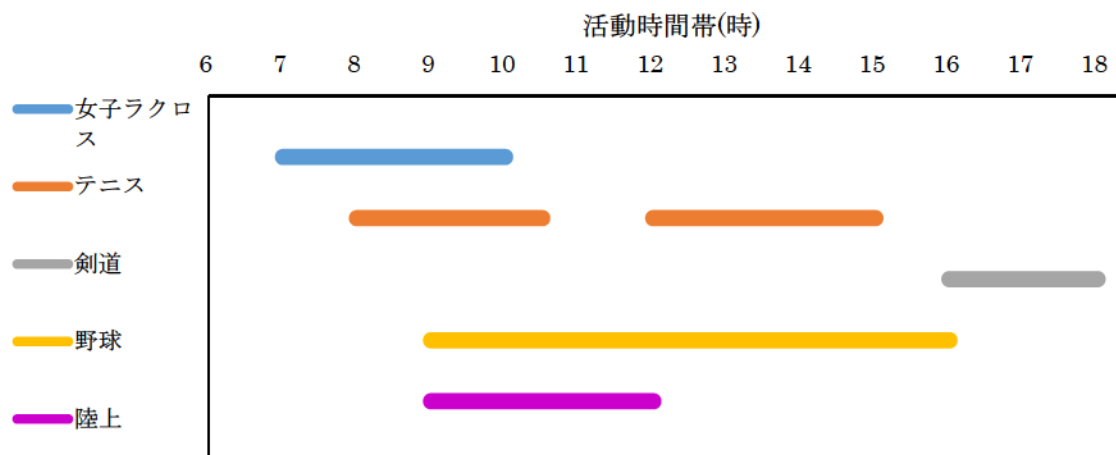


Fig. 4 各部活の活動時間帯

4 調査結果

4.1 活動時間帯と時間

部活ごとの活動時間帯について Fig.4 に示す。Fig.4 より、部活ごとの活動時間帯および活動時間は女子ラクロス部は7時から10時の3時間程度、テニス部は8時から10時30分の日と12時から15時の日があり活動時間は2.5から3時間程度、剣道部は16時から18時の活動時間2時間程度、野球部は9時から16時間の活動時間7時間程度、陸上部は9時から12時の3時間程度であった。ただし、野球部に関しては昼休憩を1h程度挟んでの活動であったため、実際は6時間程度の活動時間であった。

4.2 水分補給の頻度

Fig.5 に部活ごとの水分補給の頻度を示す。女子ラクロス部・テニス部・野球部・陸上部は30分以内に水分補給を行っていた。剣道部に関しては、60分に1回程度と他の部活と比べ少ない頻度であった。

4.3 休憩の頻度

Fig.6 に部活ごとの休憩の頻度を示す。

女子ラクロス部は30分以内、陸上部は30分に1回程度、テニス部・剣道部・野球部は60分に1回程度の休憩頻度であった。

4.4 部活ごとの着衣状況

部活ごとの着衣状況について Fig. 7 に示す。

Fig.7 より、女子ラクロス部・テニス部・陸上部に関しては、半そで短パンで運動をしていた者が多数を占める。野球部においては、半そでもしくは長袖に長ズボンの者が大半を占め、剣道部にいたっては7割以上のもが長袖長ズボンで運動を行っていた。

4.5 帽子・防具の着用状況

帽子・防具の着用状況についてそれぞれ Fig. 8、Fig. 9 に示す。

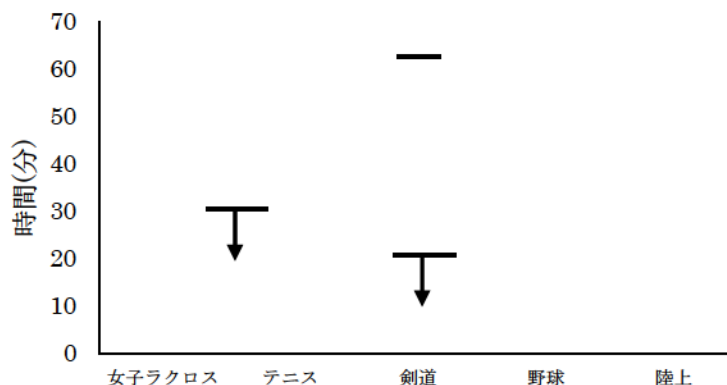


Fig. 5 各部活の水分補給の頻度

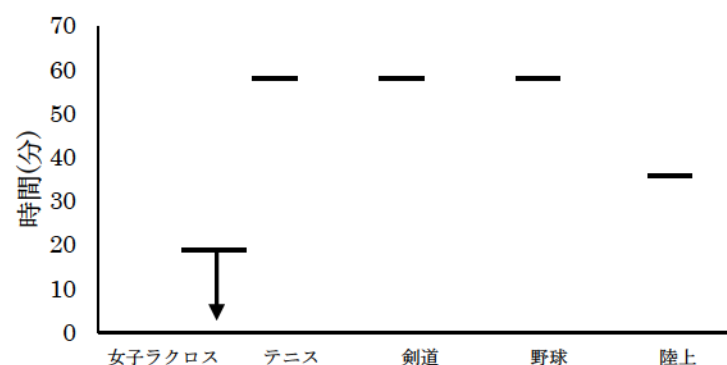


Fig. 6 各部活の休憩の頻度

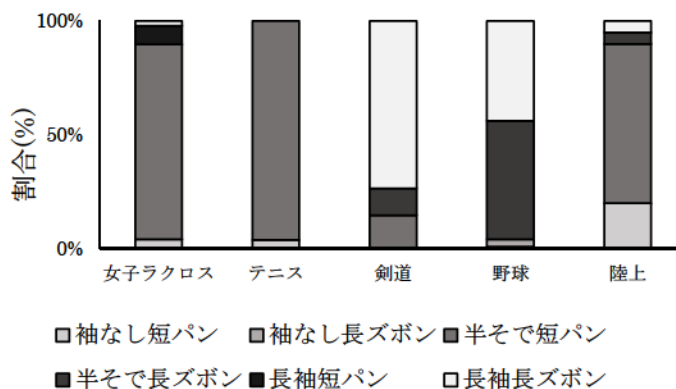


Fig. 7 各部活の着衣状況

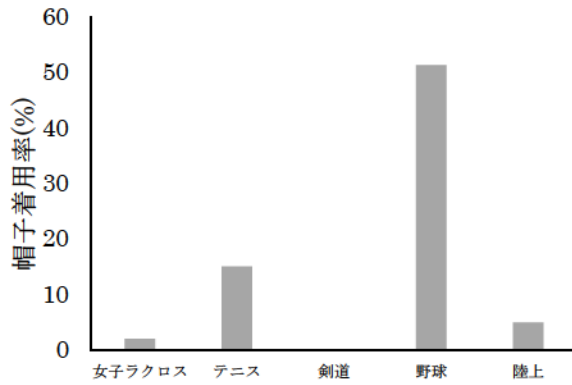


Fig. 8 各部活の帽子の着用状況

Fig.8より、帽子着用率は屋内で行う剣道部以外では、野球部・テニス部・陸上部・女子ラクロス部の順に着用率が下がっている。また、帽子着用率は野球部で顕著に高いことがわかる。Fig.9より、防具着用率は剣道部において顕著であった。ただし、女子ラクロス部・野球部においても1割弱の着用率であった。

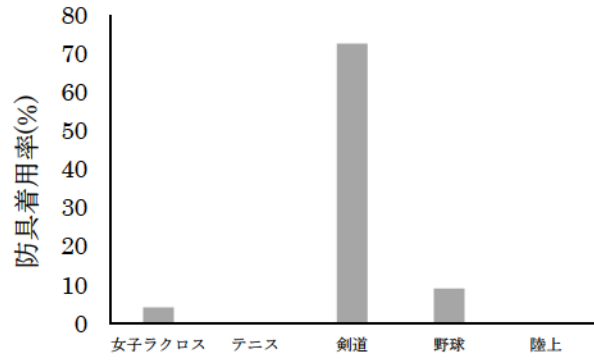


Fig. 9 各部活の防具の着用状況

4.6 活動量

部活ごとの活動量を Fig. 10 に示す。女子ラクロス部・剣道部・野球部・陸上部の部活は夏期においても活動量が多い高いことが分かる。特に剣道部は多くの者が「活動量が高い」と回答していた。

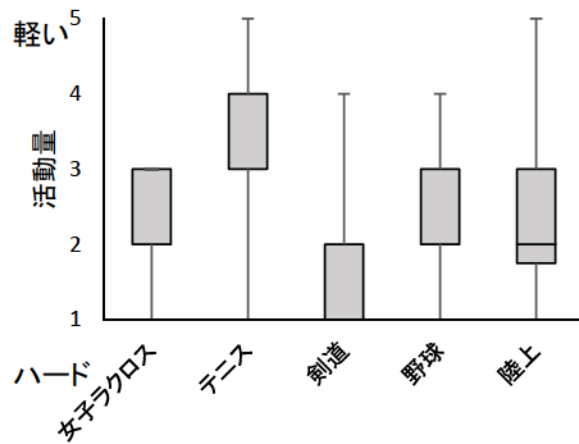


Fig. 10 各部活の活動量の比較

4.7 快適感

快適感の各部活の比較を Fig.11 に示す。女子ラクロス部・陸上部は不快側の回答をする者が多く、その他の部活は快・不快でもない中間の回答をするものが多かった。

4.8 温冷感

各部活の温冷感の結果を Fig.12 に示す。どの部活においても暑いと回答する者が多い。

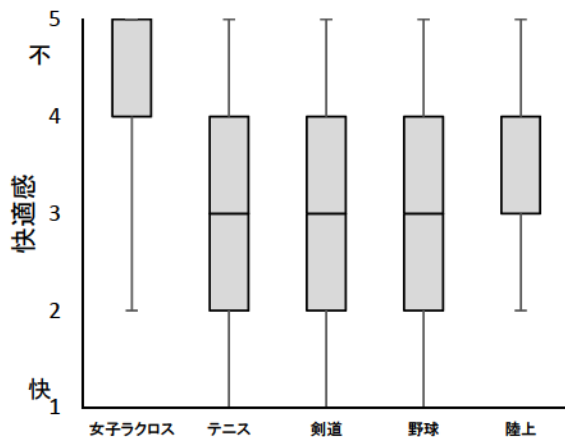


Fig.11 各部活の快適感の比較

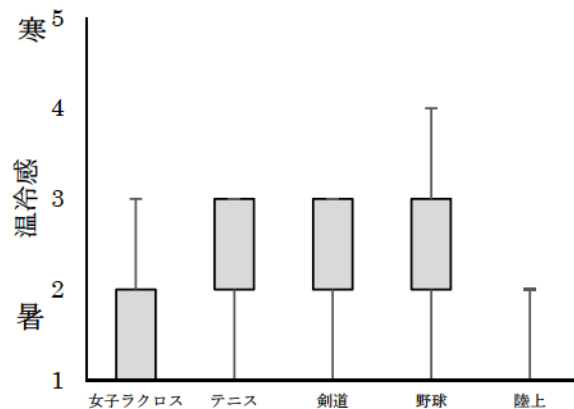


Fig.12 各部活の温冷感の比較

4.9 湿潤感、べとつき感、蒸れ感

各部活の湿潤感を Fig.13 に、べとつき感を Fig.14 に、蒸れ感を Fig.15 に示す。どの部活でも湿潤感やべとつき感、蒸れ感を感じる者が多い。どの部活でも蒸れを感じるものが多く、女子ラクロス部においてはその割合が他の部活よりも多かった。

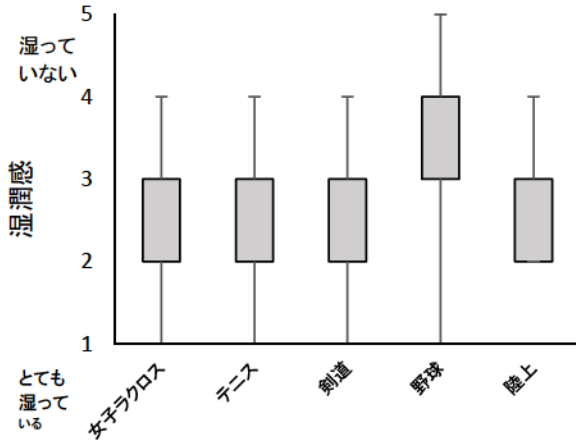


Fig.13 各部活の湿潤感の比較

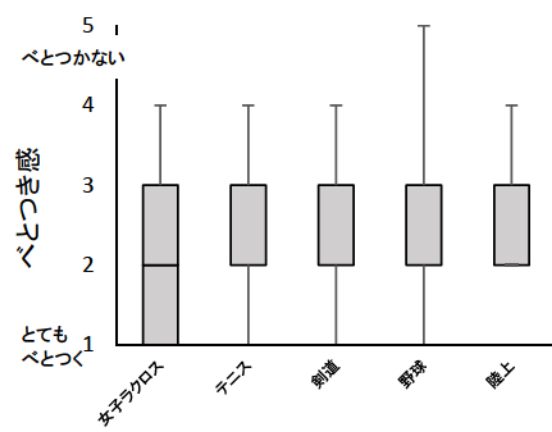


Fig.14 各部活のべとつき感の比較

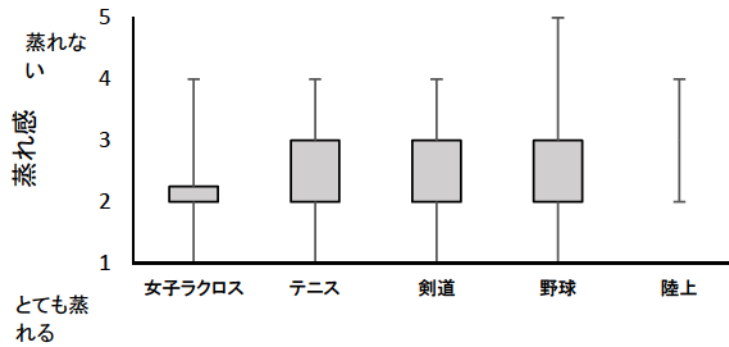


Fig.15 各部活の蒸れ感の比較

4.10 警戒レベルと主観

警戒レベルと主観の適合具合について各部活の比較を Fig.16 に示す。

Fig.16 より、警報メールの警戒レベルと主観の一致具合の調査では、野球部・剣道部で警戒レベルが主観よりも低いと回答する者が多かった。

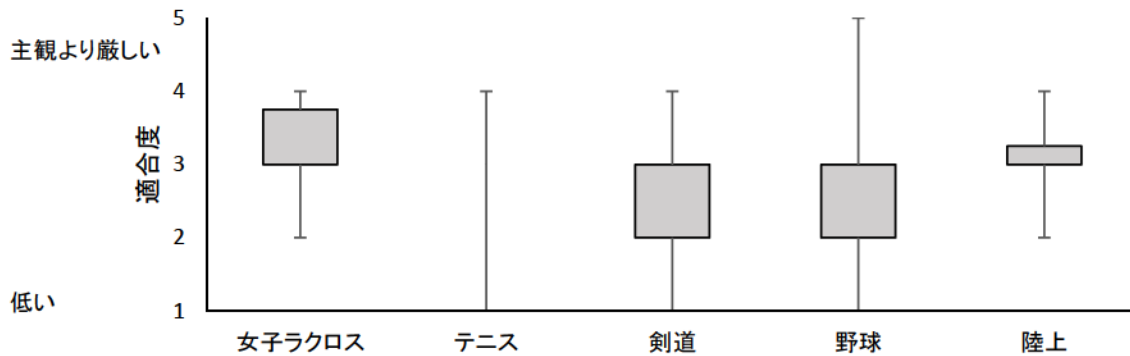


Fig.16 各部活の警戒レベルと主観の適合具合の比較

5 考察

今回のアンケートの目的は、WBGTの警戒レベルが夏期に運動する者の主観と合致するかどうかの検証である。部活ごとにみると女子ラクロス部・テニス部・陸上部は警戒レベルと主観は概ね合致していたという結果となった。一方、剣道部・野球部は主観よりも低いと回答する者の割合が他の部活よりも多かった。剣道部・野球部の共通点および他の部活との相違点をみると、顕著なものは着衣状況であった。これは中田³⁷⁾の結果とも一致する。他の部活が軽装で運動を行っているのに対し、この2つの部活は長袖・長ズボンおよび、半そで・長ズボンの割合が高く、被服面積が大きい。さらに防具の着用者は剣道部で顕著に高い。また、活動量に関しても、ハードと回答する者が多い。女子ラクロス部・陸上部もハードと回答している者が多かったが、着衣状況は夏期らしく軽装であった。激しい運動および熱の逃げにくい着衣状況がWBGTの警戒レベルと主観との乖離を生み出していることが推察される。

6 まとめ

本章では熱中症予防警戒メールシステムを利用しアンケート調査を行い、WBGTを基に作られた運動指針の警戒レベルが夏期に運動する者の主観と合致するかどうかの検証を行った。活動時間帯に関しては女子ラクロス部、剣道部は昼を避け朝夕に運動をしており熱中症対策をしていた。多くの部活は熱中症を警戒し、水分補給は30分以内にとっていた。また、休息も1時間に一度はとっていた。警報メールと運動従事者の主観の調査では女子ラクロス部・テニス部・陸上部は警戒レベルと主観は概ね合致していた。一方、剣道部と野球部では主観よりも低いと回答する者の割合が他の部活よりも多かった。つまり、剣道部と野球部の学生に対しては警戒レベルが過少評価であったと考えられる。剣道部・野球部の共通点および他の部活との相違点をみると、顕著なものは着衣状況であった。他の部活が軽装で運動を行っているのに対し、この2つの部活では長袖・長ズボンおよび、半そで・長ズボンの割合が高く、さらに防具の着用者は剣道部で顕著に高かった。また、活動量に関しても、ハードと回答する者が多い。女子ラクロス部・陸上部もハードと回答している者が多かったが、着衣状況は夏期らしく軽装であった。激しい運動および熱の逃げにくい着衣状況がWBGTの警戒レベルと主観との乖離を生み出していることが示唆された。

3-5 熱中症予防指針作成のための修正 TNM、等価 SET*の有用性についての検討

青柳卓也¹⁾、薩本弥生²⁾、佐古井智紀³⁾

1)横浜国立大学院生、 2)横浜国立大学、 3)信州大学

1 背景

3-4 で夏期における WBGT の警戒レベルで予想される主観と運動する者が実際に感じる感覚との間にズレが生じる場合があることが明らかとなった。ズレが生じる場合は着衣量・活動量が高い剣道部において顕著であった。ゆえに、上記のような場面でも対応できる警報メールシステムを構築するためには、着衣量・活動量を考慮に入れたモデルが必要と考えられる。

現在、環境側 4 要因と人体側 2 要因を考慮した温熱環境指標として代表的なものには予測平均温冷感申告 (PMV) と標準有効温度 (SET*) がある。PMV は温冷感を簡易に評価できることから多様な環境評価に利用されているが、PMV が -2 から 2 の比較的中立環境でのみ適合し、発汗が考慮されていないなど課題は残っており、発汗を考慮に入れた SET* を利用することによって感覚的な快適感により近似できると考えられると近藤ら³⁻¹⁹⁾は指摘する。

SET* は歴史的な変遷を辿ってきた。その源流は Yaglou らによる有効温度 (ET : Effective Temperature) である。実際の想定する温熱環境下での多数の被験者実験に基づく初の総合的体感温度の指標で、標準環境は相対湿度 100%RH、風速 0m/s としている。この指標は実際に実験を行った測定範囲では主観と予測との一致度が高いが想定外の環境に適応すると湿度の過大評価があるなどが指摘されている³⁻¹⁸⁾。

新有効温度 (ET* : New Effective Temperature) は、人体の熱平衡式を基本にし、体表面からの放熱量が等しいときに同一と感じる温度で示された。これはより実際の環境に即し、標準環境は湿度 50%RH、平均放射温度は気温とし、風速・活動量・着衣量は実在環境と同等としている。しかし、ある温熱環境を評価することを考える場合、人体側の標準状態が規定されていないため、同一の活動量・着衣量の場合でのみ ET* 値で温熱環境の比較が可能となる。よって ET* の値のみからその環境を温熱的に評価することが難しいという問題がある。

そして Gagge ら³⁻¹⁵⁾により標準有効温度 (SET* : Standard Effective Temperature) が提案された。ET* に基づき、活動量と着衣・風速の標準値を取り入れ人体の熱平衡計算モデルにより定義され、人体と周囲環境との熱収支計算を基礎に体感指標を算出する。

前述したが、SET* は温熱感覚に影響を及ぼす 6 要因 (環境側 4 要因: 気温・湿度・輻射・気流、人体側 2 要因: 着衣量・活動量) をすべて考慮している温熱指標である。Gagge ら³⁻¹⁵⁾により提案されて以降、元来室内環境を評価する指標であったが屋外環境評価への応用などが行われている。他方、佐古井ら³⁻¹⁶⁾は SET* 計算に用いられる人体熱数値モデルである Two Node Model (TNM) の発汗が活動時に過少であることを示し、発汗モデルを改善した修正 TNM を提示した。また、SET* は高活動時に SET* 24°C、静穏気流下では中立温感をもたらす着衣が存在せず、その結果として温熱感を涼し目に評価してしまうことを報告し、中立として参照する環境温度を 24°C より低い 20°C として標準着衣量を定義しなおすことで解決した修正 SET* を考案した。ただし修正 SET* は、元々の SET* と温度と感覚の対応が異なるため、修正 SET* を元々の SET* の椅座時の温度スケールに換算した等価 SET* を提案した。

上記のように、等価 SET* では SET* の問題が改善されているが、等価 SET* が従来の SET* と比べてどの程度精度が高まったかを実測値との比較し検証を行う必要がある。それが行われないうまま進んだ場合、理論上は改善されていても現実との乖離が生まれる危険性を残しているためである。また、SET* では PMV=0 (温熱的に暑くも寒くもない中立域) を 24°C としている³⁻¹⁵⁾ が、それが人間の感覚と一致しているかどうかの検証も必要であると考えられる。さらに、このモデルでは着衣のデザイン性までは考慮されていない。具体的には、着衣に換気口を設けた場合では、換気量や放熱量も変わり、SET* の出力も変化するはずである。

WBGT では対応できない場面にも対応するためには、人間側 2 要因も考慮した熱収支モデルの SET* の利用が効果的である。しかしその利用には使用可能範囲を知る必要がある。

2. 目的

第2章の2-1-1-5で得られたデータを用いて、従来のTNM、SET*と比較して佐古井ら³⁻¹⁶の修正TNM、等価標準有効温度（等価SET*（以下eSET*））がどの程度実測値に近づいているか、また着衣のデザインの違いによる差の検証を行い、eSET*の有用性と限界を明らかにすることを目的とする。

3. 方法

等価標準有効温度（eSET*）の有用性とその限界について明らかにするための方法について以下に記す。なお、以後のTNM、SET*、修正TNM、eSET*の計算では、着衣の基礎熱抵抗、透湿抵抗をISO9920に記載されているHavenithの式を使用し歩行速度と気流の関係から補正した値で与えており、TNM、SET*、修正TNM、eSET*のいずれに対しても、活動が着衣に及ぼす影響は同一の手法で計算に組み込まれている。

3.1 歩行速度と気流により変化する着衣の基礎熱抵抗

歩行速度と気流下での着衣の基礎熱抵抗を、ISO9920に基づき、式(1)で与えられる全熱抵抗 $I_{total,corr}$ から、その時の空気の熱抵抗 $I_{a,corr}$ を衣服面積率 f_{cl} で除した値を差し引くことにより求めている。

なお、 $I_{a,corr}$ は式(2)で、衣服面積率は式(3)で与えられる。

$$I_{total,corr} = e^{(-0.281 \times (v_{ar}-0.15) + 0.044 \times (v_{ar}-0.15)^2 - 0.492 \times v_{walk} + 0.176 \times v_{walk}^2)} \times I_{total} \dots (1)$$

着衣の適応範囲：基礎着衣熱抵抗 I_{cl} : $0.6clo < I_{cl} < 1.4clo$ あるいは全着衣熱抵抗 I_{total} : $1.2clo < I_{total} < 2.0clo$

相対風速 v_{ar} の適応範囲 : $0.15m/s < v_{ar} < 3.5m/s$ 、

歩行速度 v_{walk} の適応範囲 : $0m/s < v_{walk} < 1.2m/s$

$$I_{a,corr} = e^{(-0.533 \times (v_{ar}-0.15) + 0.069 \times (v_{ar}-0.15)^2 - 0.462 \times v_{walk} + 0.201 \times v_{walk}^2)} \times I_{a,static} \dots (2)$$

相対風速 v_{ar} の適応範囲 : $0.15m/s < v_{ar} < 3.5m/s$ 、

歩行速度 v_{walk} の適応範囲 : $0m/s < v_{walk} < 1.2m/s$

静穏時の空気の熱抵抗 $I_{a,static} = 0.7clo$

$$f_{cl} = 1 + 0.28I_{cl} \dots (3)$$

人体の相対風速 v_{ar} は、静穏気流下でトレッドミル歩行時の対流熱伝達率³⁻¹⁷と椅座時の対流熱伝達率³⁻¹⁷が等しくなる風速を動きの速度とし、 360° の全方向にランダムに動いているものとして v_{ar} を与えた。歩行速度 v_{walk} は、代謝量に応じる水平歩行の速度³⁻¹⁸を設定した。

3.2 等価標準有効温度（等価SET*(eSET*)）

Gaggeら³⁻¹⁵の提案した標準有効温度(SET*:Standard Effective Temperature)をベースに問題点に対し、佐古井ら³⁻¹⁶が修正を試みた。

SET*の問題点として、活動強度が強いつきにSET*が中立として参照する24℃均一・静穏環境において、着衣量が負値をとり、中立温感をもたらす着衣が存在しない疑問を示し、高活動時のSET*による中立環境が高温に過ぎることを報告した。またTwo Node Model(TNM)の発汗が過少であることと相まって、活動強度が強いつきに、薄着・高風速条件で実際の中立環境より高温の環境をSET*が中立とする不具合を示した。

この問題を修正するため、24℃より低温の20℃静穏環境下で中立温感をもたらす着衣量を仮の修正標準着衣量とした。さらに、活動に応じた発汗特性を組み入れるため、発汗に関する皮膚のセットポイント温度が活動に応じて低下する修正したTNMを示している。修正SET*は修正標準着衣量と修正TNMに基づき計算される。修正SET*は20℃・50%RHの静穏環境を温感中立とし、オリジナルのSET*とはスケールが異なる。そこで、修正SET*を1met条件下でのオリジナルのSET*の温度スケールへ換算する等価SET*（eSET*）を提案した。従来のTNM、SET*モデルと佐古井の修正TNM、等価SET*モデル、第2章の2-1-1-5で得られたデータを使用し、TNM、SET*による予測と修正TNM、等価SET*による予測、実測値の比較を行う。

3.3 等価標準有効温度（等価 SET*(eSET*)）算出のための入力値と算出される予測値

予測モデルに入力するデータとしては、気温・湿度・気流・輻射・活動量・着衣量を与える。ただし、今回第 2 章で得られたデータは人工気候室内静穏気流下の環境で行われたものであるため、輻射の影響は無視できるものとし、気流に関しても 0.2m/s の一定値を与えている。

算出される予想値は、SET*(標準有効温度)・等価 SET*(eSET*)および深部温・皮膚温・発汗量・ぬれ率である。出力された予測値の深部温と皮膚温について実測値との比較を行う。発汗量に関して、予測値では全身の発汗量が出力される。一方、人工気候室の実験でもデータを取ってはいるが、腹部と背部の上半身の 2 点のみであり、条件が異なるため比較は行わない。また、ぬれ率に関しても同様の理由で比較は行わない。

4.結果

4.1 深部温と皮膚温の実測値と予測値の経時変化の比較

4.1.1 深部温の経時変化

深部温(直腸温)の予測値と実測値の経時変化を Fig.1 に示す。

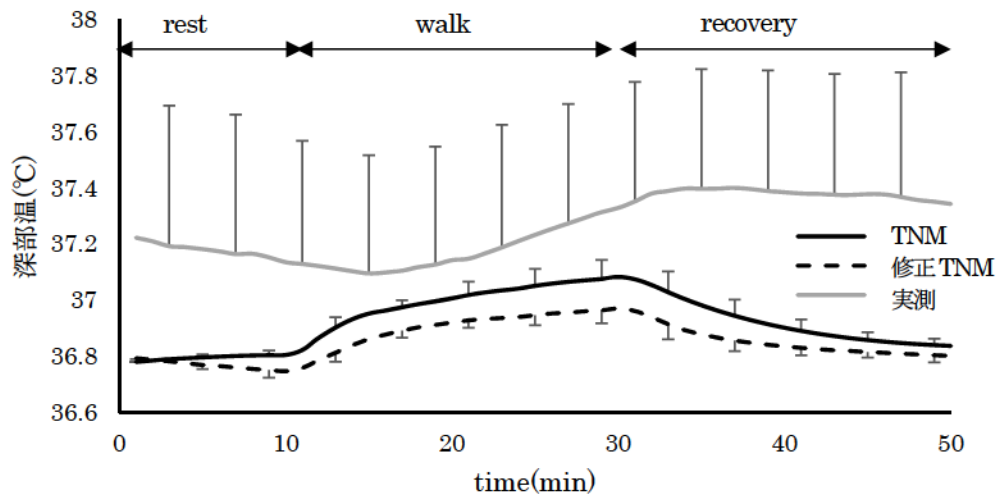


Fig. 1 直腸温の予測値と実測値の経時変化の比較

Fig.1 により、実測と初期値には 0.4°C ほどの差があるものの、修正 TNM は実測値と同様に安静時には徐々に減少していく推移を再現している。しかし、どちらのモデルも運動開始からすぐに上昇しており、実測値の推移とは異なる。また、回復期に関しては、直腸に関して体温調節上は反応性が不活発な不部位のため、運動を終了した後も運動による履歴を受けて体温は運動直後のレベルを安静時の 20 分間、ほぼ維持して運動前の状況まで回復していない。そのような深部温の変化のヒステリシス挙動はモデルでは再現できておらず、20 分間でほぼ初期の状況まで回復している。

4.1.2 皮膚温の経時変化

皮膚温の予測値と実測値の経時変化を Fig.2 に示す。

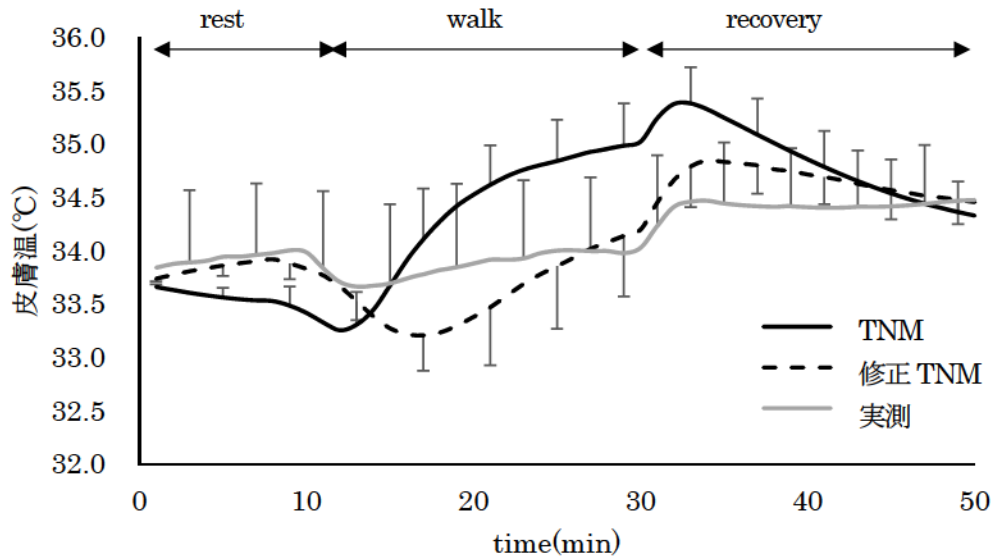


Fig.2 皮膚温の予測値と実測値の経時変化の比較

Fig.2 より、全体を通して多少のずれはあるものの、TNM よりも修正 TNM のほうが実測値に近い値で推移しており、精度良く再現できていると考えられる。

4.2 深部温と皮膚温の実測値と予測値の散布図による比較

実験中の推移の比較だけでは、従来のモデルと修正したモデルの客観的な評価が難しいため、散布図による比較を行う。

4.2.1 深部温の散布図による比較

深部温(直腸温)の TNM と実測値の比較結果を Fig.3 に、修正 TNM と実測値の比較結果を Fig.4 に示す。

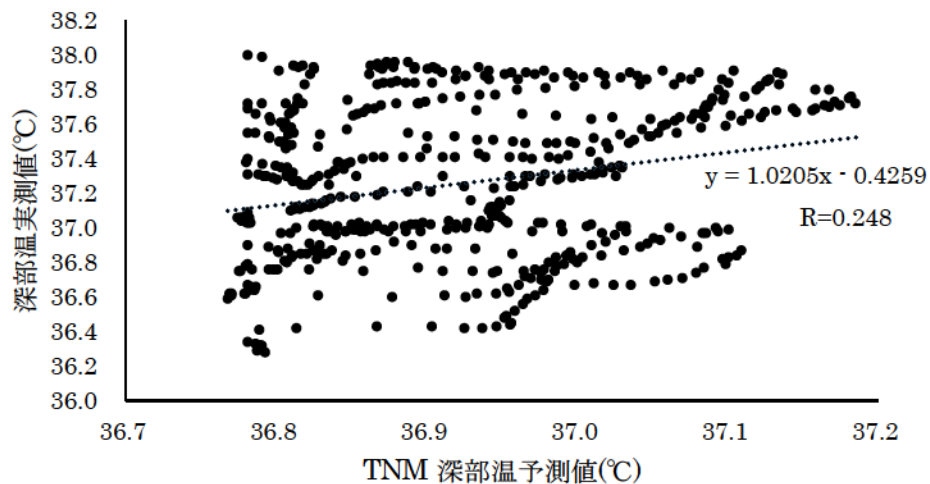


Fig.3 深部温の TNM 予測値と実測値の関係

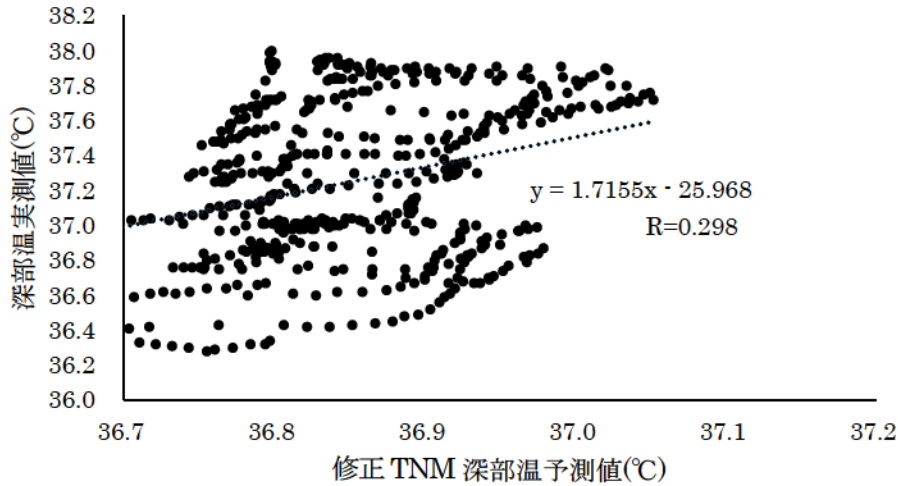


Fig. 4 深部温の修正 TNM 予測値と実測値の関係

どちらも対応する時間ごとに横軸に予測値を、縦軸に実測値をプロットしている。
 Fig.3, Fig.4 より、TNM では相関係数 $R=0.248$ 、修正 TNM では相関係数 $R=0.298$ となり修正 TNM で若干、相関は高まった。しかし、両者とも全実験データに対する相関係数が 0.3 を下回り、高い相関があるとは言えない結果であった。相関係数の低さは、実測深部温は回復期に低下が見られなかったのに対して予測深部温が低下したことの不一致に加え、個人差による差の方が大きいことが原因と考えられる。

4.2.2 皮膚温の散布図による比較

皮膚温の TNM と実測値の比較結果を Fig.5 に、修正 TNM と実測値の比較結果を Fig.6 に示す。

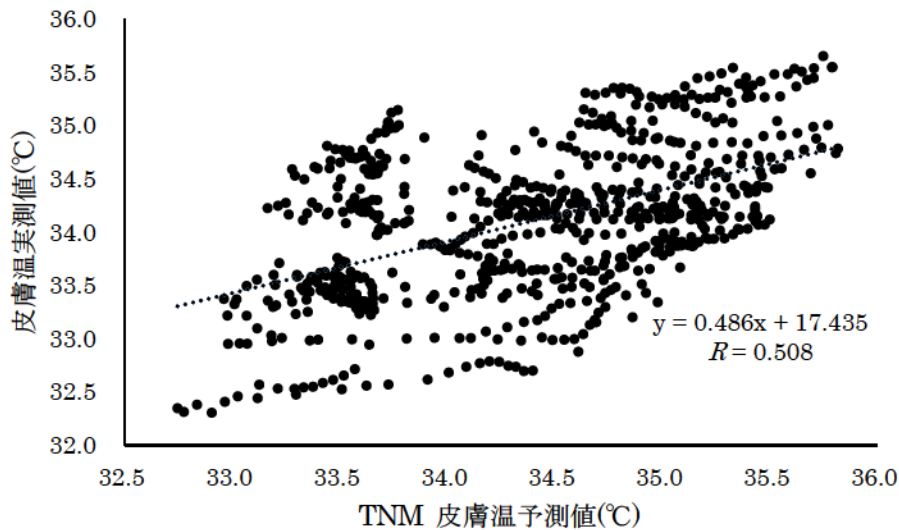


Fig.5 皮膚温の TNM 予測値と実測値の関係

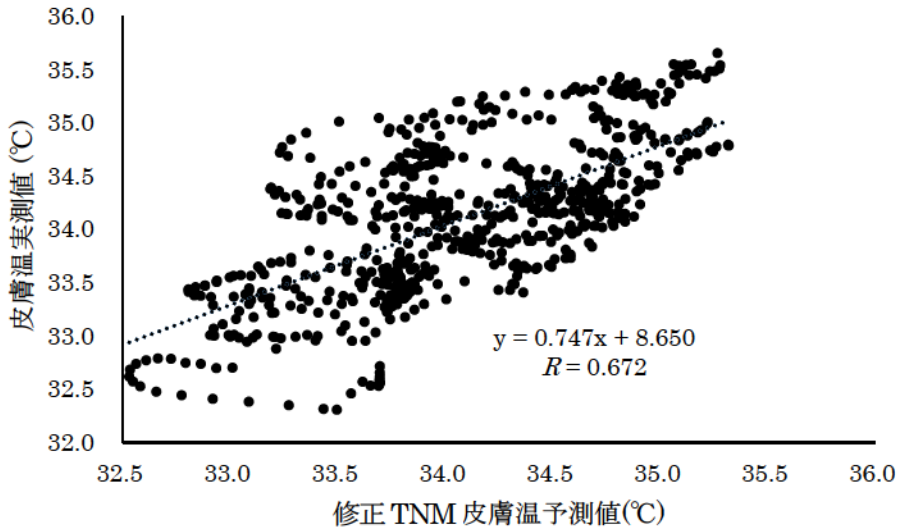


Fig.6 皮膚温の修正 TNM 予測値と実測値の関係

どちらも対応する時間ごとに横軸に予測値を、縦軸に実測値を並べている。

Fig.5, Fig.6 より、TNM では全実験データに対する相関係数 $R=0.508$ 、修正 TNM では相関係数 $R=0.672$ となり、どちらも相関が高く、修正 TNM で特に高値を示した。TNM、修正 TNM、ともに深部温と比較して皮膚温の相関係数が高くなった理由は、皮膚温の個人差による違いと比べて温熱環境による変化が大きかったため、と考えられる。

散布図による比較から、TNM では相関係数が 0.5 程度であったのが、修正 TNM では相関係数が 0.7 近くまで向上し、精度良く予測できているという結果が得られた。

4.3 等価標準有効温度と主観の関係

これまでで計算に用いる人体熱モデルについて、TNM より修正 TNM の方が良い精度であることが明らかにされた。等価標準有効温度と主観の関係について検証を行っていく。なお、SET*および eSET*は PMV を参照にしており $PMV=0$ となる時 24°Cとなるようにしている。そして PMV は温冷感の予測であるため、今回は主観申告 5 項目の中の温冷感をとりあげる。

4.3.1 SET*および等価 SET*による標準有効温度の予測値と被験者の実測温冷感の経時変化

実験中の等価 SET*と被験者の温冷感の比較結果を Fig.7 に示す。

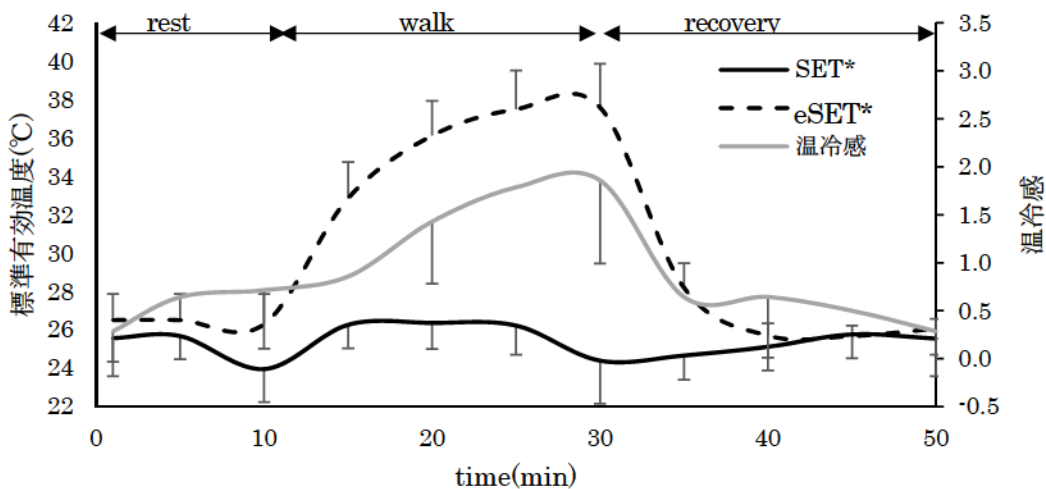


Fig.7 SET*および等価 SET*による標準有効温度の予測値と主観の関係

SET*と等価 SET*による標準有効温度の予測値は左の縦軸に、温冷感の右の縦軸に対応している。

Fig.7 より、SET*は運動中でもあまり変化がない。一方等価 SET*は運動中に上昇し、回復期には減少する推移をとる。等価 SET*と温冷感によく連動していることが分かる。

4.3.2 散布図による SET*および等価 SET*による標準有効温度の予測値と実测温冷感の対応の検証
横軸に SET*をとり、実測の温冷感をプロットした散布図を Fig.8 に示す。

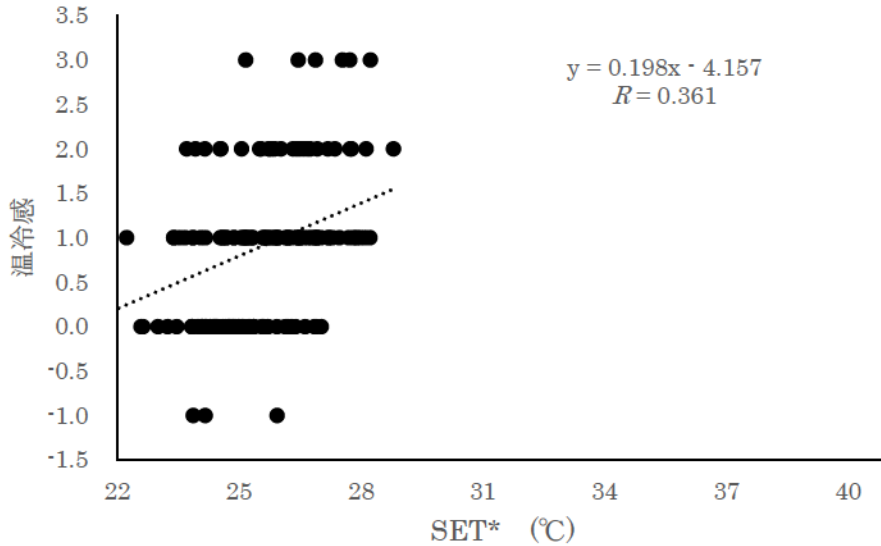


Fig. 8 標準有効温度 SET*と実测温冷感の関係

Fig.8 より SET*と温冷感の相関係数は $R=0.361$ で相関はあまり高くない。

横軸に等価 SET*をとり、実測の温冷感をプロットした散布図を Fig.9 に示す。

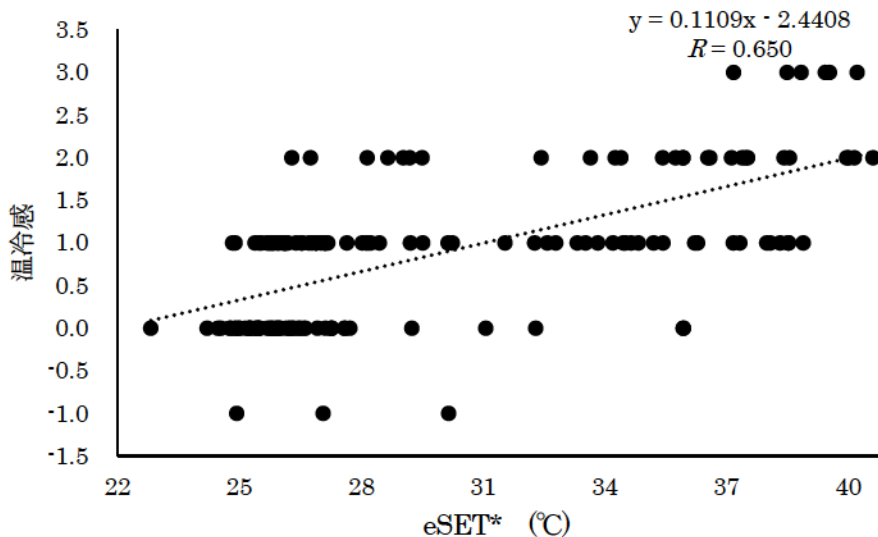


Fig. 9 等価標準有効温度と主観の関係

前述のように Fig.8 より SET*と温冷感の相関係数は $R=0.361$ で、Fig.9 より、等価 SET*と温冷感の相関係数は $R=0.650$ を示し、等価 SET*の方が、SET*よりも良く対応していることが見て取れる。

4.3.3 箱ひげ図による等価標準有効温度と温冷感の対応の検証

SET*と温冷感の関係を Fig.11 に示す。図から SET*と温冷感の相関は高くない。

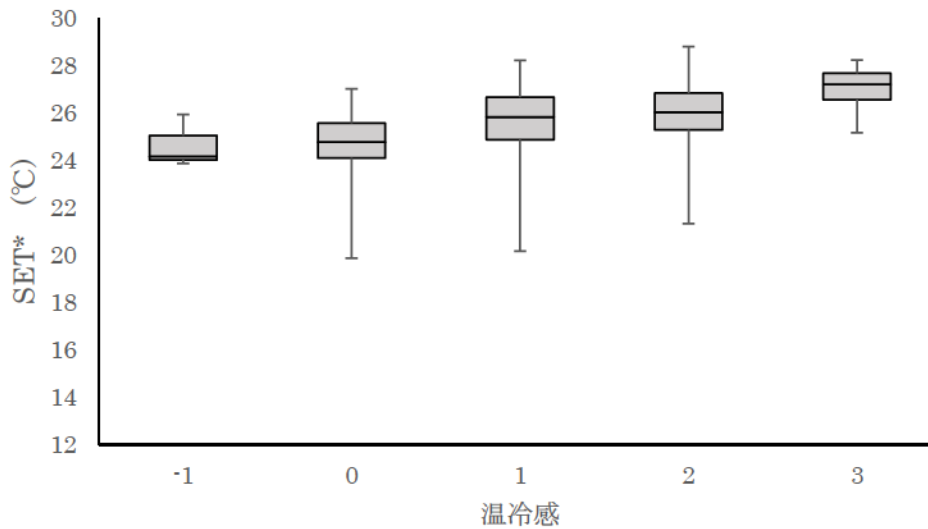


Fig. 11 標準有効温度 SET*と主観の関係

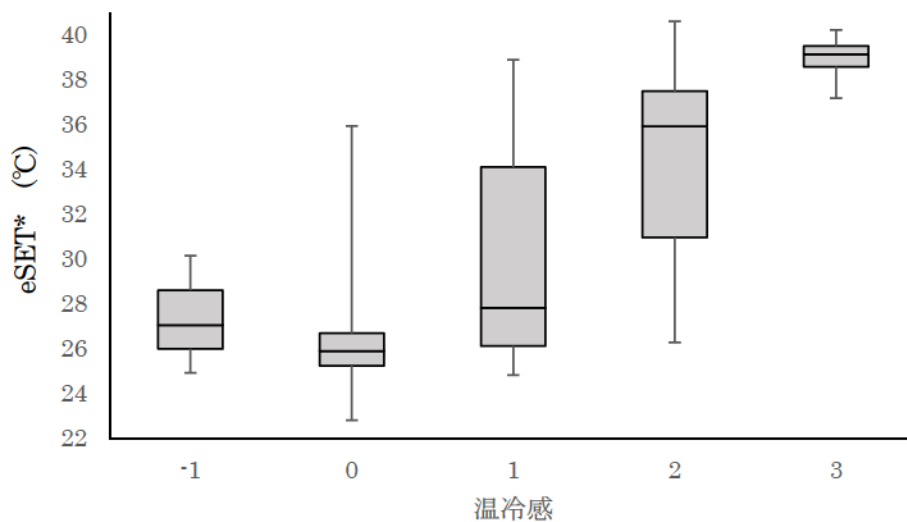


Fig. 12 等価標準有効温度 eSET*と実測温冷感の関係

図より温冷感と等価 SET*は相関があることが確認された。-1(やや寒い)と回答した時の eSET*の中央値は 0 の時よりも高くなっているが、回答したものが 3 例と少なかったため除外する。

温冷感 TSV の値と感覚の対応表を Table1 に、TSV と SET*の対応を Table2 に簡単にまとめた。

Table. 1 予測温冷感 TSV 値と温冷感尺度の関係

TSV	-3	-2	-1	0	1	2	3
温冷感	Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly warm	Warm	Hot

Table. 2 温冷感 TSV と SET*の関係

TSV	-1	0	1	2	3
SET*(°C)	24.0	24.1	24.8	25.	26.6
eSET*(°C)	26	25.3	約 27	約 33	約 38

Fig.7～Fig.12 と Table1、Table2 より、標準有効温度 SET* と温冷感の関係よりも等価標準有効温度 eSET* と温冷感がより良く対応していることがわかる。

4.4 修正 TNM と等価 SET* の限界点

これまでの結果から、標準有効温度 SET* よりも等価標準有効温度 eSET* の方が精度良く予測できていることが明らかにされた。次に、その限界についての検証を行っていく。これより、等価標準有効温度 eSET* に焦点をあてていく。

4.4.1 皮膚温の経時変化の開口条件による差

2章の 2-1-1-5 で得られたデータを用いて比較を行ってきたが、人工気候室内で同様の運動負荷をかけた実験で得られたデータを使用しているため、入力データがほぼ同一のものとなり、修正 TNM の出力もほぼ同一のものとなる。

Fig.13 に皮膚温の修正 TNM による予測値を換気口条件により比較を行った結果を示す。

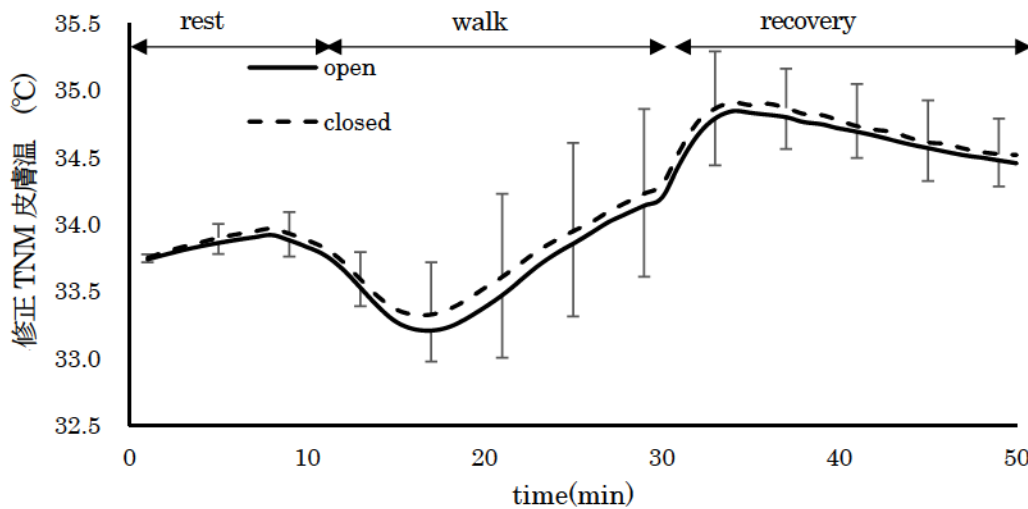


Fig.13 皮膚温の修正 TNM による予測値の開口条件による比較

換気口が open と closed の計算皮膚温が完全に一致しなかったことの原因としては、代謝量の個人差や人工気候室の環境の若干のズレが影響していることが考えられるが、概ね同様の結果となった。次に 2-1-1-5 の平均皮膚温の結果を Fig.14 に改めて以下に示す。

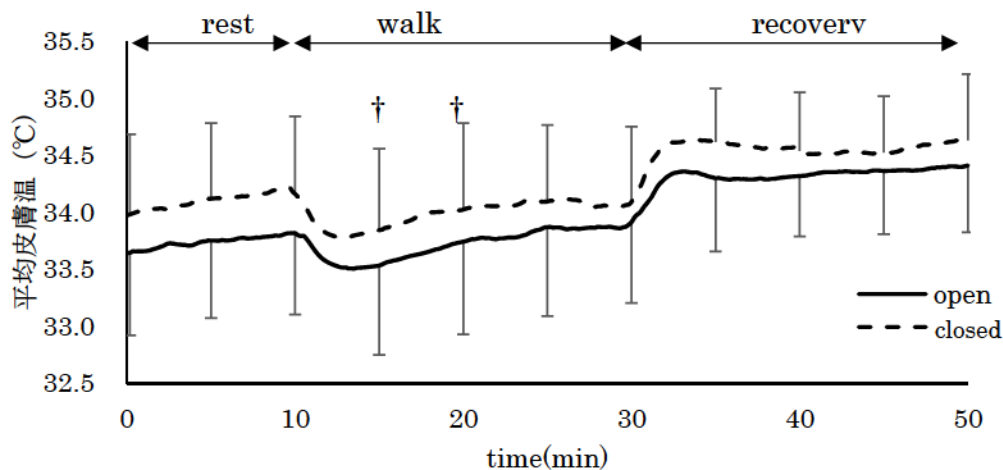


Fig. 14 皮膚温の開口条件による比較

Fig.13 および、Fig.14 より、実測値では換気口の条件別に差が生じているが、予測値では換気口の条件はあまり反映されていないことが分かる。

4.4.2 皮膚温の散布図の開口条件による差

開口条件ごとに、散布図で比較を行う。Fig.15 に両条件の実測値をプロットした結果を示す。

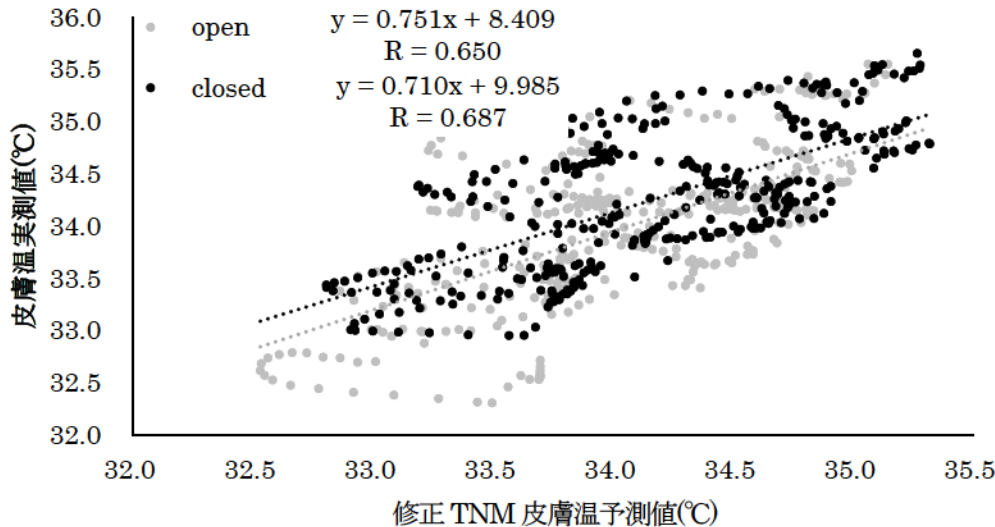


Fig.15 開口条件ごとの予測皮膚温と実測皮膚温の対応

Fig.15 の横軸に修正 TNM による皮膚温を、縦軸に実測値をプロットする。なお、この図の縦軸のデータは、被験者ごとに計算した 5 分ごとの全てのデータをプロットしたものである。

Fig.15 より、開口条件 (open) では相関係数 $R=0.650$ 、閉鎖条件(closed)では相関係数 $R=0.687$ となり、どちらも高い相関を示すが、closed の方で相関がより高くなる結果となった。

4.4.3 着衣の熱抵抗値の運動による減衰の実測と予測値の比較

安静時と運動時の熱抵抗を用い、低減率を算出すると予測値計算で用いた運動時の着衣抵抗の低減率は約 0.64 であった。実測の値から算出した運動時の低減率は閉鎖時約 0.63、開口時約 0.60 であった。Fig.12 では、closed のデータと比べ、open のデータは実測値に対して予測値が高めとなっている。開口時に衣服の低減率が大きくなることを組み込むことが出来れば、より皮膚温予測の精度が向上すると考えられる。

4.5 考察

修正 TNM、等価 SET*が TNM、SET*と比べ精度を上げているかという検証を第 2 章の 2-1-1-5 で得られた実測値を用い比較を行った。また、等価 SET*の改良に向けての提案を、換気口の開口条件別の比較から行った。その結果、修正 TNM、等価 SET*は TNM、SET*よりも精度を上げているが、深部温に関してはまだ十分に対応できているとは言い難いことが明らかとなった。これは、深部温の環境や着衣による影響は個人差による違いと比べて小さく、深部温に対する環境や着衣による影響より個人差による影響が大きいためと言える。また、TNM、修正 TNM の深部温の上昇・下降のタイミングは代謝量に起因しているため活動開始時と終了時に上昇・下降が始まる。だが実際には活動開始・終了してから少し時間が経過してから上昇・下降が始まる。非定常状態を予測することはまだ十分であるとは言えない。これらの点に関しては人体内部のモデルのさらなる改良が望まれる。

一方、皮膚温に関しては精度良く予測することができている。これは人の皮膚温が人体の内部状況よりも環境の影響を受け変化しやすく、個人差に影響が相対的に小さくなったことに起因すると考える。換言すると、皮膚温は深部温より外部の物理的影響をダイレクトに反映するため、現象として予測しやすいということである。今回の計算では、活動による着衣の熱抵抗の低減率を Havenith の予測モデル式(1)により算出した。

歩行速度 v_{walk} の適応範囲は $0\text{m/s} < v_{walk} < 1.2\text{m/s}$ であるが、被験者実験での実測の v_{walk} が 6km/hr (= 1.67m/s) で、Havenith の予測モデルの使用域外となり、低減率を算出すると Fig.16 のように 1.2m/s 以上では若干低減率が増加し、自然現象として風速の増加により低減率が増加することは考えられないため、本章での予測計算で歩行速度が 1.2m/s を超える場合は歩行速度 1.2m/s と置き換え計算を行っている。

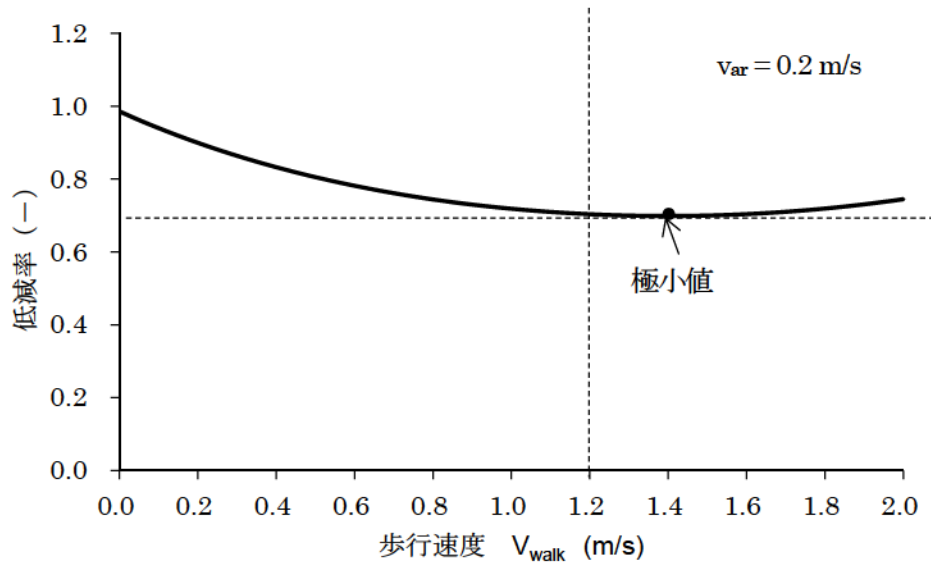


Fig.16 着衣の熱抵抗の低減率の歩行速度による変化

修正 TNM が皮膚温をよく再現できているが、それでも衣服の換気口に関するデザインの差異まではまだ再現できていない。予測での着衣の熱抵抗の低減率は約 0.64 であった。一方、実測の値から算出した運動時の低減率は閉鎖時約 0.63、開口時約 0.60 であった。閉鎖時は良く予測できているが、開口時にはより熱抵抗が低減している。

今後モデルの改善にあたっては上記のようなデザインの差異による着衣の低減率の違いも組み込むことで予測の精度を上げることができると考える。さらに、熱抵抗の低減率に関しても使用範囲を広げ歩行速度 1.2m/s を超える条件でも対応できるように改良することが望ましい。そのためには様々な着衣のデザインの差による低減率のデータを蓄積していくこと、歩行速度 1.2m/s を超える条件でのデータを蓄積することが必要である。

4.6 まとめ

本章では新たな熱中症予防の指標の作成を目指し、修正 TNM、等価 SET* の有用性と限界、および改善に向ける方向性について検討を行った。具体的には修正 TNM、等価 SET* が TNM、SET* と比べ精度を上げているかという検証を第 2 章で得られた実測値を用い比較を行った。さらに、修正 TNM、等価 SET* の限界の検証を換気口の開口条件別に比較し検証した。修正 TNM、等価 SET* の予測は TNM、SET* よりも精度を上げているが、深部温に関してはまだ十分に対応できているとは言い難い結果となった。これは、深部温は生体内部の複雑な制御が個人や日による差が大きく、予測が難しいことが言える。また、修正 TNM の深部温の上昇・下降のタイミングは代謝量に起因しているため活動開始時と終了時に上昇・下降が始まる。だが実際には深部温は前の活動の影響を受けヒステリシス挙動を示すため、その点が修正 TNM モデルではまだ再現できておらず、非正常状態を予測することはまだ十分であるとは言い難い。一方、皮膚温に関しては精度良く予測することができている。これは人の皮膚温が人体の内部状況よりも環境の影響を受け変化しやすいことに起因すると考える。換言すると、皮膚温は深部温より物理現象として予測しやすいということである。ゆえに、佐古井らの修正 TNM がより精度よく予測できていたと考える。ただし、修正 TNM を計算するにあたり用いた着衣熱抵抗の低減率には Havenith の予測モデルを用いており、その使用域は歩行速度 1.2m/s までとなっ

ているため、修正 TNM のプログラムも歩行速度が 1.2m/s を超える場合は歩行速度 1.2m/s と置き換え計算を行っている。使用域を超える場合の補正法も考えていかなければならない。

修正 TNM の予測でもデザインの差異まではまだ予測できていない。これは着衣の熱抵抗の低減率を比較するとわかる。予測での熱抵抗の低減率は約 0.64 であったが、実測の値から算出した運動時の熱抵抗の低減率は閉鎖時約 0.63、開口時約 0.60 であった。閉鎖時は良く予測できているが、開口時には実測の熱抵抗が予測より低減しているため実測値とのズレが生じている。今後モデルの改善にあたっては上記のようなデザインの差異による着衣の低減率の違いも組み込むことで予測の精度を上げることができると考える。さらに、熱抵抗の低減率についても使用範囲を広げ歩行速度 1.2m/s を超える条件でも対応できるように改良することが望ましい。そのためには様々な着衣のデザインの差による低減率のデータを蓄積していくこと、歩行速度 1.2m/s を超える条件でのデータを蓄積することが必要である。

引用文献・参考文献

- 3-1) 異常気象と人類の選択, 江守正多: 角川 SSC 新書 (2013)
- 3-2) 平成 27 年度クールビズについて, 環境省: 報道発表資料 (2015),
URL: <http://www.env.go.jp/press/100883.html>
- 3-3) Let's COOL CHOICE! 平成 27 年度「ウォームビズ」について, 環境省: 報道発表資料 (2015)
URL: <http://www.env.go.jp/press/101578.html>
- 3-4) 冷房設定温度 28°C 環境における知的生産性評価, 西原直枝, 西原雅弥, 植木雅典, 川村明寛, 田辺新一:
日本建築学会大会学術講演梗概集 p.447-450 (2006)
- 3-5) 「クールビズ」導入オフィスにおける勤務者の温熱環境評価, 榎本ヒカル, 池田耕一, 東賢一, 栃原裕,
: 労働安全衛生研究 Vol.2 No.1 p.5-10 (2009)
- 3-6) あるクールビズ実施オフィスの温熱環境による人体影響に関する実態測定, 榎本ヒカル, 薩本弥生, 杉本千佳:
人間-生活系シンポジウム報告集 p.185-186 (2013)
- 3-7) 震災前後のオフィスにおける執務者意識と執務環境, その 2: 震災後 3 年間の継続調査, 田辺新一, 内海慧, 弘本真一, 森勇司, 鞍馬聖菜, 平岡雅弥, 菰田英晴, : 日本建築学会大会学術講演梗概集 p.53-54 (2014)
- 3-8) 家庭における節電をどう進めるか: 東日本大震災後の節電政策, 溝渕健一: 神戸大学大学院経済学研究
Discussion Paper1105 p.3-5 (2011)
- 3-9) アウトドア用パーカのデザイン・素材特性が温熱的快適性におよぼす効果, 青柳卓也: 横浜国立大学卒業論文(2014)
- 3-10) アウトドア用パーカのデザイン・素材特性が温熱的快適性におよぼす効果, 青柳卓也, 薩本弥生: 繊維
学会予稿集 2c15 (2014)
- 3-11) 平成 26 年 9 月及び夏期の熱中症による救急搬送の状況, 総務省消防庁 報道資料 (2014)
- 3-12) 暑さ指数(WBGT)環境省 熱中症予防情報サイト URL: http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php
- 3-13) ISO 7243 Hot Environments (1982)
- 3-14) Yaglou らと一致する WBGT 理論式の導入と理論式の防護服への展開, 佐古井智紀, 持田徹, 蔵澄美仁, :
人間-生活系シンポジウム報告集 p.335-338 (2014)
- 3-15) A standard predictive index of human response to the thermal environment, Gagge A.P. Fobelets
A.P. Berglund L.G. : ASHRAE Trans. 92 p.709-731(1986)
- 3-16) 高活動時の標準有効温度のずれと修正の試み, 佐古井智紀, 持田徹, 蔵澄美仁, 都築和代, 大岡龍三:
人間-生活系シンポジウム報告集 p.15-18 (2013)
- 3-17) 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) P.8.1 (2001)
- 3-18) Concept of the equivalent wet bulb globe temperature index for indicating safe thermal
occupational environments, T. Sakoi, T. Mochida, Building and Environment 67, pp.167-178 (2013)
- 3-17) ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment (2007)
- 3-18) 年齢別に見た熱中症による死亡数の年次推移(平成 7 年~26 年), 熱中症による死亡数: 人口動態統計
(2014)
- 3-19) 「体育活動における熱中症予防」調査研究報告書, 独立行政法人日本スポーツ復興センター学校災害防

- 止調査研究委員会：学校災害自己防止に関する調査研究
- 3-20) 小学、中学、高校のスポーツ活動における熱射病死亡事故の実態，川原貴：日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.VIII，スポーツ活動における熱中症事故予防に関する研究-第2報- p.29-33 (1992)
- 3-21) 衣生活の科学-健康的な衣の環境をめざして，谷田貝麻美子・間瀬清美編著，(株)アイケイコーポレーション (2007)
- 3-22) Heat and cold illnesses during distance running, Lawrence E. Armstrong, Yoram Epstein, John E. Greenleaf, Emily M. Haymes, Roger W. Hubbard, William O. Roberts, Paul D. Thompson, : American college of sports medicine position stand p.39-60 (1995)
- 3-23) 熱中症の原因を探る，救急搬送データから見るその実態と将来予測，小野雅司：国立環境研究所研究情報誌 No.32 p.4-11 (2009)
- 3-24) 「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」： 日本体育協会 (2013)
- 3-25) 衣服の着心地に関わる教育プログラムの開発をめざした研究，中田いづみ：横浜国立大学大学院修士論文 (2014)

4. 総括

4.1 研究の意義

CO₂などの温室効果ガスの増加により地球温暖化が進み、様々な不利益が現在でも人類に襲い掛かり、将来的にもその不利益が増すことは想像に難くない。そこで日本ではCO₂削減を目的に政府主導でクールビズが実施されるようになった。地球規模での温暖化のみならず、都市部のヒートアイランド現象も相まって、夏期における熱中症のリスクは高まっている。特に、予防医学的な観点から適度な運動が推奨されているが、夏期のような過酷な暑熱環境下での運動は警戒しなければならず、熱中症への移行状態の早期把握と予防システムが求められる。現在、熱中症予防のためWBGTを基にした熱中症予防指針が日本体育協会から出されている。しかし、このWBGTは環境の気温・湿度・輻射のデータからのみ算出されるため、着衣量の高い者や活動量の高い者に対してWBGTを基にした熱中症予防指針が有効であるかは検証する必要がある。さらに、WBGTは大量の被験者実験から導き出された実験式であるため、伝熱論的な理論は組み込まれていない。様々なシーンで使用するためには人の熱収支を考慮した新たな熱中症予防システムの構築が必要であり、環境側4要因(気温・湿度・気流・輻射)と人体側2要因(活動量・着衣量)に加え、発汗も考慮にしているSET*が有用であると考えられる。

本研究では新たな熱中症予防システムの開発を目指し、研究を行った。これは我々のQOLを高め、教育環境をより安全なものにするために寄与する研究であると考えられる。

4.2 本研究の内容

第1章では本研究の背景と目的について詳細に述べた。

暑熱環境下や運動時などの動的な環境での着衣の温熱的快適性には衣服の熱水分移動性能、特に蒸発放熱が支配的で、暑熱環境時の熱中症予防のため、暑熱時に温熱的に快適にするための条件として着衣素材の種類のみでなく着衣のデザインや、人の動作、環境の風速等の寄与は大きい。そこで、着衣の熱水分移動性能の向上のために、暑熱時に温熱的に快適な着衣のデザインを検討する必要がある。対流熱伝達率と蒸発熱伝達率の相似則からトレーサガス法により算出した換気量から蒸発熱伝達率を間接的に算出する方法をHavenith氏らが提案している。薩本は2008年に半年間、Havenith氏の元に留学し、この方法を学んだ。この方法は直接法よりも簡便に計測でき、着衣の熱抵抗、蒸発熱抵抗に着衣のデザインや環境の風速や歩行がどう影響するかについても評価が可能である。この方法を応用すれば、着衣内の局所の上記物性の分布も評価できる。そこで第2章では被服環境

デザインの最適化をめざすため、トレーサガス法と組み合わせて着衣および靴の熱水分移動を同時に評価する計測方法を開発した。また、開発した計測方法をベースに熱中症予防に影響の大きいスポーツウェアの快適な被服デザインを検討するため、スポーツウェアとして剣道着、コンプレッションアンダーウェア、陸上用 T シャツ、アウトドア用パーカを用い、その素材やデザイン要因による熱水分移動性能への効果について被験者実験による計測結果を元に評価した。アウトドア用パーカに関しては、歩行サーマルマネキンを用いたモデル実験とトレーサガス法を組み合わせた実験により評価した。

特に靴の暑熱環境状態での温熱的負荷に関してはその被覆面積の割に大きな影響があると予想されるため、空気圧を用いた足部歩行模擬装置を開発し、歩行中の換気評価と熱水分移動評価を同時に評価できるシステムを構築し、被験者実験による評価結果と比較検討した。また、着衣内で生じている熱水分移動の中で歩行による摩擦熱とふいご作用による対流放熱の影響を考慮して着靴内での熱収支に関して定量的に評価した。

第 3 章では温熱的快適性を実験室環境外の日常生活において評価するため、温熱生理計測の評価項目を検討し、ユーザーの装着・測定負担が低く、PC 等のコンピュータ端末でリアルタイムにデータモニタリングできるようなウェアラブル無線 BAN システムを開発した。さらに、そのシステムを用いた装着時の計測・分析・評価事例としてクールビズ実施オフィスの温熱環境と皮膚温への影響に関する実態測定および暑熱環境の陸上競技場での走行中の温熱環境及び生理データ評価を行った。一方で、現状で熱中症予防の指標として用いられている WBGT を用いた警報システムの妥当性について明らかにするため、本学に在籍する運動部の学生に警報システムを利用してもらい、彼らを対象にアンケート調査を実施し評価した。そして温熱環境に生理データとして活動量と着衣量を加えて評価する修正 SET*を用いたシステムの構築をめざす第 1 歩として修正 SET*で算出した予測値と 2 章の被験者実験で得られた実測値を比較することでその有用性と限界、および改善にむけての方向性について検討した。

4.3 本研究で明らかにされたこと

本研究では特にスポーツ時の熱中症予防に向けて、熱中症予防に貢献するシステムを構築するため、快適な被服デザインの検証と、現在熱中症予防指針として使用される WBGT の妥当性の検証、そして新たな熱中症予防の指標として修正 SET*の有用性と限界、および改善にむけての方向性について検討することを目的とした。

一つ目に快適な被服デザインの検証についての実験では、スポーツウェアの素材要因、デザイ

ン要因が着衣の換気性能や熱水分移動性能に大きく影響することが明らかにされた。

剣道着においては吸水速乾性のポリエステル剣道着の方が伝統的な綿の剣道着よりも薄く、通気性、透湿性、も高い上に、ハリがあり、よりはためき易いため換気性能も高く、着衣の熱水分移動性能も大きいことが明らかになった。野球用コンプレッションアンダーウェアの素材特性の比較では従来品である BA が布の厚みが薄く、通気抵抗が他の 2 条件に対して有意に低値である。熱伝導率が高い HC では皮膚温が、直接輻射熱が当たる部位で運動中に高くなった。熱が衣服内に熱伝導で流入したためと思われる。以上より通気抵抗が小さい BA が熱中症予防に寄与することが明らかとなった。しかし、輻射遮蔽素材の RR でも布の厚みを薄く改良すれば輻射を遮蔽して体温上昇を抑制できる可能性が示唆された。一方、同一素材で 3 種類のゆとり量の違うコンプレッションアンダーウェアを試作し、ゆとり量の違いがどのような原因で温熱的快適性に影響を及ぼすのか、被験者実験を通して明らかにすることを目的として実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。運動時においては L 着衣時に蒸発熱伝達率、熱通過率が大きくなり、衣服内温度が下がった。衣服にゆとりがあるため、衣服が動作時に揺動する“はためき”による（ふいご作用）強制対流が生じたことが要因であると考えられる。一方、運動後期においては、タイト着用時に熱通過率の上昇が生じ、回復期においては、T 着用時に衣服内温度の低下が生じた。この原因は身体にぴったりとフィットしたことで、熱伝導が起きやすくなること、加えて運動中にかけた汗が熱伝導率を上げたことで、乾性放熱が有効的におこなわれたこと、濡れ広がりによる蒸発放熱、これらにより有効的に放熱が行われたためと思われる。

背部にコインを入れふいご作用の増幅をねらったスポーツウェアが暑熱環境下での熱中症予防に効果があるか検討するため、20℃、65%RH の人工気候室での 10km/hr でのトレッドミル走行中の着衣の揺れをコインの有無で動作解析により比較した。さらに、走行中の換気量および熱通過率をトレーサガス法による換気実験と胸部と背部の放熱量と皮膚温の計測によりコインの有無で比較した。走行中のウェアの揺れは、コインを背部に入れると、コインを入れない時に比べて、ウェアの揺れが増幅していることが確認された。換気および背中下部の熱通過率もコインを入れることで増加した。このことから、コインを入れることで、ふいご作用の増幅による放熱の促進に貢献することが明らかとなった。

長ズボンの上方脇に換気口を設置した下衣の検証と、パーカ前部に換気口を設置した上衣の検証を行った。下衣の結果として、換気速度は換気口を開口することで向上し、熱通過率も同様に 3ヶ所の平均熱通過率は開口することで閉鎖時よりも高値を示した。しかし部位別にみると、換気口付近の大腿外側の局所的効果にとどまり、下腿では閉鎖時の方が熱通過率は高を示す結果と

なった。実験終了後に被験者に各条件の感想の聞き取りを行うと、開口時に方が動きやすく、開口部付近で空気の流れることができるとの回答が得られた。また閉鎖時は蒸れや発汗、熱がこもる感覚があるとの回答が得られた。下衣の実験は換気速度と熱通過率に着目して実験を実施した。しかし温熱的快適性には水分移動も重要な要素となるため、今後は水分移動も同時に評価する必要がある。

上衣の結果として、換気速度は開口時に閉鎖時に比べ約 1.6 倍換気速度が向上し、熱通過率・蒸発熱伝達率・主観申告で有意差が認められた。そして、換気速度は開口時に必要換気速度の 3.5 割、閉鎖時に 2 割ほどを満たす。快適性は向上したが、換気速度の割合では必要換気速度を十分満たしているとは言えず、熱通過率に関しても部分的に見ると換気口付近の脇をはじめ上腹部、下腹部の前部にのみ有意差やその傾向が認められ、背部にまで影響を及ぼすことはなかった。今回は人工気候室内の静穏気流下で実験を行った。今後は有風下での検証や換気口を背部にも設置し前後の換気口効果を複合的に検証し、より快適な条件を探ることが課題である。

3 章の熱中症予防指針として使用される WBGT の妥当性の検証では、熱中症予防警戒メールシステムを利用しアンケート調査を行い、WBGT の警戒レベルが夏期に運動する者の主観と合致するかどうかの検証を行った。部活ごとにみると女子ラクロス部・テニス部・陸上部は警戒レベルと主観は概ね合致していたという結果となった。一方、剣道部・野球部は主観よりも低いと回答する者の割合が他の部活よりも多かった。剣道部・野球部の共通点および他の部活との相違点をみると、顕著なものは着衣状況であった。他の部活が軽装で運動を行っているのに対し、この 2 つの部活は長袖・長ズボンおよび、半そで・長ズボンの割合が高く、さらに防具の着用者は剣道部で顕著に高かった。また、活動量に関しても、ハードと回答する者が多い。女子ラクロス部・陸上部もハードと回答している者が多かったが、着衣状況は夏期らしく軽装であった。激しい運動および熱の逃げにくい着衣状況が WBGT の警戒レベルと主観との乖離を生み出していることが示唆された。夏期において着衣量・活動量の高い剣道部・野球部では警戒レベルと主観との間にズレ生じるという熱中症予防指針の限界が示されたが、裏を返せばそれ以外の場合は一致していたことが示された。環境要因のみで算出できるため夏期に激しい運動を行わない者や着衣量が高くない状態で運動をする者であれば十分な予測であると言える。しかし WBGT による熱中症予防指針は健康な成人を基準としている。そのため中井ら²⁾は、体温調節機構が成人よりも低い小学生以下の子ども及び高齢者に対しては警戒レベルを 1 段階下げるなどの調整が必要であると述べているため、体温調節能力が成人よりも低い子ども、高齢者および病的状態にあるものには配慮する必要がある。それに加え、本研究で明らかにされたように活動量や着衣量が高い者に関

しても同様に配慮する必要があると考える。

新たな熱中症予防の指標として、等価 SET*の有用性と限界、および改善にむけての方向性について検討を行った。具体的には等価 SET*が SET*と比べ精度を上げているかという検証を第 2 章で得られた実測値を用い比較を行った。さらに、等価 SET*の限界の検証を換気口の開口条件別に比較し検証した。等価 SET*は SET*よりも精度を上げているが、深部温に関してはまだ十分に対応できているとは言い難い結果となった。しかし、皮膚温に関しては精度良く予測することができている。修正 SET*は環境要因に加え、活動量と着衣量の人体要因も考慮されているため様々な状況に対応できると考える。それは剣道や野球などのスポーツシーンだけでなく、夏場の工事現場において高着衣量で作業する者や工場で作業する者に対しても個別に対応が可能ということである。

等価 SET*は皮膚温をよく再現できているが、デザインの差異まではまだ再現できていない。これは着衣の熱抵抗を見てわかる。予測での熱抵抗の低減率は約 0.64 であったが、実測の値から算出した運動時の熱抵抗の低減率は閉鎖時約 0.63、開口時約 0.60 であった。閉鎖時は良く予測できているが、開口時には実測の熱抵抗が予測より低減しているため実測値とのズレが生じている。人工気候室内での同一の実験環境を入力値としているため、多少誤差はあるが、開口時でも閉鎖時でも同じ出力が返される。だが、被服のデザイン性の違いが人体に影響を与え、閉鎖時に比べ開口時には熱水分移動性が向上することが第 2 章では明らかにされている。よって、デザイン性の違いが着衣量の熱抵抗の低減率にどれほど寄与するかデータを蓄積し、モデルに入れ込むことでより予測の精度が向上すると考える。

今後モデルの改善にあたってはこのようなデザインの差異による着衣の低減率の違いも組み込むことで予測の精度を上げることができると考える。そのためには様々な着衣のデザインの差による低減率を算出しデータを蓄積していくことが必要であると考え。

引用文献

1) 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, 一年齢、着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針-, 中井誠一, 新矢博美, 芳田哲也, 寄本明, 井上芳光, 森本武利: 日本体力医学会 体力科学 p.437-444 (2007)

研究発表（平成23年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計(13)件 うち査読付論文 計(13)件

著者名	論文標題				
薩本弥生, 竹内正顕	温熱的快適性を向上させた換気機構付きの革靴の開発				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
デサントスポーツ科学	有	33	2	012	59-66

著者名	論文標題				
薩本弥生	服装と熱中症				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
日本臨床	有	70	2	012	1013-1021

著者名	論文標題				
田中英登, 梅田奈々	高齢者における冷房環境下の快適性に及ぼす気流の影響				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
日本生気象学雑誌	有	48	2	011	s82

著者名	論文標題				
斉藤武比斗, 田中英登	CVRRを用いたASHRAE基準の生理学的評価				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
日本生気象学雑誌	有	48	2	011	s89

著者名	論文標題				
H.Hasegawa, S.Takatsu, T. Ishiwata, H. Tanaka and R. Meeusen	Continuous monitoring of hypothalamic neurotransmitters and thermoregulatory responses in exercising rats				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
J.Neuroscience Methods	有	202	2	011	119-123

著者名	論文標題				
上野 哲, 澤田晋一, 登内道彦	熱中症による業務上死亡災害：2009年と2010年の比較				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
日本生気象学会雑誌	有	48	2	011	s55

著者名	論文標題				
Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, Jun-ichi Takata, Kiyoshi Hamaguchi, Ryuji Kohno	Numerical Simulations for Wearable BAN Propagation Model during Various Human Movements				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
IEICE Transactions on Communications	有	vol.E94-B, no.9	2	011	2496-2499

著者名	論文標題				
Keisuke Sodeyama, Ryuji Kohno	Performance Analysis of Spectrum Management Technique by Using Cognitive Radio				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
InTech, Open Access Publisher	有	no.13	2	011	264-272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)					
ISBN 978-953-307-324-8					

著者名	論文標題				
Haruka Suzuki, Ryuji Kohno	Throughput Efficiency of Hybrid ARQ Error-Controlling Scheme for UWB Body Area Network				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁

InTech, Open Access Publisher	有	no.13	2	0	1	1	289-310
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)							
ISBN 978-953-307-461-0							

著者名	論文標題						
Koji Enda, Ryuji Kohno	Iterative Delay Compensation Algorithm to Mitigate NLOS Influence for Positioning						
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁			
Current Trends and Challenges in RFID	有	—	2	0	1	1	357-374
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)							
ISBN 978-953-307-356-9							

著者名	論文標題						
Shinichiro Miyazaki, Shoichiro Yamasaki, Ryuji Kohno	Single-Carrier Transmission Using Overlap Frequency Domain Equalizing and Coherent Averaging						
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁			
IEICE Transactions on Fundamentals	有	vol.E94-A, no.11	2	0	1	1	2169-2177

著者名	論文標題						
Huan-Bang Li, Ryuji Kohno	Standardization on Body Area Network and a Prototype System Based on UWB						
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁			
Journal of Medical Systems, Springer Science +Business Media, LLC	有	—	2	0	1	1	1255-1263
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)							
DOI 10.1007/s10916-011-9662-9							

著者名	論文標題						
Pham Thanh Hiep, Fumie Ono, Ryuji Kohno	Controlling Distances and Transmit Powers for Reliable Multi-Hop MIMO Relay System						
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁			
EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking	有	Vol.2012-April 2012	2	0	1	2	「印刷プロセス中」
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)							
DOI:10.1186/1687-1499-2012-153							

【学会発表】計 (25) 件 うち招待講演 計 (0) 件

発表者名	発表標題		
Chika Sugimoto and Ryuji Kohno	Wireless Sensing System for Healthcare Monitoring Thermal Physiological State and Recognizing Behavior		
学会等名	発表年月日	発表場所	
The 6th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA2011)	2011.10.28	Barcelona, Spain	

発表者名	発表標題		
Yayoi Satsumoto, Masaaki Takeuchi and George Havenith	The Effect of size factor of leather shoes on ventilation rate in shoes		
学会等名	発表年月日	発表場所	
ICHES2011	2011.10.4	Hokkaido University	

発表者名	発表標題		
上野哲、岡龍雄、澤田晋一	夏季の林業従事者の下草刈り作業における暑熱負担の検討 (2) ~深部体温、尿成分、体重減少量による解析。		
学会等名	発表年月日	発表場所	
日本産業衛生学会	2011.5.18	東京都港区	

発表者名	発表標 題	
岡龍雄, 上野 哲, 澤田晋一	夏季の林業従事者の下草刈り作業における暑熱負担の検討 (1) ~心拍数を用いた解析	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本産業衛生学会	2011.5.18	東京都港区

発表者名	発表標 題	
Shin-ichi Sawada, Satoru Ueno	Recent heat-related problems at outdoor work and the assessment and prevention strategy in Japan	
学会等名	発表年月日	発表場所
ICHES2011	2011.10.5	Hokkaido University

発表者名	発表標 題	
松久優花, 島崎康弘, 野津滋	歩行運動時における靴内温熱気候の計測	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本機械学会中国四国学生会第42回学生員卒業研究発表講演会	2012.3.7	広島大学

発表者名	発表標 題	
Pham Thanh Hiep, Ryuji Kohno	Examining exclusive transmit time for high propagation characteristic of Distributed MIMO Repeater System with amplify-and-forward	
学会等名	発表年月日	発表場所
The 8th Asia Pacific Wireless Communication Symposium, IEEE VTC Singapore Chapter, (APWCS 2011)	August 2011	Singapore

発表者名	発表標 題	
Md. Humayun Kabir, Ryuji Kohno	An Iterative TOA Positioning Approach by UWB Communication Systems for Mitigating Non Line-of-Sight Errors	
学会等名	発表年月日	発表場所
IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC2011)	September 11-14, 2011	Toronto, Canada

発表者名	発表標 題	
Koji Enda, Ryuji Kohno	UWB Localization Algorithm to Improve Accuracy under NLOS Environment	
学会等名	発表年月日	発表場所
IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2011)	September 11-14, 2011	Toronto, Canada

発表者名	発表標 題	
Mohammed FATEHY, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	Adaptive Transmission for Different WBAN Applications with Variable Length Spreading Sequence	
学会等名	発表年月日	発表場所
2011 International Conference on Asia Agriculture and Animal IPCBEE (2011)	March 6, 2011	Cairo, Egypt

発表者名	発表標 題	
Pham Thanh Hiep, Ryuji Kohno	Optimizing Relay Selection in Distributed MIMO Relay System for Conservation of Transmit Power	
学会等名	発表年月日	発表場所
The third international conference on knowledge and systems engineering (KSE 2011)	October 15, 2011	Ha Noi, Viet Nam

発表者名	発表標 題	
Pham Thanh Hiep, Ryuji Kohno	On the Capacity of Two-Way Distributed MIMO Repeater System	
学会等名	発表年月日	発表場所
The 7th IEEE international conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WIMOB 2011)	October 11, 2011	Shanghai, China

発表者名	発表標 題	

M. Hämäläinen, V. Niemelä, J. Iinatti, Ryuji Kohno	Performance Comparison of the Different IR-UWB Receivers in Wireless Body Area Networks		
学会等名	発表年月日	発表場所	
2011 IEEE International Conference on UltraWide Band. (ICUWB 2011)	September 14-16, 2011	Bologna, Italy	

発表者名	発表標題		
V. Niemelä, M. Hämäläinen, J. Iinatti, Ryuji Kohno	IEEE 802.15.4a UWB Receivers' Performance in Different Body Area Network Channels		
学会等名	発表年月日	発表場所	
The 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies. (ISABEL 2011)	October 26-29, 2011	Barcelona, Spain	

発表者名	発表標題		
Md. Humayun Kabir, Ryuji Kohno	A Hybrid Positioning Approach by UWB Radio Communication Systems for Non Line-Of-Sight Conditions		
学会等名	発表年月日	発表場所	
The IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM2011)	December 2011	Houston, USA	

発表者名	発表標題		
Jari Iinatti, Matti Hämäläinen, Ryuji Kohno	On the Recent and Future Topics of Wireless Communications in Healthcare		
学会等名	発表年月日	発表場所	
JAPANESE-FINNISH JOINT SYMPOSIUM - ICT and Technology in Medical and Health Research	December 13-14, 2011	Helsinki, Finland	

発表者名	発表標題		
Ryuji Kohno	Dependable Medical ICT - Medical Healthcare Based on Highly Reliable, Robust, Secure ICT -		
学会等名	発表年月日	発表場所	
JAPANESE-FINNISH JOINT SYMPOSIUM - ICT and Technology in Medical and Health Research	December 13-14, 2011	Helsinki, Finland	

発表者名	発表標題		
Takahiro Aoyagi, Junrichi Takada, Kenichi Takizawa, Kanya Y. Yazdandoost, Takehiko Kobayash, Ryuji Kohno	Propagation Characteristics for 2.45 GHz Dynamic Wearable WBAN using Multiport VNA		
学会等名	発表年月日	発表場所	
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA	

発表者名	発表標題		
Yuya Kazumoto, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	Study on Position Estimation of Implanted Devices by Using Signal Processing for UWB Ground Penetrating Radar		
学会等名	発表年月日	発表場所	
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA	

発表者名	発表標題		
Tomohiko Futatsugi, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	A Study on HARQ error-controlling scheme for the wireless control of medical equipment		
学会等名	発表年月日	発表場所	
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA	

発表者名	発表標題		
Ryo Iwakura, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	A Study on Packet Design to Realize Position Estimation as well as Information-Communication for Mobile Robot		
学会等名	発表年月日	発表場所	

2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA
--	------------	----------------

発表者名	発表標題	
Koji Enda, Md. Humayun Kabir, Fumie Ono, Ryuji Kohno	High Accuracy Tag Tracking System Based on TDOA in Medical Network	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA

発表者名	発表標題	
Hiroshi Takayama, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	UWB Geolocation of Implanted Devices Using Medical Images	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA

発表者名	発表標題	
Yuta Fujiura, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	BAN MAC Protocol for Optimization the Ratio between CAP and CFP	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA

発表者名	発表標題	
Koutaro Yamasue, Kenichi Takizawa, Kouji Sodeyama, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	UWB Body Area Network to Medical Vital Sensing in Hospital and Home Environments	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2012)	March 2012	San Diego, USA

【図書】計(1)件

著者名	出版社		
薩本弥生ら	株式会社 井上書院		
書名		発行年	総ページ数
アパレルと健康 ―基礎から進化する衣服まで―		2012	170

研究発表（平成24年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計(8)件 うち査読付論文 計(8)件

著者名	論文標題				
薩本弥生, 川村友希, 杉本千佳	暑熱環境下で熱中症予防に適した剣道用稽古着の検討服装と熱中症				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
繊維製品消費科学会	有	第54巻	2	013	226-236

著者名	論文標題				
K. Yamasue, H. Hagiwara, O. Tochikubo, C. Sugimoto, R. Kohno	Measurement of core body temperature by an ingestible capsule sensor and evaluation of its wireless communication performance				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
Advanced Biomedical Engineering	有	1	2	013	9-15

著者名	論文標題				
薩本弥生	服装と熱中症				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
日本臨床	有	70	2	012	1013-1021

著者名	論文標題				
薩本弥生, 竹内正顕	温熱的快適性を向上させた換気機構付きの革靴の開発				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
デサントスポーツ科学	有	33	2	012	59-66

著者名	論文標題				
田中英登, 梅田奈々	高齢者におけるエアコン気流の及ぼす				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
日生氣誌	有	第3巻	2	012	15

著者名	論文標題				
Pham Thanh Hiep, Fumie Ono, Ryuji Kohno	Optimizing Distance, Transmit Power, and Allocation Time for Reliable Multi-hop Relay System				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking	有	2012:153	2	012	1-13
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)					
DOI:10.1186/1687-1499-2012-153					

著者名	論文標題				
Pham Thanh Hiep, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	MAC-PHY Cross-Layer for High Channel Capacity of Multiple-Hop MIMO Relay System				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
Communications and Network, Scientific Research	有	Vo.4, No.2	2	012	129-138
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)					
DOI: 10.4236/cn.2012.42017					

著者名	論文標題				
Md. Humayun Kabir and Ryuji Kohno	A Hybrid TOA-Fingerprinting Based Localization of Mobile Nodes Using UWB Signaling for Non Line-Of-Sight Conditions				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
Sensors 2012	有	12(8)	2	012	11187-11204
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)					

DOI: 10.3390/s120811187

〔学会発表〕計(13)件 うち招待講演 計(4)件

発表者名	発表標 題	
劉雨, 薩本弥生, 竹内正顯	換気中敷きによる革靴の靴内換気の促進と快適性の改善	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012年度日本繊維製品消費科学会年次大会	2012.06.24	文化学園大学

発表者名	発表標 題	
胥 暁陽, 薩本弥生	おむつの快適性に排尿量と素材が及ぼす影響	
学会等名	発表年月日	発表場所
2012年度日本繊維製品消費科学会年次大会	2012.06.24	文化学園大学

発表者名	発表標 題	
薩本弥生, 劉雨, 福山照芳, 尾川晃一, 山本晃	レインコートの換気性能に素材の透湿性や換気口がおよぼす効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
第36回人間・生活環境系シンポジウム	2012.12.02	大同大学

発表者名	発表標 題	
上野 哲, 澤田晋一, 登内道彦	屋外業務上熱中症死亡災害は猛暑の時しか起きないか?	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本産業衛生学会	2012.5.31	名古屋

発表者名	発表標 題	
杉本千佳	人間系スマートセンシングシステム	
学会等名	発表年月日	発表場所
計測自動制御学会第29回センシングフォーラム	2012.9.28	茨城大学

発表者名	発表標 題	
C. Sugimoto, Y. Satsumoto	Evaluation of Heat Stroke Risk in Thermal Environments Using Wearable Wireless Sensing System	
学会等名	発表年月日	発表場所
計測自動制御学会第27回 生体・生理工学シンポジウム	2012.9.21	Hokkaido University

発表者名	発表標 題	
K. Yamasue, Y. Obinata, Takizawa, C. Sugimoto, R. Kohno	Measures Against Shadowing Problem on a Bed Using High-Band UWB-BAN	
学会等名	発表年月日	発表場所
2013 IEEE International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2013)	2013.3.8	Meiji University (Tokyo)

発表者名	発表標 題	
島崎康弘, 岡本浩樹, 野津滋, 吉田篤正	対流熱伝達及びふく射特性計測に基づく衣服を介した人体への熱輸送量の把握に関する研究	
学会等名	発表年月日	発表場所
第33回日本熱物性シンポジウム	2012.10.03	大阪市立大学

発表者名	発表標 題	
村田雅明, 島崎康弘, 野津滋	接地時におけるランニングシューズの力学的考察	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本機械学会中国四国学生会第43回学生員卒業研究発表講演会	2013.03.07	高知工科大学

発表者名	発表標題		
Satoru Ueno, Shin-ichi Sawada, Tatsuo Oka, Sachiko Yamauchi, Yoko Sakakibara, Naomi Hisanaga	Heat strain and hydration conditions of Japanese construction workers during work in summer.		
学会等名	発表年月日	発表場所	
9th International Meeting for Manikins and Modeling(9I3M)	2012.8.22	Tokyo, Japan	

発表者名	発表標題		
田中英登	東京の真夏の気温を1℃下げるには？人体の被服学・生理学の立場から身体運動トレーニングは快適温度を1度下げる？		
学会等名	発表年月日	発表場所	
第51回日本生気象学会大会記念シンポジウム	2012.11.10	キッセイ文化ホール, 長野県松本文化会館	

発表者名	発表標題		
田中英登	スポーツパフォーマンス向上に及ぼす最適な水分補給温度		
学会等名	発表年月日	発表場所	
5-15水分補給の日記念シンポジウム	2012.05.15	秋葉原、東京	

発表者名	発表標題		
榎本ヒカル	クールビズ導入オフィスの温熱環境		
学会等名	発表年月日	発表場所	
日本産業衛生学会第85回大会シンポジウム	2012.5.31	名古屋	

【図書】計(2)件

著者名	出版社		
C. Sugimoto, et al	Springer-Verlag		
書名	発行年	総ページ数	
Pervasive and Mobile Sensing and Computing for Healthcare	2 0 1 2	361	

著者名	出版社		
薩本弥生ら	株式会社井上書院		
書名	発行年	総ページ数	
アパレルと健康ー基礎から進化する衣服までー	2 0 1 2	173	

研究発表（平成25年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計(7)件 うち査読付論文 計(7)件

著者名	論文標題				
Kento Takabayashi, Hirokazu Tanaka, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	Multiplexing and Error Control Scheme for Body Area Network Employing IEEE 802.15.6				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
IEICE TRANS. Commun.	有	E97-B(3)	2	014	564-570

著者名	論文標題				
薩本弥生	子供の体温と衣服～熱中症から体を守る～、特集「子どもの成長と衣服」				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
チャイルドヘルス、(株)診断と治療社	有	17	2	014	16-19

著者名	論文標題				
田中英登	熱中症予防のための暑熱順化の意義				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
発汗学	有	20(2)	2	013	88-91

著者名	論文標題				
田中英登	夏季の室内における日常活動による代謝量変動が生理応答・温冷感応答に与える影響に関する高齢者と若年者の比較				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年		最初と最後の頁
人間と生活環境	有	20(2)	2	013	88-91

〔学会発表〕 計(12)件 うち招待講演 計(3)件

発表者名	発表標題		
薩本弥生, 高山清隆, 島崎康弘, 香川利春, 竹内正顯	空気圧を用いた靴の換気計測用模擬歩行装置		
学会等名	発表年月日	発表場所	
日本フルードパワーシステム学会25年度春季フルードパワーシステム講演会	2013.05.24	東京	

発表者名	発表標題		
薩本弥生, 田中唯, 中田いずみ, 島崎康弘	暑熱環境下における熱中症予防に適したコンプレッションインターの検討		
学会等名	発表年月日	発表場所	
日本繊維製品消費科学会2013年度年次大会	2013.06.28	名古屋	

発表者名	発表標題		
薩本弥生, 劉雨, 青柳卓也, 上野哲	レインコートの換気性能に素材の透湿性や換気口がおよぼす効果		
学会等名	発表年月日	発表場所	
第37回人間・生活環境系シンポジウム	2013.12.02	神戸大学総合研究拠点	

発表者名	発表標題		
榎本ヒカル, 薩本弥生, 杉本千佳	あるクールビズ実施オフィスの温熱環境による人体影響に関する実態測定		
学会等名	発表年月日	発表場所	
	107		

第37回人間・生活環境系シンポジウム	2013.12.02	神戸大学総合研究拠点
--------------------	------------	------------

発表者名	発表標 題	
洪栄作, 杉本千佳, 河野隆二	空調制御を目的としたバイタルデータを用いた個人の心地よさの推定	
学会等名	発表年月日	発表場所
IEICE_HCGシンポジウム	2013.12	松山

発表者名	発表標 題	
大日方 裕也, 山末 耕太郎, 杉本千佳, 河野 隆二	動的なチャンネル推定を利用したUWB-BANのための干渉対策双方向通信の研究	
学会等名	発表年月日	発表場所
IEICE_H25年度第1回MICT研究会	2013.12	松山

発表者名	発表標 題	
高林健人・田中宏和・杉本千佳・河野隆二	無線BANのための異なるQoSを考慮した多重化・誤り制御方式に関する一検討	
学会等名	発表年月日	発表場所
2013年度IEICEソサイエティ大会	2013.9	福岡

発表者名	発表標 題	
佐藤 克憲, 山末 耕太郎, 杉本千佳, 河野 隆二	無線BANに適した送受信情報伝送の一体化による通信プロトコルの研究	
学会等名	発表年月日	発表場所
IEICE_H25年度第1回MICT研究会	2013.5.15	小金井

発表者名	発表標 題	
Chika Sugimoto	Human Sensing Using Wearable Wireless Sensors for Smart Environments	
学会等名	発表年月日	発表場所
Proc. of the 7th International Conference on Sensing Technology (ICST2013)	2013.12	New Zealand

発表者名	発表標 題	
吉田篤正, 檜原健太, 島崎康弘, 木下進一	地表面および衣服の日射特性が人体の温冷感に与える影響	
学会等名	発表年月日	発表場所
2013年度日本建築学会大会	2013.08.31	北海道大学

発表者名	発表標 題	
村田雅明, 島崎康弘, 野津滋	異なる歩行条件におけるシューズ内温熱環境形成	
学会等名	発表年月日	発表場所
スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2013	2013.11.03	工学院大学

発表者名	発表標 題	
島崎康弘, 橋本直之, 柏木衿香	異なる運動状況における発汗様相	
学会等名	発表年月日	発表場所
第37回人間・生活環境系シンポジウム	2013.12.01	神戸大学総合研究拠点

発表者名	発表標 題	
竹谷翔平, 島崎康弘, 野津滋	異なる運動状況における人体温熱状態の把握	

学 会 等 名	発 表 年 月 日	発 表 場 所
第37回人間-生活環境系シンポジウム	2013.12.01	神戸大学総合研究拠点

発 表 者 名	発 表 標 題		
田中英登	スポーツパフォーマンス向上に及ぼす最適な水分補給温度		
学 会 等 名	発 表 年 月 日	発 表 場 所	
5-15水分補給の日記念シンポジウム	2012.05.15	秋葉原、東京	

〔図 書〕 計 (1) 件

著 者 名	出 版 社			
榎本ヒカルら	株式会社井上書院			
書 名			発 行 年	総ページ数
改訂建築物の環境衛生管理			2 0 1 3	173

研究発表（平成26年度の研究成果）

〔雑誌論文〕 計（13）件 うち査読付論文 計（4）件

著者名	論文標題			
薩本弥生	熱中症予防に効果的な服装～特集：高齢者における熱中症～			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
老年医学, (株)ライフ・サイエンス	有	52(5)	2 0 1 4	513-517

著者名	論文標題			
田中英登, 梅田奈々	高齢者における夏季の冷房使用状況と冷房使用時の生理反応と温熱的快適性に及ぼす影響			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
日本生気象学雑誌	有	51	2 0 1 4	141-150
掲載論文の DOI (デジタルオブジェクト識別子)				
http://doi.org/10.11227/seikisho.51.141				

著者名	論文標題			
田中英登, 佐藤栄嗣, 張曼, 張炎	熱中症予防のための補給水温に関する研究			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
横浜国立大学教育人間科学部紀要IV (自然科学)	無		2 0 1 4	2-9

著者名	論文標題			
田中英登	シンポジウム14：高齢者の熱中症予防のために体力医学会は何を成し得るか？暑熱順化の重要性—生活習慣と耐暑性発汗能—			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
体力科学	無	64	2 0 1 4	80

著者名	論文標題			
山増正樹, 田中英登, 比留間徹	運動療法ががん患者に与える心理的効果			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
体力科学	無	64	2 0 1 4	724

著者名	論文標題			
田中英登, 長谷川博	発汗機能の季節変動に及ぼす生活習慣の影響			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
第22回日本運動生理学会大会抄録集	無		2 0 1 4	?

著者名	論文標題			
田中英登, 江口潤, 斉藤武比斗, 蔡桜蘭	子どもの熱中症予防のための夏休み時の外遊び及びスポーツ活動時刻に関する調査研究			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
神奈川体育学研究	?		2 0 1 4	印刷中

著者名	論文標題			
江口潤, 田中英登	子どもの暑熱ストレス耐性に関する研究			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁
神奈川体育学研究	?		2 0 1 4	印刷中

著者名	論文標 題				
江口潤, 田中英登	子どもの暑熱ストレス耐性に関する研究				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
神奈川体育学研究			2 0 1 4	印刷中	

著者名	論文標 題				
佐古井智紀	WBGTは人体の皮膚温と蓄熱量のどちらを表すか?				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
2015年度日本建築学会大会(関東) 学術講演会梗概集 環境系II	無		2 0 1 4	投稿中	

著者名	論文標 題				
Yasuhiro SHIMAZAKI, Atsumasa YOSHIDA, Yayoi SATSUMOTO, and Shohei TAKETANI	Effect of properties of sports surface and clothing materials on human thermal load under hot environment				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Procedia Engineering	有	Vol.72	2 0 1 4	pp.502-507	
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)					
doi:10.1016/j.proeng.2014.06.087					

著者名	論文標 題				
Yasuhiro SHIMAZAKI, Atsumasa YOSHIDA, and Shohei TAKETANI	Experimental analysis of human thermal condition during outdoor exercise under summer conditions				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Journal of Heat Island Institute International	?	Vol.9, No.2	2 0 1 4	pp.33-38	

著者名	論文標 題				
Yasuhiro SHIMAZAKI, and Masaaki MURATA	Effect of gait on formation of thermal environment inside footwear				
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Applied Ergonomics	有	Vol.49	2 0 1 5	pp.55-62	
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)					
doi:10.1016/j.apergo.2015.01.007.					

[学会発表] 計 (12) 件 うち招待講演 計 (5) 件

発表者名	発表標 題		
薩本弥生	衣服の快適性研究と感性評価		
学会等名	発表年月日	発表場所	
応用脳科学コンソーシアム第2回感性脳情報科学ワークショップにて講演	2014.01.30	(株)NTTデータ経営研究所マネジメントイノベーションセンター主催,東京	

発表者名	発表標 題		
薩本弥生	家政学, 家庭科教育の進むべき道 分野横断・大学関連携の意義-学問分野の横断的研究の意義-		
学会等名	発表年月日	発表場所	
日本家政学会第66回大会若手の会企画で講演	2014.05.25	小倉	

発表者名	発表標 題		
薩本弥生	日常生活における熱中症予防指針-被服による涼しく暮らす工夫		
学会等名	発表年月日	発表場所	
生気象学会熱中症予防研究委員会主催公開市民講座	2014.07.06	東京農業大学世田谷キャンパス	

発表者名	発表標 題	
薩本弥生	高齢者の日常生活における熱中症予防に日本生気象学会は何を成し得るか」の中で被服の立場から講演, 被服による涼しく暮らす工夫	
学会等名	発表年月日	発表場所
生気象学会熱中症予防研究委員会主催	2014.10.25	桐蔭横浜大学, 横浜

発表者名	発表標 題	
薩本弥生	快適性を理解するためのQ&A ヒトをはかる16話の温度を測る	
学会等名	発表年月日	発表場所
第48回快適性を考えるシンポジウム, 繊維製品消費科学会快適・健康研究委員会主催	2014.10.31	京都教育大学, 京都

発表者名	発表標 題	
Kento Takabayashi, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno	Effective Error Control Scheme with Channel State Information for WBAN	
学会等名	発表年月日	発表場所
8th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT 2014)	April. 2014	Florence

発表者名	発表標 題	
榎本ヒカル	オフィス温熱環境の最新傾向	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本生理人類学会オフィス研究部会, 2014年度日本生理人類学会夏期セミナー, 招待講演	2014.9.5.	関西セミナーハウス

発表者名	発表標 題	
佐藤克憲, 山末耕太郎, 杉本千佳, 河野隆二	低消費電力を考慮した送受信パケットアクセスの一体化による医療BANのMACプロトコルの提案	
学会等名	発表年月日	発表場所
2014年度IEICEソサイエティ大会, B-20-3	2014.9	

発表者名	発表標 題	
青柳卓也, 薩本弥生	アウトドア用パーカのデザイン・素材特性が温熱的快適性におよぼす効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
繊維学会2014年度年次大会	2014. 6.12.	東京

発表者名	発表標 題	
薩本弥生, 斉藤秀子, 丸田直美, 諸岡晴美	動作時におけるブラジャーの快適性に身体特性, ブラジャーの種類がおよぼす効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本繊維製品消費科学会, 2014年度年次大会研究発表	2014.06.28	京都工織大学

発表者名	発表標 題	
中田いづみ, 薩本弥生	衣服の着心地に関わる教育プログラムの開発をめざした研究	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本家庭科教育学会2014年度年次大会	2014.06.29	岡山大学

発表者名	発表標 題	
Yayoi Satsumoto, Liu Yu, Takuya Aoyagi, Satoru Ueno	Effect of material property and design of outdoor parker on its heat transfer and ventilation rate	
学会等名	発表年月日	発表場所
ISF2014	2014.9.29.	Tokyo

発表者名	発表標 題	

薩本弥生, 中田いづみ	暑熱環境時の熱中症予防のためのふいご促進スポーツウェアの評価	
学会等名	発表年月日	発表場所
第38回人間生活環境系学会シンポジウム(HES38)	2014.12.01	長崎

発表者名	発表標題	
Yayoi Satsumoto, Liu Yu, Takuya Aoyagi, Satoru Ueno	Effect of material property and design of outdoor parker on its heat transfer and ventilation rate	
学会等名	発表年月日	発表場所
ISF2014	2014.9.29.	Tokyo

発表者名	発表標題	
薩本弥生, 中田いづみ	暑熱環境時の熱中症予防のためのふいご促進スポーツウェアの評価	
学会等名	発表年月日	発表場所
第38回人間生活環境系学会シンポジウム(HES38)	2014.12.01	長崎

発表者名	発表標題	
後藤昭治郎, 島崎康弘, 野津滋	日射環境下における多層着衣時の人体伝熱量予測	
学会等名	発表年月日	発表場所
第51回日本伝熱シンポジウム	2014.5.21	アクトシティ浜松

発表者名	発表標題	
村田雅明, 島崎康弘, 野津滋	換気量および充填率がシューズ内温熱環境に与える影響	
学会等名	発表年月日	発表場所
平成26年度日本人間工学会中国・四国支部, 関西支部合同大会	2014.12.13	岡山県立大学

発表者名	発表標題	
竹谷翔平, 島崎康弘, 野津滋	日射暴露時間が人体の温熱状態及び生理反応に及ぼす影響	
学会等名	発表年月日	発表場所
平成26年度日本人間工学会中国・四国支部, 関西支部合同大会	2014.12.13	岡山県立大学

発表者名	発表標題	
佐古井智紀, 持田徹, 藏澄美仁	Yaglouらと一致するWBGT理論式の導出と理論式の防護服への展開	
学会等名	発表年月日	発表場所
第38回人間生活環境系学会シンポジウム(HES38)	2014.12.01	長崎

発表者名	発表標題	
佐古井智紀	WBGTは人体の皮膚温と蓄熱量のどちらを表すか?	
学会等名	発表年月日	発表場所
2015年度日本建築学会大会(関東) 学術講演会(投稿済)	2014. 9.4~6	東海大学湘南キャンパス

, Yaglouらと一致する WBGT 理論式の導出と理論式の防護服への展開, 第 38 回人間-生活環境系シンポジウム, 2014 年 12 月 7 日, 長崎県立大学シーボルト校

[図書] 計 (1) 件

著者名	出版社		
間瀬清美・薩本弥生編著	アイ・ケイコーポレーション		
	発行年	総ページ数	
新版 衣生活の科学—テキスタイルから流通マーケットへ—	2014	225	