

暑熱環境下の作業に用いる着心地に配慮した 冷却フィールドウェアの開発

三重県工業研究所 松 岡 敏 生
(共同研究者) 三重県立看護大学 大 西 範 和
椋山女学園大学 増 田 智 恵

Development of Cooling Wear for Work under Hot Environment

by

Toshio Matsuoka
Mie Prefectural Industrial Research Institute
Norikazu Ohnishi
Mie Prefectural College of Nursing
Tomoe Masuda
Sugiyama Jogakuen University

ABSTRACT

We investigated cooling suits for use in agricultural greenhouses. Six subjects participated to 30 minutes of simulated farm work in the climate chamber set at 31 degrees Celsius (WBGT) with 4 clothes conditions. The clothes worn by the subjects were shirts only, clothing with fans, two types of vests with cooling materials. ECG, tympanic temperature, body weight loss, subjective sensations of comfort, work intensity, thermal and humidity in clothes were measured during the work. As a result, the followings were obtained. (1) It was found that wearing on the standard clothes and on two types of vests with cooling materials increased the tympanic temperature by about 0.2 degrees in 30 minutes of work, while wearing on the clothing with fans tended to suppress the rise of tympanic temperature. (2) It was found that both the

temperature and the humidity in the clothes were lower in the conditions wearing the clothes with fans than those in the others. (3) From the evaluation results of thermal and humidity sensations it was found that both sensations of warmth and wetness were lower the conditions of wearing on the clothes with fans than those in the others. By controlling the environmental conditions in a climatic chamber, we were able to obtain detailed vital signs such as tympanic temperature, then we construct an experimental system to evaluate the effects of clothing conditions for agricultural work.

要 旨

我々は、農業ハウスでの利用を想定した冷却服の開発に取り組んでいる。本研究では、人工気候室内にWBGTが31℃の暑熱環境下を再現し、6名の被験者に4つの着衣条件で30分間の模擬的な農作業を行わせ、冷却服が衣服内気候や体温等の生体信号、作業負担などの主観評価に及ぼす影響を検討した。その結果、以下の結論を得た。(1) 鼓膜温は、標準的な着衣、保冷剤を用いた冷却服では30分の作業で0.2℃程度上昇したが、ファン付き作業服ではほとんど上昇がみられず、体温上昇を抑える傾向があることがわかった。(2) ファン付き作業服では、他の着衣よりも衣服内温度、衣服内湿度ともに低く抑えられることがわかった。(3)「温冷感」、「湿潤感」の評価結果より、ファン付き作業服は他の着衣に比べ暑さ感、湿潤感ともに低いと評価されることがわかった。人工気候室で環境条件を詳細に制御することで、鼓膜温等の詳細なバイタルサインが得られ、衣服条件の違いが農作業の負担に及ぼす影響を評価する実験系が構築できた。

緒 言

近年、夏季の温度上昇に伴い、屋外作業での熱中症の防止対策が急務かつ重要となっている。衣服を用いた熱中症防止対策として、インナーウェアによりバイタルサインを取得して生体情

報を観測するシステムが開発され¹⁾、建設業などで実用化が進んでいる。農業分野でも、経営規模が拡大され、トマト栽培が行われる太陽光利用型植物工場では100名を超える大規模経営も進んでおり、熱中症の防止対策などの労働安全衛生が重要となっている。太陽光利用型植物工場等の農業ハウス内は、植物の生育等のための環境制御により高温多湿化することがあり、屋外の気温や湿度が熱中症発症の危険レベルに達しない場合でも、ハウス内は危険度が上昇することもある。そのため、農業ハウスで働く人に合わせた労働安全衛生対策が必要である。特に、農業分野の担い手は、熱中症の罹患リスクが高まる年齢の作業従事者も多く、作業実施上の暑熱対策として、水分補給や適切な休憩に加えて、着衣の対策が必要である。斎藤らは、ハウス栽培作業時の熱中症や水分補給の実態調査²⁾や夏期暑熱下ハウス農作業時における高齢農業従事者の熱中症の危険性の評価³⁾から、ハウス栽培作業での高齢の農業従事者の作業実態を報告している。また、我々も夏期の太陽光利用型植物工場での作業について実態調査を行い、身体的に負担が大きいことを報告している⁴⁾。

夏季の温度上昇、熱中症の防止対策として、農作業においても作業者の身体的負担を軽減することを目的とした保冷製品のニーズは高く、市場も拡大してきている。そこで、我々も保冷製品の調査を行うとともに、今後の開発に向けてそれらの

製品の効果を検証している。空調服はファンにより外気で衣服内を換気することで熱を放散する。外気の温度が高い場合でも低湿度であれば、汗の蒸発を促進して熱放散を高めることができると想定されるが、太陽光利用型植物工場内などの高温で高湿度の条件では、効果が薄いと想定される。一方、低温の保冷剤用いた冷却服では、環境条件に左右されない冷却効果が期待でき、コスト的なメリット、保冷材の配置など衣服設計の自由度が高いことなどから利用の普及が見込まれる。そこで、我々は、太陽光利用型植物工場等の農業ハウスでの利用を想定した低温の保冷剤を用いた冷却服の開発に取り組んでいる。本研究では、保冷材の配置を変えた冷却服と急速に普及しているファン付き冷却服を対象に、環境条件を詳細に制御して、着衣条件が作業負担に及ぼす影響を検討したので報告する。

1. 方 法

1. 1 被験者および実験環境

被験者は、健康な成人男性6名（年齢 45.7 ± 7.3 歳，身長 172.3 ± 4.2 cm，体重 71.5 ± 10.5 kg，BMI 24.1 ± 3.1 ）であった。実験環境は、環境温

33℃，相対湿度78%に設定した人工気候室（エスベック（株）製）内にパネルヒーター（PH-B30（198W），Leadfar製）を設置して、被験者の作業位置付近でWBGT（Wet-bulb globe temperature，湿球黒球温度）約31℃に相当する環境とした。実験に先立って、研究の目的，意義，方法，潜在するリスクや参加への任意性などについて説明し、実験参加へのインフォームドコンセントを得た。また、本研究は三重県立看護大学研究倫理審査会の審査を受け、承認を得て実施した（通知書番号：212404）。

1. 2 作業内容

実験は、トマト栽培で頻度が高い作業の一つである誘引作業とした。誘引作業とは、トマトの枝や茎を引き上げ、生長の向きや株のバランスを整えるための作業であり、芽かきとともに頻繁に行う作業である。作業環境の概要を図1に示す。人工気候室内に、作業ボードを設置して、トマトおよび茎を模した約1.5kgの錘をフックにかけ、それを図1に示したAからB，C，Dの順に移動させ、この作業を繰り返して模擬誘引作業とした。

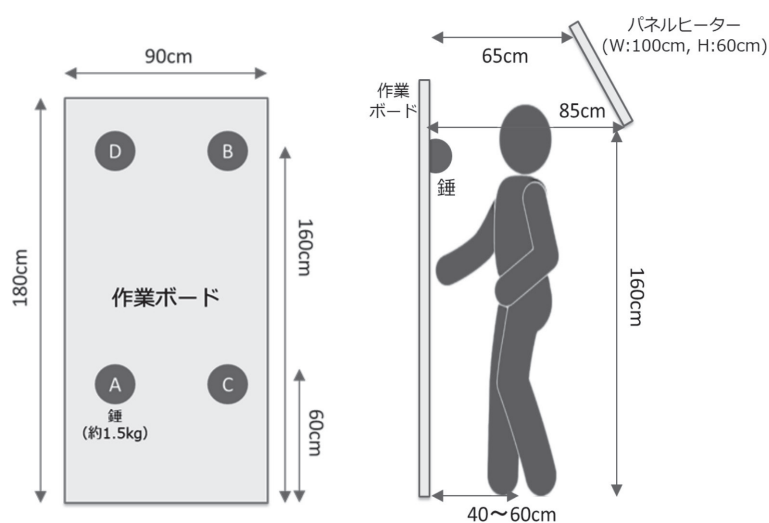


図1 作業環境の概略図

1. 3 実験衣

作業時の着衣は、長袖の上衣、長ズボン、長袖アンダーシャツ、パンツ、靴下、靴、手袋、マスク、帽子とし、上衣は4種類（C1からC4）とした。長袖の上衣を除く、長ズボン、長袖アンダーシャツ、パンツ、手袋、マスク、帽子は全ての条件で同一として、その素材等の詳細を表1に示す。靴および靴下は、被験者がそれぞれ普段使用しているものとした。

4種類の上衣は、長袖シャツを基準条件として、冷却方法が異なる3種類の冷却服を用いた。その詳細を表2及び図2に示す。C1は長袖アンダーウェアの上に、長袖シャツのみを着用した一般的な作業着条件である。C2およびC3は、C1条

表1 実験衣の詳細

被服の種類	素材	組織等
アンダーシャツ	ポリエステル92%、 ポリウレタン8%	トリコット
アンダーパンツ	綿100%	
長ズボン	ポリエステル100%	平織（タフタ）
長袖シャツ	ポリエステル100%	平織（タフタ）
帽子	ポリエステル100%	キャップ型
手袋	ニトリルゴム100%	
マスク	ポリエステル100%	不織布

表2 着衣の詳細

着衣記号	着衣条件
C1	長袖シャツのみ
C2	長袖シャツ、冷却ベストA
C3	長袖シャツ、冷却ベストB
C4	ファン付き作業服

件の長袖シャツの上に、保冷剤を使用したベストタイプの冷却服であるが、それぞれ冷却部位が異なる。C2は上体の胸部及び背部を冷却し、バンド等での締め付けをせずに、ゆったりと着用できるものとした。C3は左右の腋下部、背部及び頸部を冷却するが、伸縮素材を用いて、保冷剤を身体に密着させるものとした。C2、C3は同一の保冷材を使用して、その使用量はほぼ同重量である。C4は、小型ファンを使用したブルゾンタイプの冷却服を長袖アンダーウェアの上に着用した条件である。

1. 4 測定項目

1. 4. 1 心電図

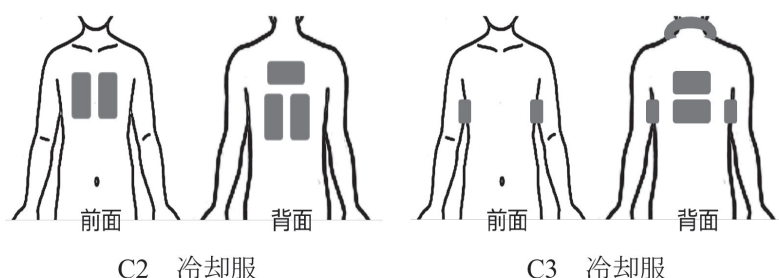
心電図は、バイオアンプ（PowerLab, ADInstruments製）を用いて胸部電極の双極誘導により100Hzで測定した。得られた心電図から心拍数を算出した。

1. 4. 2 鼓膜温

鼓膜温は、慈大式鼓膜温用プローブ（センサテカニカ製）を用いて60Hzで測定した。測定に際して、鼓膜温用プローブをセンサに付属しているスプリングの力で軽く鼓膜に接触する位置まで挿入した。その後、脱脂綿を外耳道内のスプリング周囲と外耳孔周囲に詰めて断熱、固定した。

1. 4. 3 主観評価

各着衣条件での着心地に関する主観評価とし



（グレー塗り部分が冷却部）

図2 着衣の詳細



C4 ファン付き服

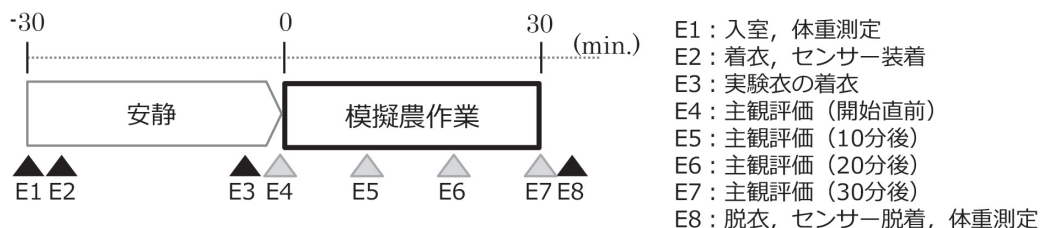


図3 実験プロトコル

て、Visual Analogue Scale (VAS) を用いて、「温冷感」(全く暑くない～非常に暑い)、「衣服内湿潤感」(非常に乾燥している～非常に湿っている)、「温熱的快適感」(非常に不快～非常に快適)を測定し、また、自覚的な運動強度をBorgスケール⁵⁾により測定した。測定は、作業開始前、作業開始後10分後、20分後、作業終了直後に、それぞれ人工気候室内で行った。

1. 4. 4 衣服内温湿度

衣服内温湿度は、上衣の違いによる影響を調べるために、アンダーシャツとその他の着衣間の衣服内温湿度を測定した。すなわち、作業者にアンダーシャツを着用させ、作業者の胸部に当たる位置のアンダーシャツ上に温湿度計(UNI-01-B002, ユニ電子(株)製)を貼付して、アンダーシャツとその他の着衣間の衣服内温湿度を測定した。測定は、作業前の安静時から実験終了まで連続的に30秒間隔で測定した。

1. 4. 5 体重

体重は、測定精度1gの電磁式天秤(IS150, Sartorius製)を用いて測定した。

1. 5 実験手順

被験者は、実験開始30分前に人工気候室に入室し、アンダーパンツのみを着用した状態で体重を測定した後、椅座位安静をとった。測定に必要なセンサ類を装着した後に、アンダーシャツ、長ズボン等の共通の被服を着用し、引き続き、椅座位安静を維持した。実験開始の直前に、各実験衣を着用し、主観評価ののち、実験作業を

開始した。作業中10分ごとおよび作業終了直後に主観評価を行い、その後、被服及びセンサを脱いでアンダーパンツのみを着用した状態で体重を測定し、退室した。以上の実験プロトコルを図3に示した。

2. 結果と考察

2. 1 心電図の測定結果

心電図は連続的に測定したが、各作業開始前の椅座位安静時の5分間を安静時データ、作業開始から5分間ごとに30分間を6区間に分けて、それぞれ解析を行った。心拍数は得られた心電図から心拍数を算出したが、いずれの被験者、着衣条件でも、作業時の心拍数は安静時に比べ増加しており、作業の有無によって危険率5%で有意な差がみられた。しかしながら、心拍数には被験者間の差異があるため、被験者の年齢を考慮したカルボネン法による最大心拍予備能の%強度(Percentage of Heart Rate Reserve, 以下%HRR)⁶⁾から作業の負担度を検討した。%HRRは次式により求めた。

$$\%HRR(\%) = \frac{(\text{作業時心拍数} - \text{安静時心拍数})}{\{(220 - \text{年齢}) - \text{安静時心拍数}\}} \times 100$$

図4に各作業時間における%HRRを示す。既往研究^{6,7)}における%HRRの分類では、20以下は軽労働、20～39は中労働、40～59は強労働、60～84は重労働、85以上は激労働に分類されるが、いずれの着衣条件でも各作業時間で軽労働から中労働程度であった。各作業時間における%HRRについて分散分析を行った結果、危険率

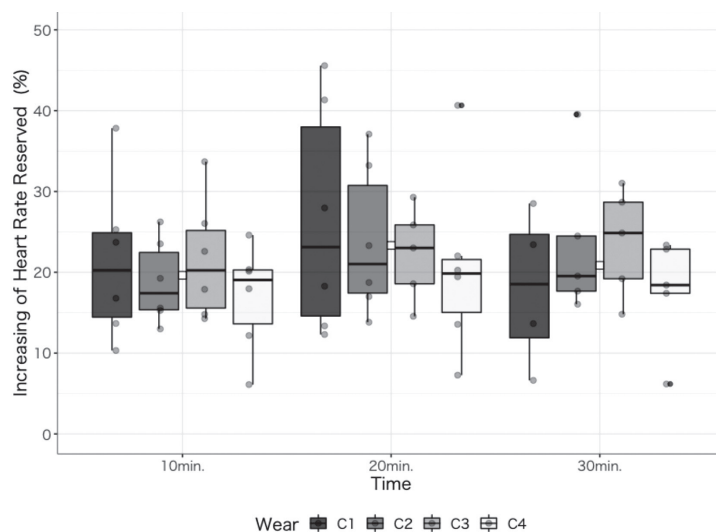


図4 各作業時間における%HRR(%)

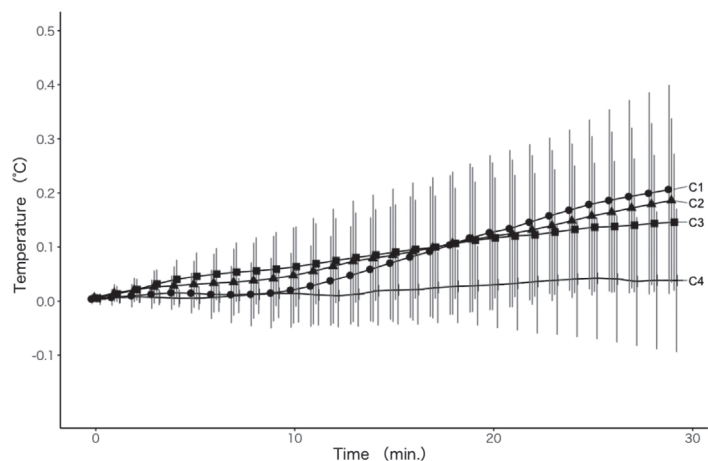


図5 各着衣条件での鼓膜温変化度の経時変化

5%で着衣条件は% HRRに影響を及ぼさないことがわかった。これは、人工気候室内での作業であり、実作業のような圃場内の移動を伴わないことから、作業の負担がそれほど大きくないことから着衣条件の影響が少なかったと考えられる。着衣条件が作業負担に及ぼす影響を検討する場合、作業の負荷度合いを検討する必要がある。また、経過時間による大きな差異もみられないようであるが、全体平均(□)をみると、20分後での% HRRが高い値となっている。C1で

の% HRRがばらついていることが影響していると思われる。心電図の評価に関しては、被験者を増やした追加実験等を検討したい。

2. 2 鼓膜温の測定結果

各着衣条件での鼓膜温変化度の経時変化を図5に示す。統計的に有意な差はみられなかったが、図5より、C1、C2、C3では作業開始時に比べ作業30分後では0.2度程度の上昇が見られるが、C4ではほとんど上昇が見られなかった。C4はファ

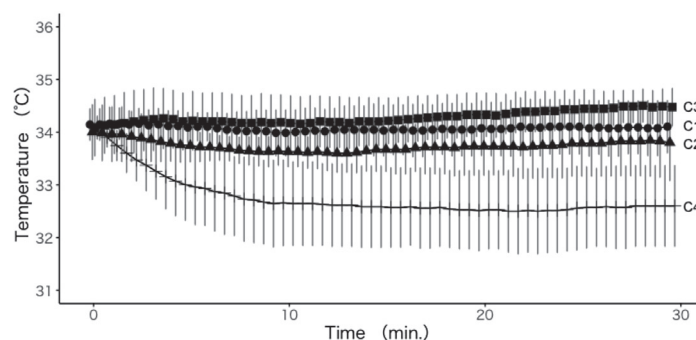


図6 各着衣条件での衣服内温度の経時変化

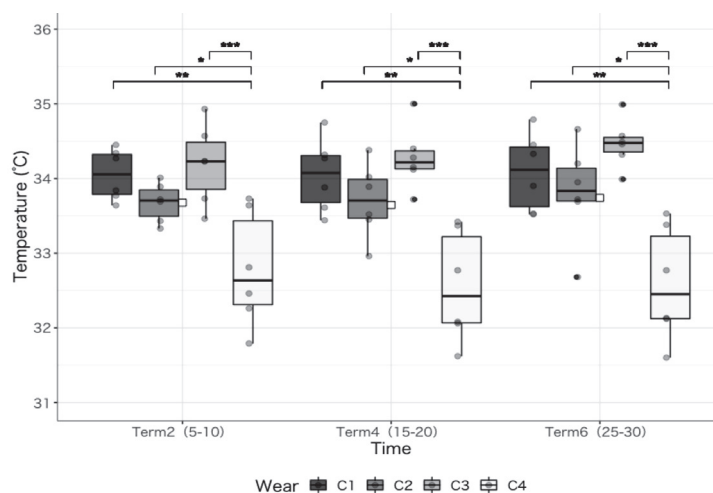


図7 各着衣条件での衣服内温度測定結果

ン付き作業服であり、C2、C3の保冷剤による冷却とは異なり、衣服内に外気を送風し冷却するが、この気流により、衣服内の蒸発性熱放散が促進されて、その冷却効果により鼓膜温の上昇が抑えられたと考えられる。

2. 3 衣服内温湿度の測定結果

図6に各着衣条件での衣服内温度測定結果を示す。また、作業開始から5分間ごとに30分間を6区間に分けて解析を行った衣服内温度測定結果を図7に示す。ファン付き作業服C4は、作業開始直後から衣服内温度を低下させ、約10分後に32.5度程度となり、その温度が作業終了まで維持されている。5分間ごとの平均値を比較しても、

C4は、いずれの時間でも他の着衣条件よりも衣服内温度は低いという結果であった。一方で、胸部と背部に保冷剤を配置したC2では、作業開始から15分後頃までやや衣服内温度が低下し、その後、わずかに上昇傾向にあるが、C1、C3よりも衣服内温度は低い結果であった。C1とC3を比較すると、作業開始後15分程度までは同程度の衣服内温度であるが、その後、C3がやや高い傾向にある。C3では、保冷剤が腋下部分と背面に配置されているが、胸部に保冷剤を配置したC2と比較して、また、着衣量が少ないC1と比較して、衣服内温度は高い傾向であった。C3ではフィット性に配慮した設計としており、冷却服により温度測定部分が押さえられているような着衣状

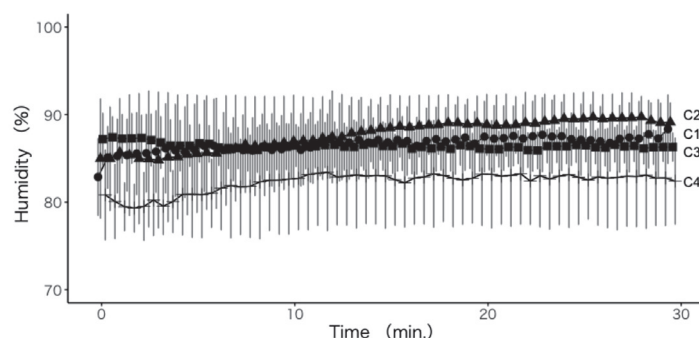


図8 各着衣条件での衣服内湿度の経時変化

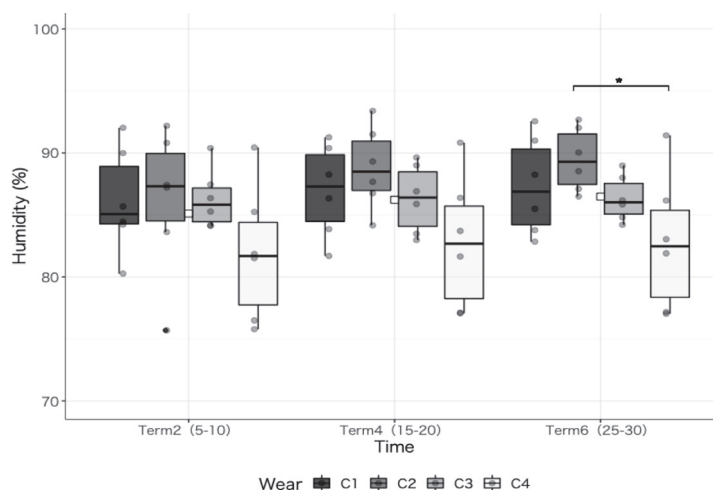


図9 各着衣条件での衣服内湿度測定結果

態となり、他の着衣条件に比べ、胸部の衣服と人体間の空隙が少なくなる設計である。衣服内湿度として胸部を測定しているため、胸部に保冷材が配置されているC2の衣服内湿度が低い結果となり、胸部の衣服と人体間の空間が小さいC3の衣服内湿度が高くなったと思われる。衣服内湿度としては、胸部のみの測定では評価できているとは言えないため、今後、測定箇所を変更して、実験を行いたい。

図8に各着衣条件での衣服内湿度測定結果を示す。また、作業開始から5分間ごとに30分間を6区間に分けて解析を行った衣服内湿度測定結果を図9に示す。C1、C2、C3では、作業開始直後から環境湿度を上回る85%程度の湿度となっ

た。これは、汗が蒸発することにより水蒸気圧が上昇したためと考えられる。時間経過とともに汗の蒸発は抑制されたと推察される。一方で、ファン付き作業服C4は、着衣後も環境湿度と同程度の衣服内湿度が維持されており、汗の蒸発のための水蒸気圧力差が維持されたと考えられる。胸部と背部に保冷剤を配置したC2では、作業開始から15分後頃までは、C1、C3と同様の衣服内湿度であるが、その後、上昇する傾向であった。これは、保冷剤の融解により、保冷剤表面からの結露水分が衣服へと移動して衣服内湿度を上昇させていると思われる。一方で、胸部の保冷剤が配置されていないC3は、C1と同様の衣服内湿度となっている。フィット性に配慮した

設計のC3では、冷却服により湿度測定部分が抑えられ衣服と人体間の空隙が少なくなるが、高温高湿下での発汗による要因以外の影響はないようである。衣服内湿度として胸部を測定しているため、胸部に保冷材が配置されているC2では保冷材の溶融の影響を受けやすく、その結果、衣服内湿度が高くなったと思われる。衣服内湿度としては、胸部のみの測定では評価できているとは言えないため、今後、測定箇所を変更して、実験を行いたい。

2. 4 主観評価

各主観評価値について分散分析を行った結果、着衣条件は、10分後の「衣服内湿潤感」、20分後、30分後の「温冷感」、「衣服内湿潤感」、作業強度に影響を及ぼし、いずれにおいても着衣条件は「温熱的快適感」に影響を及ぼさないことがわかった。人工気候室内はWBGTを31度に設定しており、その環境下で30分の椅座位安静をとらせたため、被服の違いによる温熱的快適感は評価できなかったものと思われる。

図10に「温冷感」の評価結果を示す。いずれの時間においても、C1はC2、C3、C4の冷却服

よりも暑いと評価されており、作業20分後の評価では、C1は、C3、C4に比べ、有意に暑いと評価された。着衣条件ごとの経時的な変化をみると、C1、C2、C3では時間とともに暑さ感は増しているが、C4は20分後までは増加傾向はみられない。着衣直後では、ファン付き作業服よりも保冷剤による冷却服が暑くないと評価されているが、時間経過とともに冷却材による冷却服C2、C3は暑さ感が増していき、20分後以降ではC4よりも暑いと評価されている。暑さ感に対して、保冷材による冷却服は時間経過により効果が小さくなっていくが、ファン付き作業服は一定の冷却効果が維持されているようである。

図11に「湿潤感」の評価結果を示す。着衣直後では、有意な差はみられないが、C1、C2、C3は同等であるが、ファン付き作業服では他よりもやや湿っていないと評価されている。作業10分後の評価では、C1はC4に比べ、有意に湿っていると評価され、20分後、30分後では、C1、C2、C3はC4に比べ、有意に湿っていると評価された。すなわち、作業開始20分後以降で、ファン付き作業服は、他の着衣条件に比べ湿潤感が低いということが明らかとなった。着衣条件ごとの経

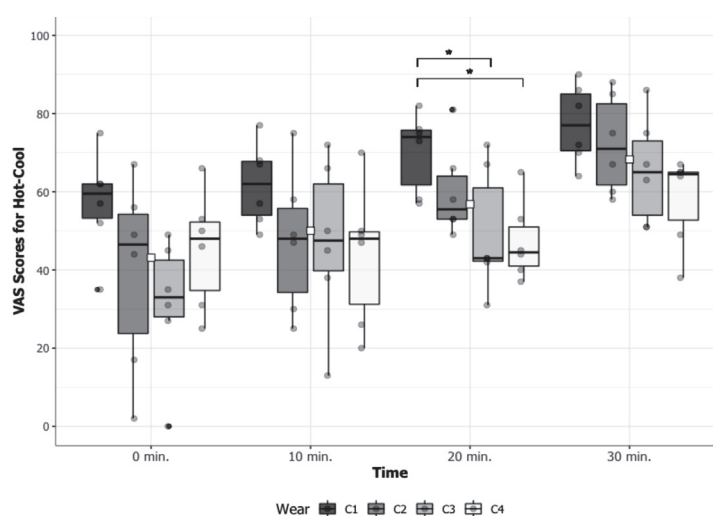


図10 各着衣条件での「温冷感」評価結果

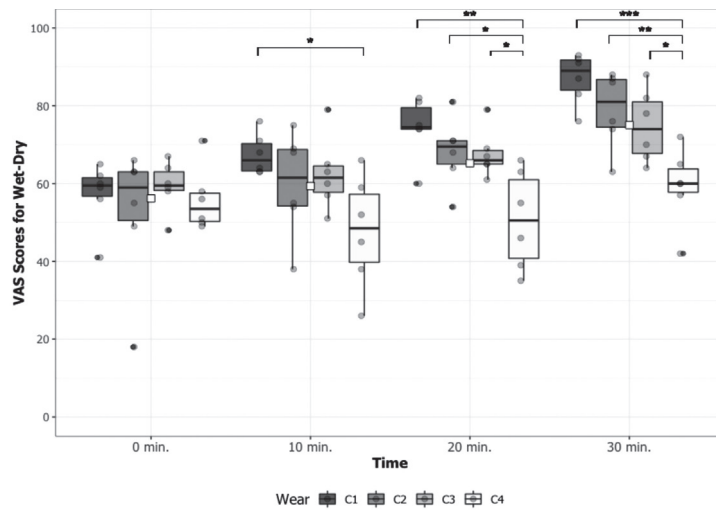


図11 各着衣条件での「衣服内湿潤感」評価結果

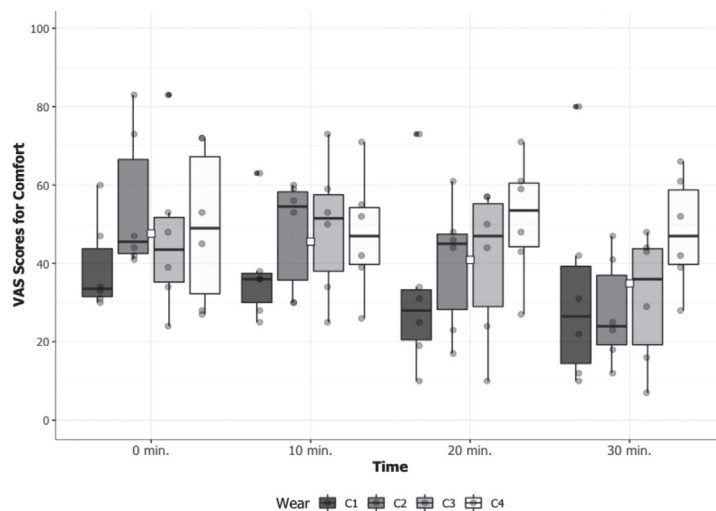


図12 各着衣条件での「湿熱的快適感」評価結果

時的な変化をみると、C1は時間とともに湿潤感が増し、C2、C3もやや増加しているようであるが、C4は20分後までは増加傾向はみられず、「湿冷感」と同様の傾向であった。また、衣服内湿度では、C2が高い値であったが、湿潤感ではC1が湿っていると評価されており、冷却服は湿潤感を抑える傾向にあると思われる。保冷材による冷却服C2、C3を比較すると、作業20分後、30分後ではフィット性があるC3がC2よりも湿っていないと評価されている。衣服内湿度の測定結果でも、C2は作

業約15分後から保冷剤表面からの結露水分と思われる影響により衣服内湿度が上昇しているが、C3ではほぼ一定の湿度であり、衣服内湿度の結果と一致する傾向にある。

図12に「湿熱的快適感」の評価結果を示す。今回の実験では、着衣条件は「湿熱的快適感」に影響を及ぼさないとの結果であるが、着衣直後と作業30分後の差をみると、C1、C2、C3に比べ、C4では不快感の変化量が少なく、「湿熱的快適感」が低くない傾向にある。冷却材を用いているC2、

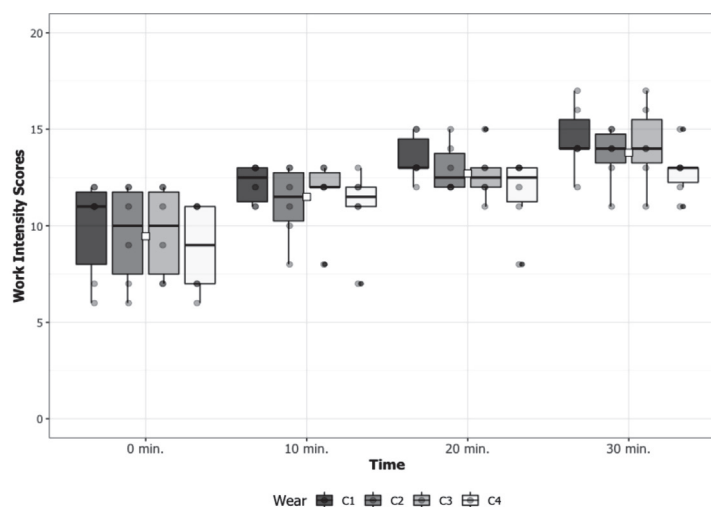


図13 各着衣条件での作業強度評価結果

C3はC1と比較して着衣直後から作業20分までは「温熱的快適感」が低くない傾向にあるが作業30分後では同等となっている。保冷剤の経時的な融解による影響と考えられる。

図13に作業強度の評価結果を示す。心電図での% HRRによる作業分類結果と比較すると、主観的な作業強度の評価結果はやや強度が高めに評価されているようであるが、同様に着衣条件による影響はあまりみられないようであった。統計的に有意な差はないが、作業30分後では、C1、C2、C3は、きついという評価であるが、C4はややきついという評価であり、C4では主観的な作業強度がやや低い傾向にあった。

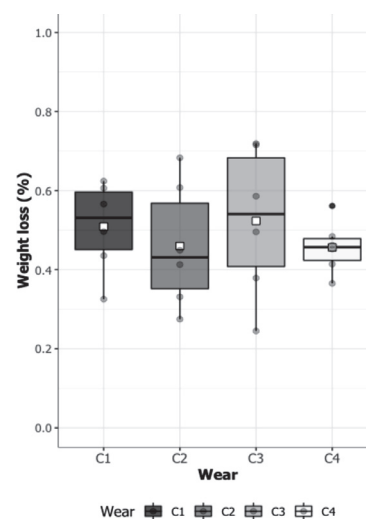


図14 各着衣条件での体重減少率

としてとらえ、各被験者のそれぞれの体重を基準に補正, 算出した。統計的には有意ではないが、図14より、C4ではC1より体重が減少している傾向がある。図7、図8から、C4では他の着衣条件に比べ衣服内湿度が低いことが確認でき、すなわち、衣服内の換気が他の条件よりも促進されていたと考えられる。この影響により、C4では有効発汗の割合が大きく、体重が減少する傾向にあったと推察される。

2. 5 体重減少量の測定結果

作業開始前と作業終了後に衣服等への汗の吸着などの影響を排除して体重を測定し、作業開始前に対する作業終了後の体重減少率を算出した。各着衣条件での体重減少率を図14に示す。体重減少率について分散分析を行った結果、危険率5%で着衣条件は体重減少率に影響を及ぼさないことがわかった。体重減少は体格によって補正する必要があり、ここでは体重減少率を脱水量

3. まとめ

人工気候室内にWBGT31℃の暑熱環境下を再現し、模擬的な農作業を行わせ、冷却服が衣服内気候や体温等の生体信号、作業負担などの主観評価に及ぼす影響を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 心電図から得られた%HRRより、WBGT31℃の条件下での30分間の作業は、いずれの着衣条件でも軽労働から中労働程度であった。
- (2) 作業中の鼓膜温変化度の経時変化から、標準的な着衣、保冷剤を用いた冷却服のいずれも作業開始時に比べ作業30分後では0.2度程度の上昇がみられるが、ファン付き作業服ではほとんど上昇がみられず、体温上昇を抑える傾向があることがわかった。
- (3) ファン付き作業服では、作業開始直後から衣服内温度を低下させ、約10分後から作業終了まで低下した衣服内温度が維持され、他の着衣条件よりも衣服内温度が低くなることがわかった。
- (4) 標準的な着衣、保冷剤を用いた冷却服では、作業開始直後から環境湿度を上回る85%程度の湿度となるが、ファン付き作業服では、着衣後も環境湿度と同程度の衣服内湿度が維持され、他の着衣条件よりも衣服内湿度が低くなることがわかった。
- (5) 「温冷感」の評価結果より、冷却服は主観的な温冷感を低下させることがわかった。保冷剤を用いた冷却服では、時間経過とともに暑さ感は増しているが、ファン付き作業服では暑さ感の増加は抑えられる傾向であった。
- (6) 「湿潤感」の評価結果より、作業10分後では冷却服は標準的な着衣に比べ湿潤感が低い

と評価され、20分後、30分後では、ファン付き作業服は他の着衣に比べ湿潤感が低いと評価されることがわかった。

- (7) 人工気候室で環境条件を詳細に制御することで、詳細なバイタルサインが得られ、衣服条件の違いが農作業の負担に及ぼす影響を評価する実験系が構築できた。

謝 辞

本研究に助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究を実施するにあたり、被験者としてご協力いただきました皆様に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 金井博幸, 他: 高機能インナーウェアと熱中症リスク管理システムの開発, 繊維製品消費科学, **58**, 8, pp.639-644 (2017)
- 2) 斎藤雄司, 他: 農業従事者におけるハウス栽培作業時の熱中症および水分補給の実態, 日生気誌, **54**, 1, pp.13-22 (2017)
- 3) 斎藤雄司, 他: 暑熱環境下ハウス栽培作業時における農業従事者の体温調節反応, 日生気誌, **53**, 2, pp.95-103 (2016)
- 4) 松岡敏生, 他: 暑熱環境下における太陽光利用型植物工場での作業負担について, 産業保健人間工学研究, **21**, 特別号, pp.36-39 (2019)
- 5) 小野寺 孝一, 宮下 充正: 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性: Rating of perceived exertionの観点から, 体育学研究, **21**, 4, pp.191-203 (1976)
- 6) 山本哲史: 運動処方 of 最近の考え方, 慶応義塾大学スポーツ医学研究センター紀要, pp.33-39 (1999)
- 7) E. A. MÜLLER: Occupational work capacity, *Ergonomics*, **5**, Issue 3, 445-452 (1962)