

# 夏季の屋外環境における正服着用時の身体的負担と 熱中症予防に関する検証

## (検証 I 恒温恒湿室での検証)

佐々木 航\*, 杉本 仁美\*, 赤野 史典\*, 玄海 嗣生\*

### 概要

東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会（以下「東京 2020 大会」という。）は、7 月から 9 月までの東京で開催される。大会期間中、消防職員等が沿道警戒や競技会場で巡ら警戒に当たるなど、夏季の過酷な暑熱環境下におかれることが想定される。

暑熱環境下において、正服を着用した状態でも熱中症の発症リスクは十分にあると思われるが、市販されている熱中症予防のために適切な下着やアイテムを選択すれば、暑熱ストレスを軽減させ、発症リスクを低減できると考える。そこで本検証では、夏季の暑熱環境下での正服着用時の身体的負担と熱中症予防効果が期待できる下着やアイテムを評価し、東京 2020 大会における消防職員等の警戒時の熱中症予防方策について提言することを目的とした。

検証の結果、速乾性のある下着や、冷却ベストと速乾性のある下着との併用により、暑熱ストレスを軽減する効果が期待できることが示唆された。

### 1 はじめに

東京 2020 大会は、7 月から 9 月までの東京で開催される。大会期間中、消防職員等が沿道警戒や競技会場で巡ら警戒に当たるなど、夏季の過酷な暑熱環境下におかれることが想定される。

暑熱環境下において、正服を着用した状態でも熱中症の発症リスクは十分にあると思われるが、市販されている熱中症予防のために適切な下着やアイテムを選択すれば、暑熱ストレスを軽減させ、発症リスクを低減できると考える。そこで本検証では、夏季の暑熱環境下での正服着用時の身体的負担と熱中症予防効果が期待できる下着やアイテムを評価し、東京 2020 大会における消防職員等の警戒時の熱中症予防方策について提言することを目的とした。

### 2 検証方法

#### (1) 概要

正服等を着用させた被験者に、数種類の下着等を着用させ、夏季屋外環境（暑熱環境）を再現した恒温恒湿室内で、歩行運動を実施させた。そして、生理学的な指標と主観的な指標を測定し、得られた値を比較し、各下着等の暑熱ストレスを比較評価した。

#### (2) 検証期間、場所

平成 29 年 8 月 9 日から同年 11 月 17 日

東京消防庁 消防技術安全所 2 階 運動学実験室

#### (3) 被験者

当庁職員である消防職員 12 名（すべて男性）とした。被験者の身体特性等は、表 1 のとおり。

表 1 被験者の身体特性等（平均±標準偏差）

身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)
172.8±5.4	65.6±7.5	36.0±6.1

#### (4) 検証の流れ

被験者には、下着等を変えて測定した。なお、検証を重ねることによる生理的順化の効果を相殺するために、被験者毎に実施する下着等の順序については、ランダム化比較試験法に沿って実施した。被験者には、検証前日に激しい運動や多量の飲酒は避けさせ、また検証当日の測定前に摂取する食事についても、生姜や唐辛子などの熱性食品及びトマトやスイカなどの寒性食品を避けさせた。一度検証を実施した後は、リカバリーを目的として、2 日間以上のウォッシュアウト（休息）期間を確保した。なお、検証を実施する時間帯は、体温の概日リズム

\* 活動安全課

ムを考慮し、被験者毎に全ての検証で同じ時間帯とし、また午後の被験者については、昼食後1時間程度の時間を確保した。

検証の再現性を確保する目的で、室温 25℃、湿度 60%に設定した前室に、測定開始時刻の 20 分前に被験者を入室させ身体を慣れさせた。その間に着替え、血圧・体温測定、測定器具の取付け及び裸体重の測定を実施させた後、椅子に座位で待機させ、測定開始の1分前に試験室のトレッドミル上に歩行で移動させた。なお、冷却ベストの着用を伴う検証の際は、ベストに挿入する冷却材の初期温度は、-19.5℃とし、冷却ベストは、試験室に入室する2分前に着用させた。

#### (5) 測定項目、測定機器及び測定方法

本検証では、衣服内温度、外耳道温、心拍数及び発汗量を以下、「生理学的指標」といい、VAS及びアンケートを以下、「主観的指標」という。

##### ア 衣服内温度

衣服内温度の測定には、温湿度ロガー ハイグロクロン (KN ラボラトリーズ社製) を用いた。温湿度ロガーを、前胸部で下着と体表部の間隙に留置し、自動的かつ経時的に 30 秒毎に測定した。

##### イ 外耳道温

外耳道温の測定には、高機能温度計 LT-2 と耳栓型温度センサー (共にグラム社製) を用いた。センサーのプローブを右耳孔内に挿入して、自動的かつ経時的に 1 秒毎に測定した。

##### ウ 心拍数

心拍数の測定には、心拍数計 RS800CX と H3 心拍センサー (共に Polar 社製) を用いた。心拍センサーを被験者の胸部に装着させ、自動的かつ経時的に 1 秒毎に測定した。

##### エ 発汗量

発汗量の測定には、体組成計 InnerScan DUAL (タニタ社製) を用いて、検証前後の着替え時に体表の汗を拭き取った状態の裸体重を測定し、検証前後の裸体重の差を発汗量として算出した。

##### オ VAS (Visual Analogue Scale)

暑さに関する主観的指標は、視覚的アナログ尺度 (以下「VAS」という。) を用いて測定した。測定者は被験者に対して、運動開始時も含め 5 分毎に VAS 調査用紙を手渡した。受け取った被験者に歩行運動を継続させながら、暑さに関する主観的評価を VAS 調査用紙に記入させた。VAS は、調査用紙に水平 100mm の直線が予め記されており、測定時に被験者が感じた暑さの程度を直線上に記入させた。左端から被験者が記入した印までの距離 (mm) を計測し、VAS の値とした。

##### カ アンケート

測定前後に、被験者にアンケート用紙を手渡し、被験者情報及び下着と冷却ベストについての清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望、感想 (自由記述) 等を記入さ

せ、測定後に回収した。

なお、冷却ベストを着用させた被験者のみ、冷却ベストについてのアンケートを記入させ、下着 A と組み合わせた冷却ベストの評価と、冷却ベストのみの評価の二項目を回答させた。

#### (6) 着用させた正服等

正服夏服長袖、正服夏服半袖、執務服Ⅱ種、消防団夏服、消防団活動服、ボランティアベスト (ポロシャツ、チノパンと着用)

#### (7) 着用させた下着等 (以下「下着群」という。)

表 2 のとおり。

#### (8) 運動負荷

恒温恒湿室内でトレッドミル 750T (サイベックス社製) 上を、時速 4 km の速さで 30 分間歩行させた。

#### (9) 環境

夏季屋外環境を再現するため、恒温恒湿室 (三菱重工冷熱社製) の試験室内を室温 32℃、湿度 60% に設定し、太陽近似光照射装置 (反射型メタルハライドランプ、CMR360・L/BU-N・D-TYW (GS ユアサライトニング社製)) にて、概ね被験者の頭部の位置が、真夏の太陽光と同じ 900W/m<sup>2</sup> の照射量となるように調整した。また、被験者周囲が無風となるように、トレッドミルの位置を調整した。

#### (10) 倫理的配慮

全ての被験者に対して検証の目的と方法を説明するとともに、検証への参加の同意を書面にて得た。なお、本検証は東京消防庁技術改良検証倫理審査専門部会の承認のもと、安全面に十分に配慮し実施した。

#### (11) 検定方法

##### ア 共通事項

統計ソフトは、IBM SPSS Statistics Version 21.0 を使用し、標本ごとに正規性の検定を行った。生理学的指標と VAS については、下着の素材の差異、冷却ベストの効果、冷却タオルの効果、正服の形態の差異 (長袖と半袖) を比較するために表 3 のとおり検定した。なお、正服の形態 (長袖と半袖) の差異の比較においては、下着 A を着用させた。アンケートについては、下着群を比較した。

有意性は危険率 5% 未満 ( $p < 0.05$ ) を有意差あり、危険率 10% 未満 ( $p < 0.1$ ) を傾向ありとした。結果はグラフ上に平均値 ± 標準偏差で示した。グラフとクロス集計表上の \* は、有意差あり ( $p < 0.05$ ) とした。

##### イ 生理学的指標

衣服内温度及び外耳道温は、各下着群、各被験者に、その都度、測定期間中 (30 分間) に得られた最高値を代表値として比較検定した。

心拍数については、各下着群、各被験者に、その都度、測定期間中に得られた値の平均値を代表値として比較検定した。

発汗量については、被験者間の差、及び同じ被験者で

も検証当日の体調や体重等が日によって異なるため、検証当日の身長と体重から体表面積を算出し、発汗量を体表面積で除した値を検定した。なお、体表面積の算出方法については、藏澄らの男性の算出式<sup>1)</sup>を用いた。

#### ウ 主観的指標

VASについては、各下着群、各被験者に、その都度、

測定期間中に得られた値の最高値を比較検定した。

アンケートの調査項目は、クロス集計、Kruskal-Wallis の順位検定及び二項検定を行い、クロス集計表とグラフで示した。感想はKH Coder2.00fを用いて計量テキスト分析を行い、共起ネットワーク図で示した。

表2 各下着群






群名	下着A群	下着B群	下着C群	冷却ベスト群	冷却タオル群
着用させた下着等	下着A	下着B	下着C	冷却ベスト、下着A ※冷却ベストは下着Aの上に着用	冷却タオル、下着A
写真					
材質	綿 100%	ポリエステル 89% ポリウレタン 11%	ポリエステル 100%	ポリエステル 95.6% ミューファン 4.4%	ポリエステル、アクリル ポリプロピレン、綿
摘要	一般用	一般用	登山用	ワイシャツの下に着用するもの 冷却箇所: 両側胸部、上背部	水に濡らして首に巻くもの

表3 検定方法

測定項目	検定目的	比較した下着群等	検定方法
生理的指標 VAS	1 下着の素材の差異	下着A群、下着B群、下着C群	一元配置分散分析 (対応あり)
	2 冷却ベストの効果	下着A群、冷却ベスト群	t 検定 (対応あり)
	3 冷却タオルの効果	下着A群、冷却タオル群	t 検定 (対応あり)
	4 正服の形態の差異 (長袖と半袖)	正服夏服長袖、正服夏服半袖 (ともに下着Aを着用)	t 検定 (対応あり)
アンケート		下着群	クロス集計、二項検定、順位検定

### 3 結果

#### (1) 衣服内温度

##### ア 下着の素材の差異 (図1)

下着の素材別に最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(35.9±0.5℃)と比べて、下着B群(35.1±0.9℃)及び下着C群(35.2±0.6℃)が有意(p<0.05)に低かった。

##### イ 冷却ベストの効果

下着A群と冷却ベスト群の最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(35.7±0.6℃)と比べて、冷却ベスト群(35.7±0.6℃)には、傾向及び有意差は認められなかった。

##### ウ 冷却タオルの効果

下着A群と冷却タオル群の最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(36.0±0.7℃)と比べて、冷却タオル群(35.3±0.7℃)には、傾向及び有意差は認められなかった。

##### エ 正服の形態(長袖と半袖)の差異

長袖と半袖の最高値を代表値として、平均し比較すると、長袖(35.5±0.6℃)と比べて、半袖(35.8±0.4℃)には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### (2) 外耳道温

##### ア 下着の素材の差異

下着の素材別に最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(37.0±0.1℃)、下着B群(37.1±0.2℃)、下着C群(37.1±0.2℃)の三群間には、傾向及び有意差は認められなかった。

##### イ 冷却ベストの効果

下着A群と冷却ベスト群の最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(37.0±0.2℃)と比べて、冷却ベスト群(37.0±0.2℃)には、傾向及び有意差は認められなかった。

##### ウ 冷却タオルの効果 (図2)

下着A群と冷却タオル群の最高値を代表値として、

平均し比較すると、下着A群(37.1±0.1℃)と比べて、冷却タオル群(36.9±0.2℃)が有意(p<0.05)に低かった。

#### エ 正服の形態(長袖と半袖)の差異

長袖と半袖の最高値を代表値として、平均し比較すると、長袖(37.1±0.2℃)と比べて、半袖(37.0±0.2℃)には、傾向及び有意差は認められなかった。

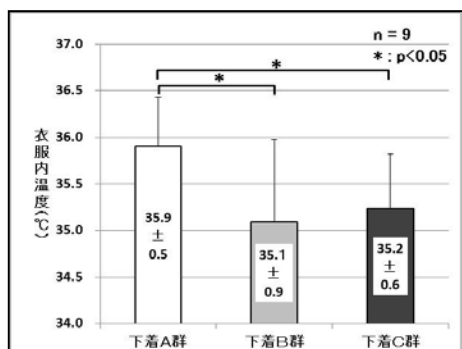


図1 衣服内温度(下着の素材の差異)

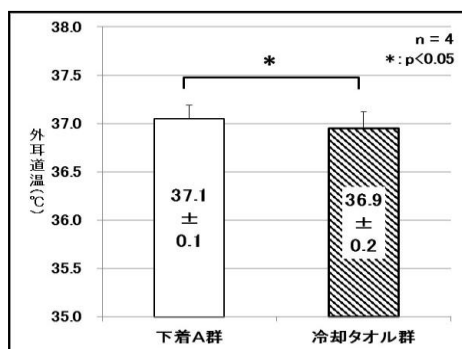


図2 外耳道温(冷却タオルの効果)

### (3) 心拍数

#### ア 下着の素材の差異

下着の素材別に、測定値(30分間)の平均値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(87.5±11.0回/分)、下着B群(88.0±9.8回/分)、下着C群(86.4±9.6回/分)の三群間には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### イ 冷却ベストの効果

下着A群と冷却ベスト群の測定値(30分間)の平均値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(83.8±8.7回/分)と比べて、冷却タオル群(83.1±9.7回/分)には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### ウ 冷却タオルの効果

下着A群と冷却タオル群の測定値(30分間)の平均値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(83.8±8.7回/分)と比べて、冷却タオル群(83.1±9.7回/分)には、傾向及び有意差は認められな

かった。

#### エ 正服の形態(長袖と半袖)の差異

長袖と半袖の測定値(30分間)の平均値を代表値として、平均し比較すると、長袖(88.0±11.7回/分)と比べて、半袖(90.4±12.7回/分)には、傾向及び有意差は認められなかった。

### (4) 体表面積あたりの発汗量

#### ア 下着の素材の差異

下着の素材別に発汗量を体表面積で除した値を、平均し比較すると、下着A群(0.20±0.05 kg/m<sup>2</sup>)、下着B群(0.22±0.06 kg/m<sup>2</sup>)、下着C群(0.19±0.06 kg/m<sup>2</sup>)の三群間には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### イ 冷却ベストの効果

下着A群と冷却ベスト群の発汗量を体表面積で除した値を、平均し比較すると、下着A群(0.21±0.06 kg/m<sup>2</sup>)と比べて、冷却ベスト群(0.20±0.06 kg/m<sup>2</sup>)には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### ウ 冷却タオルの効果

下着A群と冷却タオル群の発汗量を体表面積で除した値を、平均し比較すると、下着A群(0.21±0.08 kg/m<sup>2</sup>)と比べて、冷却タオル群(0.21±0.06 kg/m<sup>2</sup>)には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### エ 正服の形態(長袖と半袖)の差異

長袖と半袖の発汗量を体表面積で除した値を、平均し比較すると、長袖(0.20±0.08 kg/m<sup>2</sup>)と比べて、半袖(0.19±0.06 kg/m<sup>2</sup>)には、傾向及び有意差は認められなかった。

### (5) V A S

#### ア 下着の素材の差異(図3)

下着の素材別に最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(55.8±13.7)と比べて、下着C群(49.7±10.8)が有意(p<0.05)に低かった。下着B群(50.1±11.6)と下着C群の間に傾向及び有意差は認められなかった。

#### イ 冷却ベストの効果(図4)

下着A群と冷却ベスト群の最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(51.9±13.4)と比べて、冷却ベスト群(42.7±11.6)が有意(p<0.05)に低かった。

#### ウ 冷却タオルの効果

下着A群と冷却タオル群の最高値を代表値として、平均し比較すると、下着A群(59.5±10.4)と比べて、冷却タオル群(55.0±6.5)には、傾向及び有意差は認められなかった。

#### エ 正服の形態(長袖と半袖)の差異

長袖と半袖の最高値を代表値として、平均し比較すると、長袖(48.8±17.8)と比べて、半袖(52.8±16.4)には、傾向及び有意差は認められなかった。

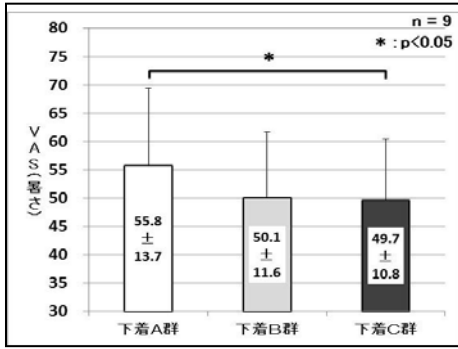


図3 VAS (下着の素材の差異)

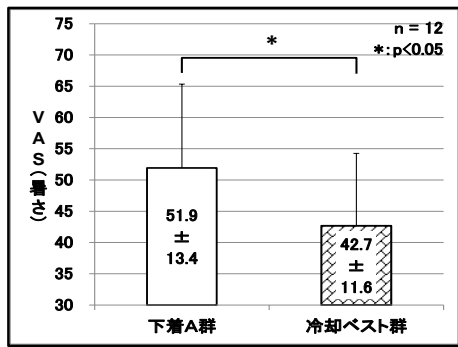


図4 VAS (冷却ベストの効果)

(6) アンケート

ア 各調査項目について

(ア) 清涼感 (表4)

下着群毎に最も多かった回答をみると、下着A群は「全くない」が48%、下着B群は「どちらでもない」が56%、下着C群は「どちらでもない」、「やや有る」がそれぞれ35% (計70%)、冷却ベスト群は「全くない」、「ややない」がそれぞれ27% (計54%)、冷却タオル群は「ややない」が50%となった。順位検定の結果 (値が高い程、良く当てはまる) をみると、清涼感は、下着群間で有意差 (p<0.05) が認められ、下着C群が最も清涼感があり、下着A群が最も清涼感がなかった。

表4 清涼感のクロス集計表、順位検定結果

	清涼感					順位検定*
	全くない	ややない	どちらでもない	やや有る	非常に有る	
下着A群	48%	29%	24%	0%	0%	20 (n=21)
下着B群	0%	11%	56%	33%	0%	40 (n=9)
下着C群	6%	6%	35%	35%	18%	48 (n=17)
冷却ベスト群	27%	27%	20%	20%	7%	32 (n=15)
冷却タオル群	25%	50%	25%	0%	0%	24 (n=4)

\*: p<0.05

(イ) 速乾性 (表5)

下着群毎に最も多かった回答をみると、下着A群は「全くない」が67%、下着B群は「どちらでもない」が56%、下着C群は「非常に有る」が41%、

冷却ベスト群は「全くない」が53%、冷却タオル群は「全くない」が75%となった。順位検定の結果をみると、速乾性は、下着群間で有意差 (p<0.05) が認められ、下着C群が最も速乾性があり、冷却タオル群が最も速乾性がなかった。

表5 速乾性のクロス集計表、順位検定結果

		速乾性					順位検定*
		全くない	ややない	どちらでもない	やや有る	非常に有る	
下着群	下着A群	67%	24%	10%	0%	0%	20 (n=21)
	下着B群	0%	11%	56%	33%	0%	46 (n=9)
	下着C群	0%	0%	24%	35%	41%	55 (n=17)
	冷却ベスト群	53%	20%	27%	0%	0%	25 (n=15)
	冷却タオル群	75%	25%	0%	0%	0%	17 (n=4)

\*: p<0.05

(ウ) 使用感 (表6)

下着群毎に最も多かった回答をみると、下着A群は「やや悪い」が38%、下着B群は「どちらでもない」が67%、下着C群は「やや良い」が53%、冷却ベスト群は「どちらでもない」が47%、冷却タオル群は「とても悪い」「やや悪い」がそれぞれ50% (計100%) となった。順位検定の結果をみると、使用感は、下着群間で有意差 (p<0.05) が認められ、下着C群が最も使用感が良く、冷却タオル群が最も使用感が悪かった。

表6 使用感のクロス集計表、順位検定結果

		使用感					順位検定*
		とても悪い	やや悪い	どちらでもない	やや良い	とても良い	
下着群	下着A群	33%	38%	29%	0%	0%	20 (n=21)
	下着B群	0%	11%	67%	22%	0%	40 (n=9)
	下着C群	0%	0%	29%	53%	18%	52 (n=17)
	冷却ベスト群	20%	20%	47%	7%	7%	31 (n=15)
	冷却タオル群	50%	50%	0%	0%	0%	13 (n=4)

\*: p<0.05

(エ) 今後の使用希望 (表7)

下着群毎に最も多かった回答をみると、下着A群は「あまり使用したくない」が52%、下着B群は「まあまあ使用したい」が44%、下着C群は「まあまあ使用したい」が53%、冷却ベスト群は「あまり使用したくない」が33%、冷却タオル群は「あまり使用したくない」が75%となった。順位検定の結果をみると、今後の使用希望は、下着群間で有意差 (p<0.05) が認められ、下着C群が最も使用希望が多く、下着A群と冷却タオル群が最も使用希望が少なかった。

表7 今後の使用希望のクロス集計表、順位検定結果

		今後の使用希望					順位検定*
		全く使用したくない	あまり使用したくない	どちらでもない	まあまあ使用したい	非常に使用したい	
下着群	下着A群	38%	52%	5%	5%	0%	19 (n=21)
	下着B群	0%	22%	33%	44%	0%	43 (n=9)
	下着C群	0%	6%	18%	53%	24%	52 (n=17)
	冷却ベスト群	20%	33%	27%	20%	0%	31 (n=15)
	冷却タオル群	25%	75%	0%	0%	0%	19 (n=4)

\*: p<0.05

## イ 冷却ベストについて

冷却ベストを着用させた被験者に記入させた、冷却ベストのみについてのアンケート結果は図5までのとおり。

### (ア) 冷却感の継続

「ずっと続いた」と回答した者が12人、「途中で無くなった」と回答した者は3人であり、回答数の違いには、有意差( $p < 0.05$ )が認められた。

### (イ) 清涼感 (図5左上)

多かった回答をみると、「やや有る」が53%、「非常に有る」が40%であり、「全くない」「ややない」がそれぞれ0%であった。

### (ウ) 使用感 (図5右上)

多かった回答をみると、「やや良い」、「とても良い」がそれぞれ40%(計80%)であった。

### (エ) 今後の使用希望 (図5下)

多かった回答をみると、「非常に使用したい」が53%であった。

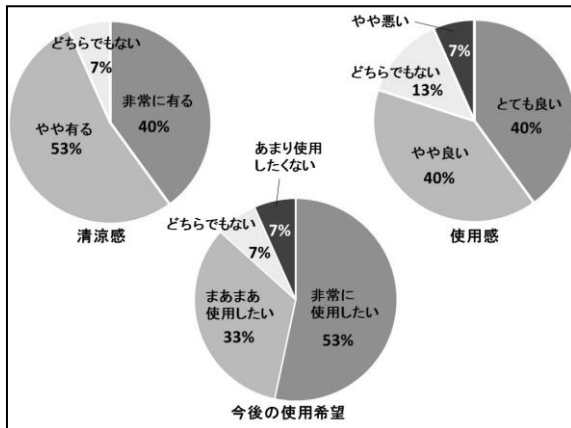


図5 冷却ベストの清涼感、使用感、今後の使用希望

## ウ 感想 (自由記述)

各下着群に、キーワードを抽出した。多く出現した単語ほど大きな円で描写され、語の繋がりを線で表し、線の太さは繋がりの強さを表している。なお、特徴的なキーワードを認識しやすくするため、共起ネットワーク図上に円を追記した。

### (ア) 下着A群 (図6)

「汗」というキーワードが「べたつく」「吸う」とともに出現し、「速乾性」というキーワードが「ない」とともに出現していた。また、「不快」というキーワードが「肌」とキーワードとともに出現していた。

### (イ) 下着B群 (図7)

「着心地」というキーワードが「サラサラ」「良い」とともに出現していた。「べたつく」というキーワードが「感じる」「ない」とともに出現していた。また、「普段」というキーワードが「着る」「下

着」「使う」とともに出現していた。

### (ウ) 下着C群 (図8)

「速乾性」というキーワードが「ある」とともに出現していた。また、「べたつく」「不快感」というキーワードが「ない」とともに出現していた。

### (エ) 冷却ベスト群 (図9)

「冷却感」というキーワードが「高い」「良い」とともに出現し、「清涼感」というキーワードが「ある」とともに出現していた。また、「涼しい」というキーワードが「かなり」とともに出現していた。

### (オ) 冷却タオル群 (図10)

「不快」というキーワードが「なる」とともに出現し、「不快感」というキーワードが「残る」とともに出現していた。また、「マフラー」というキーワードが「暑い」「濡れ」とともに出現していた。

## 4 考察

### (1) 衣服内温度

検証の結果、下着A群と比べて、下着B群と下着C群の値が有意に低かった(平均0.7~0.8℃)ことから、下着の素材の差異は、衣服内の温度を低く保つのに効果があることが明らかとなった。この理由は、下着素材の速乾性の違いによるものと考えられる。

衣服内温度を決定する要因に衣服の素材の速乾性がある。速乾性は衣服内温度に大きく影響することが知られている<sup>2,3,4)</sup>。汗は蒸発する際の気化熱で体温を下げる役割をしているため、より速乾性のある素材の方が衣服内温度を低く保つのに有効であると考えられる。

今回検証に用いた下着Bと下着Cは、速乾性の高さが特徴の下着であり、アンケートの結果からも、下着Bと下着Cは下着Aより「速乾性がある」との評価を得られている。そして、下着A群と比べて、下着B群と下着C群の衣服内温度が有意に低かったことは、速乾性の高さは衣服内温度を低く保つのに有効であるとの考えに矛盾しない結果となった。また、本検証における衣服内温度は、体表に最も近い空気層にあたる、下着と皮膚の間隙の温度である。この部位は、運動により生じた熱(体温)を皮膚から衣服外へ放散するにあたり、体表と外界との間に介在することから、この部位の温度を低く保つことは体温上昇抑制にとって有効であると考え、身体的負担を軽減することに繋がると考える。

一方で、冷却ベストの効果、冷却タオルの効果、正服の形態(長袖、半袖)の差異に関して、それぞれ衣服内温度について傾向及び有意差は認められなかった。その理由として、これらに共通して下着Aを着用していた点が考えられる。一般的には、衣服

内温度を決定する要因に、衣服の形状も挙げられる。

衣服に複数の開口部があると、吸気と排気の関係により気流が生じ、衣服内の滞留した体熱は気流によって衣服外へ排出され、衣服内温度が下がることが知られている<sup>2,4)</sup>。本検証では、下着Aや冷却ベ

スト、そして着用させた正服のそれぞれが身体に密着するような比較的タイトな形状をしており、大きな空気層が形成されず、衣服内から衣服外へ熱を排出するような気流が生じず、衣服内温度の低下に繋がらなかったものと推測する。

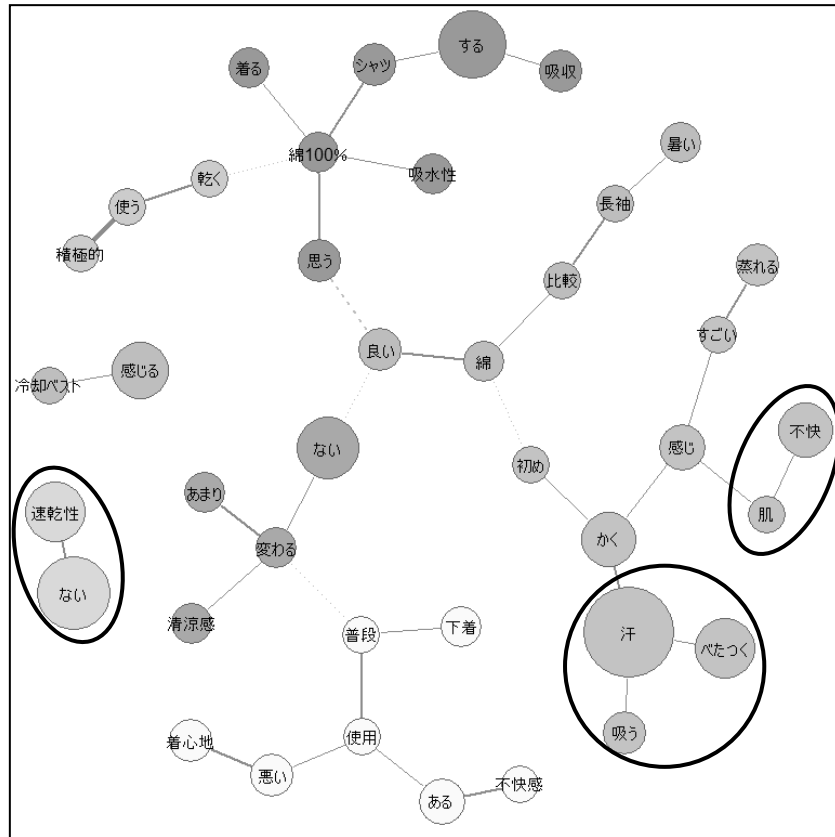


図 10 下着 A 群に対する感想の共起ネットワーク図

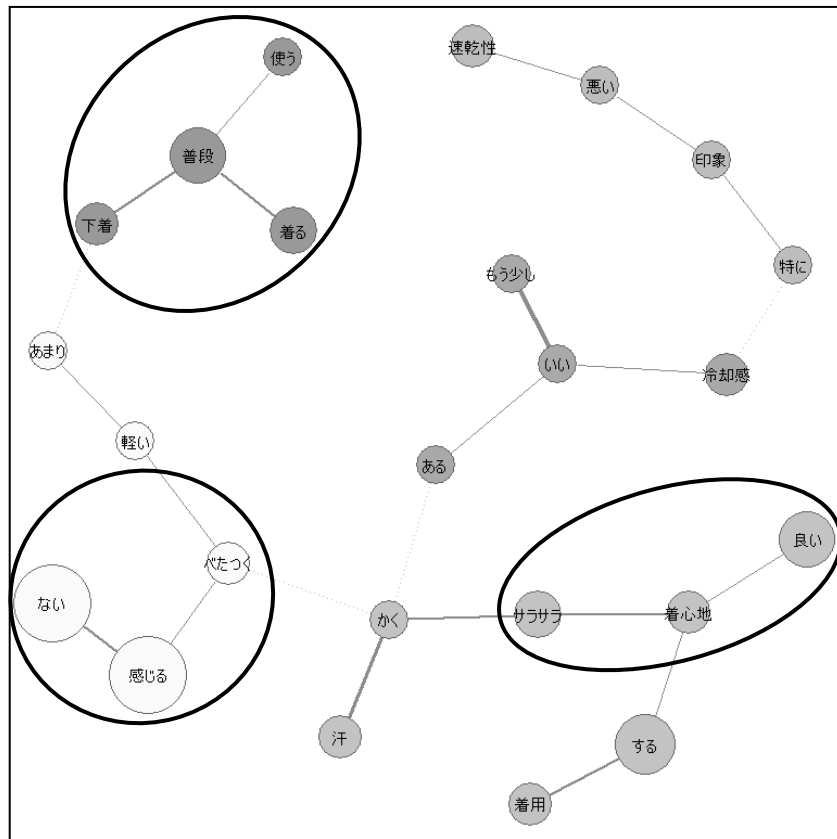


図 11 下着B群に対する感想の共起ネットワーク

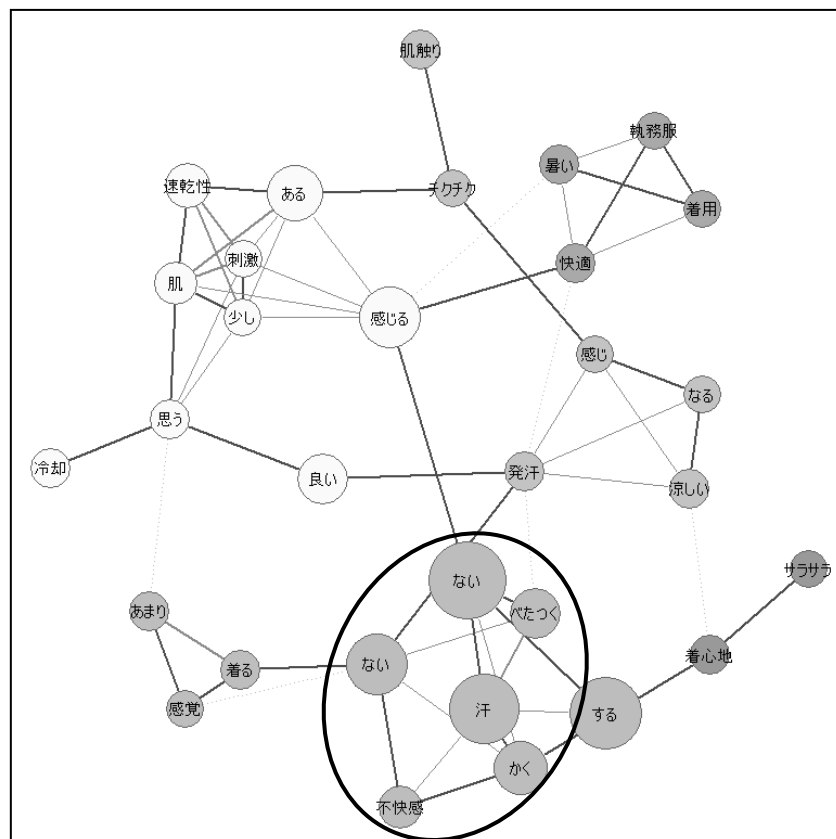


図 12 下着C群に対する感想の共起ネットワーク



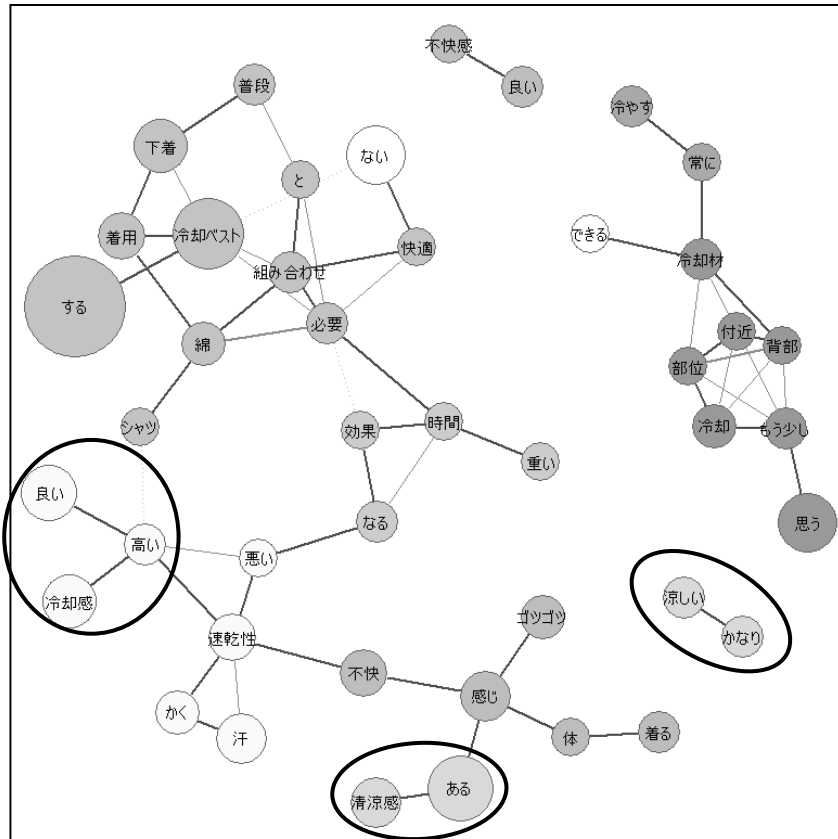


図 13 冷却ベスト群に対する感想の共起ネットワーク

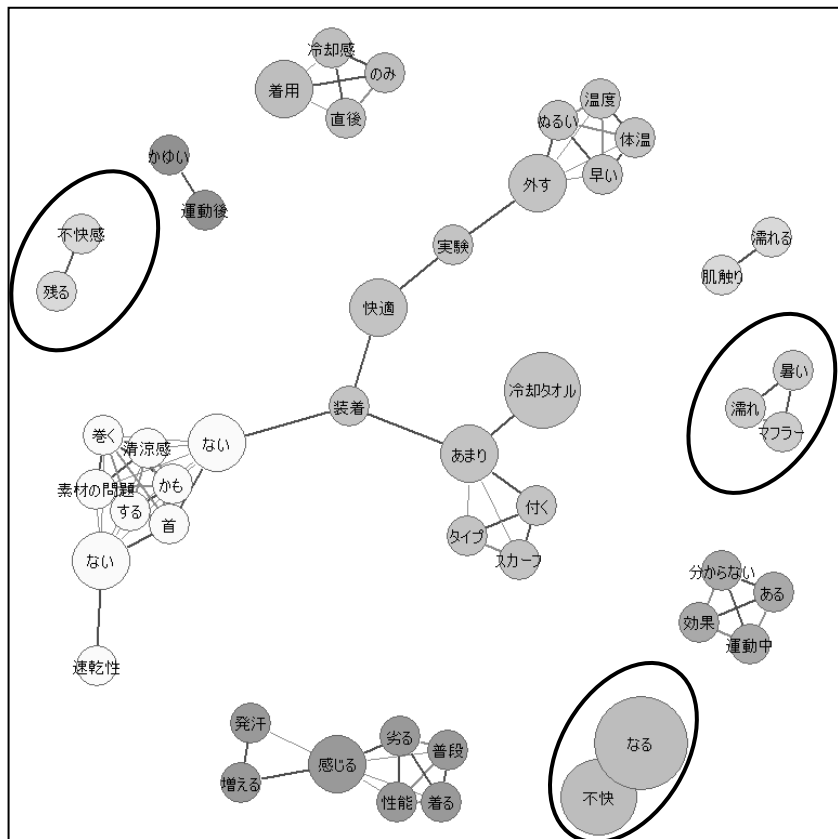


図 14 冷却タオル群に対する感想の共起ネットワーク

## (2) 外耳道温

検証の結果、下着A群と比べて、冷却タオル群の外耳道温が有意に低かった(平均 0.2℃)ことから、冷却タオルの着用は体温上昇の抑制に効果が認められた。この理由は、日射の遮蔽効果のためと考える。

本検証にあたり、冷却タオルを着用することによる冷却効果には、冷却タオルを水で含ませて使用することから、水が蒸発する際の気化熱によるものと、頸部をタオルで覆うことによる日射の遮蔽効果によるものが考えられた。一般に、体表に近い場所に太い血管が走っている身体の部位を冷やすと、深部体温の上昇抑制に有効であるといわれており、頸部もその部位の1つである。頸部の皮膚温の変動は、深部体温の変動に関連があると考えられる。本検証では、深部体温として、被験者の快適性や安全性を考慮して、鼓膜温に近似する外耳道温を採用した。

本検証と同様に、頸部を冷却しながら暑熱環境下で低負荷の運動を行った先行研究<sup>5)</sup>によると、頸部を冷却した群と冷却しなかった群を比較するも、耳内温度に有意差が生じなかったことが報告されている。しかしながら、この先行研究は太陽近似光を使用していないものであった。その結果を本検証と比較すると、本検証で冷却タオル着用時に外耳道温が有意に低かったのは、冷却タオルにより頸部に照射する太陽近似光を遮った結果、頸部の皮膚温の上昇を抑制し、深部体温の上昇が抑制されたものと推測する。なお、先行研究<sup>6)</sup>によると、運動中の深部体温の上昇は皮膚温の上昇と関連があると報告されているものがある。

一方で、下着の素材の差異、冷却ベストの効果、正服の形態(長袖、半袖)の差異に関して、それぞれ外耳道温について傾向及び有意差は認められなかった。その理由として、これらの暑熱ストレス軽減対策の外耳道温に対して与える効果が限定的であったものと考えられる。

本検証では、下着の素材の差異により、先述のとおり衣服内温度を低く保つことが確認できたものの、平均 0.7~0.8℃程度であり、外耳道温に有意差を生じなかったことを考えると、衣服内温度が皮膚温に与える影響は小さいことが示唆される。

冷却ベストの効果に関しては、冷却材が下着を介して接触する皮膚を直接的に冷却し、熱を奪うことから、深部体温上昇抑制に効果があるものと期待した。しかし、本検証で用いた冷却ベストの冷却材が冷却出来る皮膚面積は一般男性の体表面積の約3%程度に過ぎず、深部体温にまで影響を及ぼすのは困難であるものと推測する。

正服の形態(長袖、半袖)の差異に関しても、先述のとおり衣服内温度に影響を及ぼさないことが確認できており、外耳道温に関してもその結果と矛盾

しないものであった。

## (3) 心拍数

本検証では、下着の素材の差異、冷却ベストの効果、冷却タオルの効果、正服の形態の差異の全てに関して、傾向及び有意差は認められなかった。その理由として、これらの暑熱ストレス軽減対策の心拍数に対して与える効果が限定的であったものと考えられる。

心拍数を増加させる要因として、環境温度の上昇や運動の産生熱による深部体温の上昇があり、深部体温と心拍数には相関があることが知られている<sup>7)</sup>。

先行研究<sup>8)</sup>によると、皮膚温の上昇が皮膚血流量の上昇をもたらし、重要臓器への血流量低下を補うために心拍数を増加させること、また、皮膚温の上昇は深部体温を上昇させ、結果として心拍数を増加させることが分かっている。さらに、背部を電動ファンにより冷却しながら歩行運動を行わせた先行研究<sup>9)</sup>では、そのような反応はより高い運動強度の際に表れると推測している。つまり、暑熱環境下における運動時において、皮膚温上昇による皮膚血流量増加と、皮膚温上昇による深部体温の上昇の二系統で、心拍数を増加させる。また、そのような生理的反応は、ある程度の運動強度が必要であると考えられる。

下着の素材の差異と冷却ベストの着用の有無、正服の形態の差異に関しては、深部体温である外耳道温に有意差がなかったため、心拍数に有意差が認められなかったのは矛盾しない。しかし、冷却ベストについては、冷却により皮膚血流量を抑制し、心拍数増加を抑制する効果が期待されたが、心拍数に有意差が認められなかったのは、本検証で負荷した運動強度が比較的強く、先述した生理的反応が起こらなかったためだと考える。

冷却タオルの着用の有無に関しては、外耳道温で有意差が認められたが、心拍数では有意差が認められなかった。先述した先行研究<sup>5)</sup>によると、頸部を冷却した群と冷却しなかった群と比較するも、心拍数に有意差が生じなかったことが報告されている。心拍数と深部体温の相関を考えると、先行研究結果と本検証結果は矛盾するが、冷却タオル群の外耳道温の差(平均 0.2℃)であり、この程度の温度差では心拍数に影響を与えないことが示唆される。

## (4) 発汗量(体表面積あたり)

本検証では、下着の素材の差異、冷却ベストの効果、冷却タオルの効果、正服の形態の差異の全てに関して、傾向及び有意差は認められなかった。つまり、下着の素材や長袖と半袖のように衣服の袖の長さが変わっても、発汗量に変化はないということが明らかになった。その理由として、これらの暑熱ストレス軽減対策の発汗量に対して与える効果が限定

的であったものとする。

一般に、環境温度の上昇や運動の産生熱により、深部体温が上昇すると、過度な体温上昇を抑えるために、汗をかくことが知られている。先行研究<sup>6)</sup>によると、深部体温が上昇すると発汗量が増加することが報告されている。深部体温の上昇は、皮膚温の上昇が影響していることから、発汗量の増加は皮膚温の上昇にも起因することが推測できる。

下着の素材の差異と冷却ベストの効果、正服の形態の差異に関しては、外耳道温に有意差がなかったため、発汗量に有意差が認められなかったのは、深部体温と発汗量の関連性と矛盾しない。しかし、冷却タオルの効果については、外耳道温に有意差が認められたが、発汗量に有意差が認められなかった。その理由として、今回の冷却タオルの着用の有無による外耳道温の差は平均0.2℃であり、その深部体温の差は発汗量に影響を及ぼすほどのものでないと推測する。

#### (5) VAS

本検証では、下着の素材の差異と冷却ベストの効果に関して、有意差が認められた。下着の素材に差異については、下着A群と比べて、下着C群のVAS値が有意に低く（平均6.1）、冷却ベストの効果については、冷却ベストを着用させると、VAS値が有意に低下した（平均9.2）。つまり、被験者が感じる暑さを抑えるには、下着の素材を変えること、冷却ベストを着用させることが有用であることが明らかになった。

下着の素材に関して、有意差が認められた理由は、下着の素材の速乾性の違いによるものだと考える。先行研究<sup>6)</sup>によると、汗の蒸発による熱放散効率が高いことは、主観的に涼しく感じさせると推測している。下着Cは下着Aより速乾性があるため、汗の気化熱による熱放散効率が高く、感じる暑さを抑えることができ、VAS値を有意に低下させたと考えられる。

先行研究<sup>9)</sup>において、被験者が感じる暑さを低減させることで注意力や集中力の低下が抑えられ、作業効率が上がると考えられている。つまり、VAS値を低く保つことで、警戒活動における心理的負担を軽減できると考える。

冷却ベストに関して、暑熱環境下において冷却ベストは体表を直接冷やすことにより、被験者が感じる暑さを軽減させ、VAS値を低下させることを期待していたが、今回の検証結果もそのとおりとなった。また、先行研究<sup>10)</sup>によると、皮膚血流量の増加と運動中の温冷感が暑い方向へ移動する（暑く感じる）ことは、密接な相関関係があると考えられている。つまり、冷却ベストは体表を直接冷やすことにより、皮膚温低下による皮膚血流量の減少を引き

起こし、被験者が感じる暑さを低減させたと考ええる。

一方、冷却タオルの着用の有無と正服の形態（長袖と半袖）の差異に関しては、VAS値に対して、傾向及び有意差は認められなかった。つまり、暑熱環境下において、冷却タオルを着用しても、長袖と半袖のように衣服の袖の長さが変わっても、感じる暑さに影響を及ぼさないということが明らかになった。

冷却タオルは、頸部にあたる日射を遮蔽し、深部体温の上昇を抑制する効果が期待できることは先述したとおりである、VASの値は、深部体温だけでなく、下着の肌触り等の着心地なども影響していると考えられる。

正服の形態の差異に関して、長袖より半袖の方が涼しく感じると想定していたが、半袖は前腕の露出した皮膚に太陽近似光が当たり、被験者が暑く感じたため、長袖との違いを感じられなかったためと考えられる。

#### (6) アンケート

##### ア 下着A群

下着A群の清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望のすべてにおいて否定的な回答が多くなった。また、自由記述においても、「吸水性が高い」、「速乾性がない」、「不快である」という意見が多かった。

下着A群のアンケート結果について、否定的な回答、意見が多くなった理由として、汗をかいた時に、下着Aは吸水性の高さと速乾性の低さが作用し、下着に多量の汗を含んだ状態が長く続くため不快に感じたと推測する。つまり、下着Aは、夏季の発汗を伴う運動時において、適していないということがいえる。

##### イ 下着B群

下着B群の清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望のすべてにおいて中立的な回答が多くなった。また、感想（自由記述）から抽出されたキーワードを繋げると、「べたつかない」、「普段着ている」、「サラサラと着心地が良い」という意見が伺えた。

下着B群のアンケート結果について、中立的な回答、意見が多くなった理由として、本検証の被験者のほとんどが、普段から化学繊維の下着を着用しており、下着Bとの大きな差を感じなかったためだと推測する。下着B群の感想（自由記述）からも、「普段着ている」という意見が伺え、下着Bと被験者が普段使用している下着が類似しているため、清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望のすべてにおいて、中立的な意見が多くなったと考える。

##### ウ 下着C群

下着C群の清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望において肯定的な回答が多くなった。また、感想（自由記述）から抽出されたキーワードを繋げる

と、「速乾性がある」、「べたつかない、不快でない」という意見が伺えた。

下着C群のアンケート結果について、肯定的な回答、意見が多くなった理由として、下着の素材が持つ速乾性が考えられる。下着Cは速乾性を持ち、また登山用として開発されたものであり、素材自体に撥水性があるため、汗をまったく吸収しない。そのため、アンケートにおいて、非常に好意的な結果となったと考えられる。つまり、夏季の発汗を伴う運動において、下着Cは適しているといえる。

#### エ 冷却ベスト群

下着Aと組み合わせた冷却ベストのアンケート結果は、清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望において否定的な回答が多くなった。

冷却ベストのみのアンケート結果は、清涼感、使用感、今後の使用希望において、肯定的な回答が非常に多くなった。

また、冷却ベスト群の感想（自由記述）から抽出されたキーワードを繋げると、「冷却感が高い、良い」、「清涼感ある」、「かなり涼しい」という意見が伺えた。

今回の検証において、下着Aと組み合わせた冷却ベストのアンケート結果と冷却ベスト単独のアンケート結果は、対照的であった。この結果は、冷却ベストは下着Aとともに着用させるのは好ましくないということを示唆している。下着A群のアンケート結果は、先述したとおり否定的であり、その理由として下着Aの吸水性の高さと速乾性の低さが原因であると推測した。冷却ベストと下着Aを組み合わせると、冷却ベストが持つ清涼感を、下着Aが相殺し、結果としてマイナスの結果となってしまう。

よって、冷却ベストと組み合わせる下着については、冷却ベストの清涼感を相殺しない速乾性のあるものが良いと考える。

#### オ 冷却タオル群

冷却タオル群の清涼感、速乾性、使用感、今後の使用希望、全てにおいて、否定的な回答が多くなった。また、感想（自由記述）から抽出したキーワードを繋げると「不快になる」、「マフラー」、「暑い」という意見があり、検証前に期待していた冷却効果とは対照的な結果となった。

本検証で用いた冷却タオルは、水で濡らして気化熱で冷却効果を期待するものである。しかし、検証中の歩行運動による産生熱及び太陽近似光により、冷却タオルが温められ、水で濡れた温かいマフラーのようになってしまったことが感想（自由記述）から推測でき、このような結果になったと考える。

## 5 おわりに

### (1) まとめ

#### ア 下着の素材の差異について

下着C群は、下着A群と比較して、衣服内温度、VAS、アンケートにおいて良い評価となった。また、下着B群は、下着A群と比較して、衣服内温度、アンケートにおいて、良い評価となった。さらに、下着C群は、下着B群と比較して、アンケートにおいて良い評価となった。

これらは、速乾性の違いによるものと考えられ、より速乾性のある下着Cの方が、汗の気化熱による熱放散効率が高く、暑熱ストレスを軽減できると考える。

#### イ 冷却ベストの効果について

冷却ベスト群は、着用していない時（下着A群）と比較すると、VAS、アンケートにおいて良い評価となった。また、アンケートから、併用する下着に関しては、より速乾性のある下着が望ましいという結果が得られた。

#### ウ 冷却タオルの効果について

冷却タオル群は、着用しない時（下着A群）と比較すると、外耳道温において良い評価となった。これは、日射の遮蔽効果により、深部体温の上昇を抑制したためと推測される。しかし、アンケートにおいては、使用に関して否定的な意見が多かった。

#### エ 正服の形態の差異（長袖と半袖）について

長袖と半袖を比較するも、生理学的指標、主観的指標において有意差は認められなかった。

#### (2) 提言

#### ア 下着と冷却ベストの組み合わせ、冷却タオルについて

速乾性のある下着Cは、綿製の下着Aと比較して、生理学的指標、主観的指標ともに良い評価となった。また、冷却ベストは、主観的指標で良い評価となった。すなわち、夏季屋外環境で警戒する際は、速乾性のある下着と冷却ベストを併用すれば、暑熱ストレスによる身体的負担及び心理的負担を軽減する効果が期待できる。

冷却タオルは、日射の遮蔽効果により生理学的指標において良い評価となった。つまり、頸部への日射を遮蔽できる服装は、身体的負担を軽減できる効果が期待できると考える。しかし、実際に着用する場合には服装の外観を崩すことに繋がる可能性があり、日射の遮蔽効果を期待するのであれば、頸部を日射から遮蔽するような簾状の覆い等が好ましく、冷却タオルである必要はない。

#### イ 長袖と半袖の違いについて

長袖と半袖を比較するも、身体的負担及び心理的負担は変わらないが、もし日射下において長袖を着用するのであれば、日射の遮蔽効果が期待でき、ゆったりとしたものを着用するのが望ましい<sup>11)</sup>。

## 6 謝辞

本検証を実施するにあたり、救急救命東京研修所の田邊晴山教授から貴重な助言を頂きました。また、本検証の被験者として、校務課、装備工場、消防技術課、装備安全課、危険物検証課の皆様にご協力頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

### [参考文献]

- 1) 藏澄美仁、土川忠浩、角谷孝一郎、鳥居孝之、松原斎樹、堀越哲美:人体の体表面積算出式の適合性の評価、日生氣誌、Vol. 39、No. 4、pp. 101-106、2003-02. 01
- 2) 成瀬正春:衣服気候 からだと温度の事典(彼末一之監修)第1版 pp. 212-214、朝倉書店、2011
- 3) 薩本弥生:スポーツウェアと体温 からだと温度の事典(彼末一之監修)第2版 pp. 263-265、朝倉書店、2011
- 4) 田村照子:防暑服 からだと温度の事典(彼末一之監修)第1版 pp. 431-433、朝倉書店、2011
- 5) 石飛元基、山本正嘉:暑熱環境下での低負荷の持久運動時における飲水、頸部冷却、大腿部冷却が体温上昇の抑制に及ぼす効果、スポーツトレーニング科学 11、pp. 7-14、2010-3. 31
- 6) 新矢博美、芳田哲也、常岡秀行、中井誠一、伊・孝:スポーツユニフォームの違いが高温環境下運動時の体温調節反応に及ぼす影響、体力科学 53 卷、pp. 347-356、2004
- 7) 山地揭示:心拍数のゆらぎ現象 ころとからだを知る心拍数第1版、pp. 223-243、2013
- 8) 新矢博美、芳田哲也、常岡秀行、中井誠一、伊・孝:着衣条件の違いによる皮膚温変化が運動時の体温反応と温熱ストレスに与える影響、体力科学、54 卷、pp. 259-268、2005
- 9) 時澤健:熱中症対策の新技術－実用志向と未来志向－、労働安全衛生研究、Vol. 10、No. 1、pp. 63-69、2017
- 10) 檜村修生、森田恭光、芳田哲也、伊藤孝:運動時の温熱生理的反応に着衣条件が及ぼす影響、日本体育大学紀要 12 号、pp. 67-75、1983
- 11) 田村照子:服装の進化と熱中症予防、熱中症(三宅康史企画)、第2版 pp. 139-140、へるす出版、2017

# Study on the Physical Stresses While Wearing the Uniform in Outdoor Environments during Summer and Heatstroke Prevention

—Study I: Study Using the Environmental Control Chamber—

Wataru SASAKI\*, Hitomi SUGIMOTO\*, Fuminori AKANO\*, Tsuguo GENKAI\*

## Abstract

The Olympic and Paralympic Games Tokyo 2020 will be held in Tokyo from July to September. During the Games, fire service personnel are expected to be stationed in the harsh hot summer environment, such as acting as roadside guards and watching over the competition venues.

While there may be the sufficient risk of heatstroke occurring even while wearing uniforms in a hot environment, if the commercially available underwear or items suitable for preventing heatstroke are chosen, heat stress and the risk of heatstroke onset can be reduced. In this study, in order to propose the measures to prevent heatstroke from occurring to the fire service personnel on watch at the Tokyo 2020 Games, we looked into the physical stress of the personnel in uniform in a hot summer environment as well as the underwear and items that can be expected to prevent heatstroke.

The study results suggested that the use of fast-drying underwear or the combined use of cooling vests and fast-drying underwear can be expected to reduce heat stress.

---

\*Operational Safety Section