

初任学生の熱中症予防方策に関する検証 (環境測定)

佐々木 航*, 赤野 史典**, 清水 鉄也**

概要

消防学校初任学生の訓練環境における熱中症リスクを把握するため、訓練環境の環境測定を実施し、熱中症予防方策に活かすことを目的とした。消防学校グラウンドの日向、打ち水箇所、日陰及び屋内訓練場の WBGT を測定するとともに、地表面温度を測定した。

本検証の結果、グラウンド日向の WBGT が 31℃以上（運動原則中止）になる場合があり、テント等で日陰を作成すると、地表面温度の上昇は抑制されるが、WBGT は日向と同様に過酷な暑熱環境であり、休憩には適さないことが確認できた。夏季の日向の地表面温度は約 70℃に達し、打ち水を実施すると地表面温度が 30℃程度低下し、地面からの輻射熱の軽減に効果的であった。一方、空調による温度管理がなされた屋内訓練場は、休憩場所として適切であった。

1 目的

東京消防庁の消防学校では、初任基礎教育課程における学生（初任学生）の熱中症予防のため、積極的な暑熱トレーニングの実施、訓練中の水分摂取、計画的な休憩の確保等の様々な対策を講じてきたが、学生が訓練中に熱中症を発症することがあった。そこで、学生自身の熱中症に対する主体的な取り組みが必要であると考え、学生の熱中症に対する知識、関心の向上を図るための「熱中症予防教育プログラム（仮称）」を構築し、その効果について検証した。

プログラムを構築するにあたり、初任学生の熱中症リスクを把握するために、訓練環境に関わる熱中症リスクについて評価した。本検証では、初任学生が普段訓練を行う場所等の WBGT（暑さ指数¹⁾）や地表面温度を測定し、課題を抽出することで、熱中症予防方策に活かすことを目的とした。

2 方法

(1) WBGT

熱中症指標計（WBGT 計 203A、京都電子産業製、写真 1）を用いて、消防学校グラウンドの日向、打ち水箇所、日陰及び屋内訓練場の WBGT を測定した。測定日を、表 1 に示す。測定日は、最高気温が概ね 35℃、30℃、25℃、20℃、15℃及び 10℃の日とし、測定時間帯は午前（9時から 11 時までの任意の時間）、正午（11 時から 13 時までの任意の時間）、午後（13 時から 16 時までの任意

の時間）及び夕方（16 時から 17 時までの任意の時間）とした。また、天候については気象庁が示す天気用語²⁾を参考に判断した。なお、日向の測定は測定時に日射が存在する時のみ、打ち水箇所の測定は打ち水が実施されている時のみとした。

測定結果は、場所ごとに WBGT の時間帯の推移を折れ線グラフと表で示した。なお、グラフについては、熱中症予防運動指針が示す「運動原則中止（WBGT 31℃以上）」、「厳重警戒（WBGT 28℃以上 31℃未満）」、「警戒（WBGT 25℃以上 28℃未満）」、「注意（WBGT 21℃以上 25℃未満）」、「ほぼ安全（WBGT 21℃未満）」の区分¹⁾とともに表示した。グラフと表において、「運動原則中止（31℃以上）」と厳重警戒（28℃以上 31℃未満）の範囲を網掛けで表示した。

表 1 WBGT の測定日

最高気温	測定日	天候
気温 35℃	8月 8日	快晴
	8月 29日	晴れ
気温 30℃	8月 15日	晴れ
	8月 22日	曇り
気温 25℃	9月 20日	晴れ
気温 20℃	12月 18日	晴れ
気温 15℃	12月 4日	晴れ
気温 10℃	12月 9日	曇り

* 目黒消防署 ** 活動安全課

(2) 地表面温度

赤外線サーモカメラ (InfReC R500EX-Pro、アビオニクス社製、写真2) を用いて、最高気温 35℃ (快晴) の日の地表面温度を測定した。結果は、赤外線画像を可視画像とともに示した。なお、地表面温度は赤外線画像の十字の中央部分を測定した。測定場所及び測定時間帯は WBGT と同様とした。



写真1 熱中症指標計



写真2 赤外線サーモカメラ

3 結果

(1) WBGT

ア グラウンド日向 (図1、表2)

気温 35℃において、快晴及び晴れの日の WBGT は、午前から午後にかけて運動原則中止 (31℃以上) の範囲であり、快晴の日の WBGT は、夕方でも嚴重警戒 (28℃以上 31℃未満) の範囲であった。

気温 30℃において、晴れの日の WBGT は、午前から正午にかけて嚴重警戒の範囲であった。曇りの日の午後 (一次的に太陽光が差し込んだ) の WBGT は、警戒 (25℃以上 28℃未満) の範囲であった。

気温 25℃ (晴れ) の日の WBGT は、午前から正午にかけて注意 (21℃以上 25℃未満) の範囲であった。気温 20℃ (晴れ) 及び気温 15℃ (晴れ) の日の WBGT は、午前から午後にかけてほぼ安全 (21℃未満) の範囲であった。

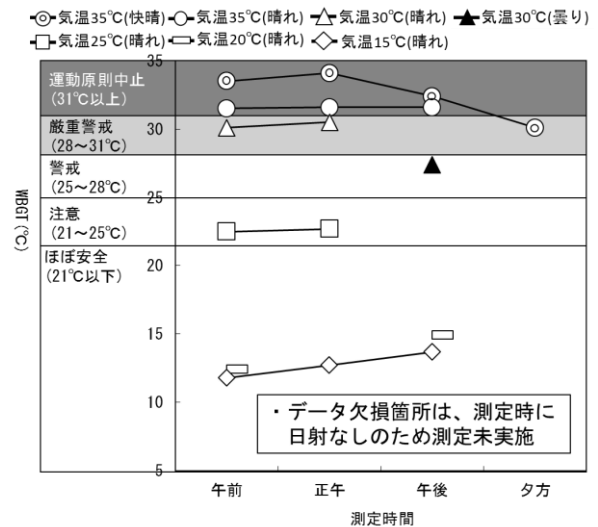


図1 グラウンド日向の WBGT

表2 グラウンド日向の WBGT

日向	午前	正午	午後	夕方
35℃ (快晴)	33.5	34.1	32.4	30.1
35℃ (晴れ)	31.5	31.6	31.6	
30℃ (晴れ)	30.1	30.5		
30℃ (曇り)			27.4	
25℃ (晴れ)	22.5	22.7		
20℃ (晴れ)	12.4		14.9	
15℃ (晴れ)	11.8	12.7	13.7	
10℃ (曇り)				

■ : 運動原則中止 ■ : 嚴重警戒

イ グラウンド打ち水箇所 (図2、表3)

気温 35℃において、快晴の日の WBGT は、正午から午後にかけて運動原則中止の範囲であった (午前及び夕方は、打ち水未実施)。晴れの日の WBGT は、午前から正午にかけて嚴重警戒の範囲であり、午後は運動原則中止、夕方は警戒の範囲であった。

気温 30℃において、晴れの日の WBGT は、午前から午後にかけて嚴重警戒の範囲であった (夕方については、打ち水は未実施)。曇りの日の午後の WBGT は警戒であった (午前、正午、夕方については、打ち水は未実施)。なお、気温 25℃以下の日は、打ち水は未実施であった。

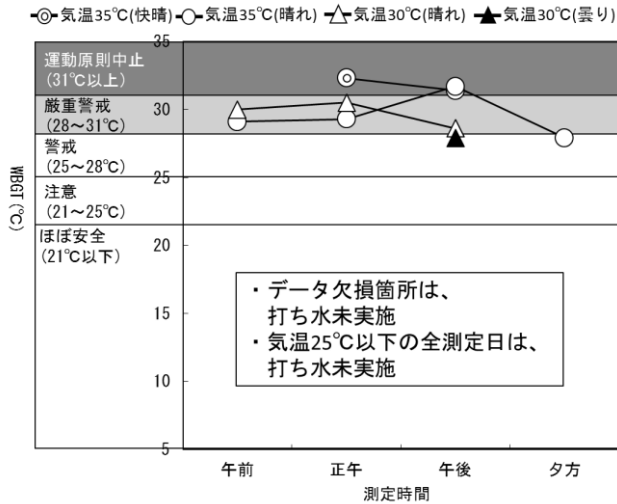


図2 グラウンド打ち水箇所の WBGT

表3 グラウンド打ち水箇所の WBGT

打ち水	午前	正午	午後	夕方
35°C (快晴)		32.3	31.4	
35°C (晴れ)	29.1	29.3	31.7	27.9
30°C (晴れ)	30	30.5	28.6	
30°C (曇り)			27.9	
25°C (晴れ)				
20°C (晴れ)				
15°C (晴れ)				
10°C (曇り)				

■ : 運動原則中止 ■ : 厳重警戒

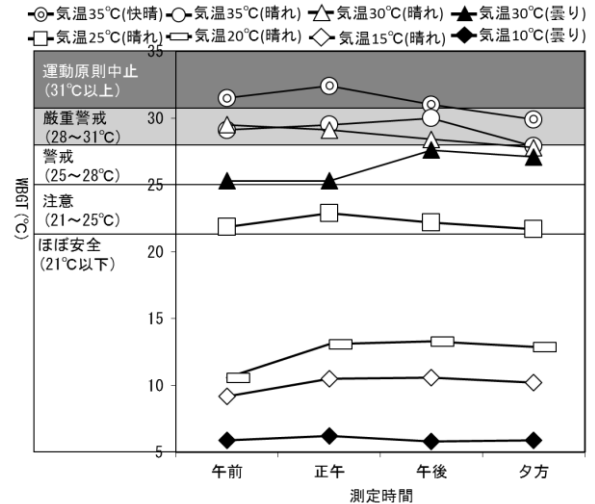


図3 グラウンド日陰の WBGT

表4 グラウンド日陰の WBGT

日陰	午前	正午	午後	夕方
35°C (快晴)	31.5	32.4	31.0	29.9
35°C (晴れ)	29.1	29.5	30	27.9
30°C (晴れ)	29.5	29.1	28.4	27.8
30°C (曇り)	25.3	25.3	27.6	27.1
25°C (晴れ)	21.8	22.9	22.2	21.7
20°C (晴れ)	10.6	13.1	13.3	12.9
15°C (晴れ)	9.2	10.5	10.6	10.2
10°C (曇り)	5.9	6.2	5.8	5.9

■ : 運動原則中止 ■ : 厳重警戒

ウ グラウンド日陰 (図3、表4)

気温 35°Cにおいて、快晴の日の WBGT は、午前から午後にかけて運動原則中止の範囲であり、夕方においても厳重警戒の範囲であった。晴れの日の WBGT は午前から午後にかけて厳重警戒の範囲であり、夕方は警戒の範囲であった。

気温 30°Cにおいて、晴れの日の WBGT は、午前から午後にかけて厳重警戒の範囲であり、夕方は警戒の範囲であった。曇りの日の WBGT は、午前から夕方にかけて、警戒の範囲であった。

気温 25°C (晴れ) の日の WBGT は、午前から夕方にかけて、注意の範囲であった。気温 20°C以下の日の WBGT は、午前から夕方にかけて、ほぼ安全の範囲であった。

エ 屋内訓練場 (図4、表5)

気温 35°C (快晴及び晴れ)、気温 30°C (晴れ及び曇り) の日の WBGT は、おおよそ全ての時間帯で、注意の範囲であった。気温 25°C以下の日の WBGT は、おおよそ全ての時間帯でほぼ安全の範囲であった。

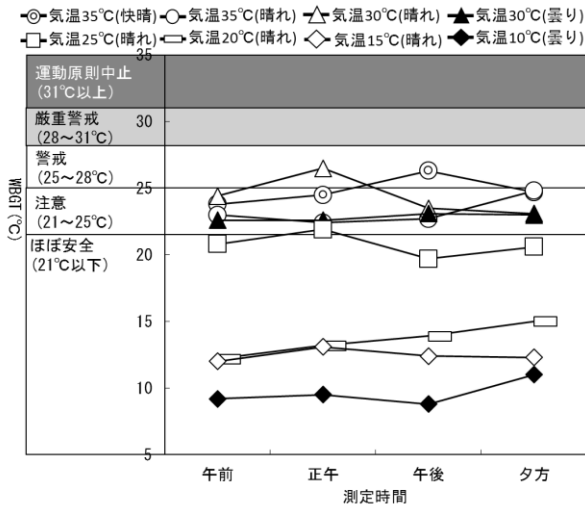


図4 屋内訓練場のWBGT

表5 屋内訓練場のWBGT

屋内訓練場	午前	正午	午後	夕方
35°C (快晴)	23.8	24.5	26.3	24.7
35°C (晴れ)	23	22.4	22.7	24.8
30°C (晴れ)	24.4	26.5	23.5	23.1
30°C (曇り)	22.6	22.6	23.1	23
25°C (晴れ)	20.8	21.9	19.7	20.6
20°C (晴れ)	12.2	13.2	13.9	15
15°C (晴れ)	12	13.1	12.4	12.3
10°C (曇り)	9.2	9.5	8.8	11

(2) 地表面温度

最高気温 35°C (快晴) の日の各場所における、地表面温度の推移を表6に示す。

表6 地表面温度 (°C)

測定箇所	午前	正午	午後	夕方
グラウンド日向	68	68	65	42
グラウンド打ち水箇所		42	37	
グラウンド日陰	34	38	37	35
屋内訓練場	25	26	25	24

ア グラウンド日向 (図5、図6)

日向の地表面温度は、午前の時間帯は 68°Cであり、正午の時間帯は 68°C、午後の時間帯は 65°C、夕方の時間帯は 42°Cであった。



図5 グラウンド日向の可視画像 (正午)

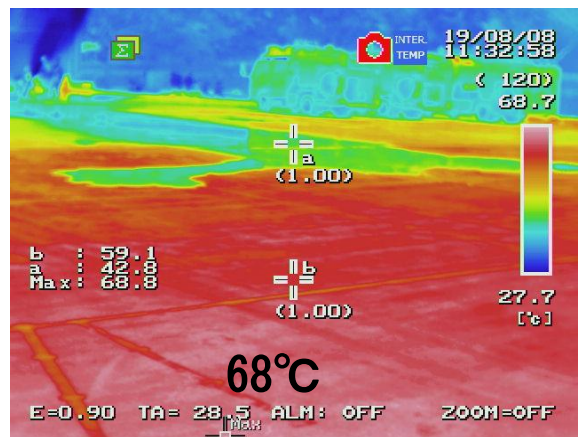


図6 グラウンド日向の地表面温度 (正午)

イ グラウンド打ち水箇所 (図7、図8)

打ち水箇所の地表面温度は、正午の時間帯は 42°Cであり、午後の時間帯において、37°Cであった。

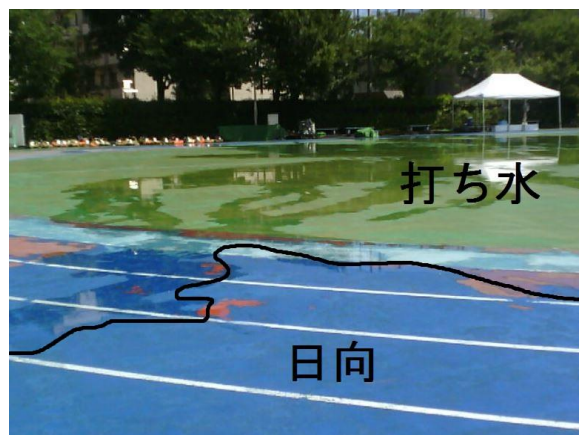


図7 グラウンド打ち水箇所の可視画像 (午後)

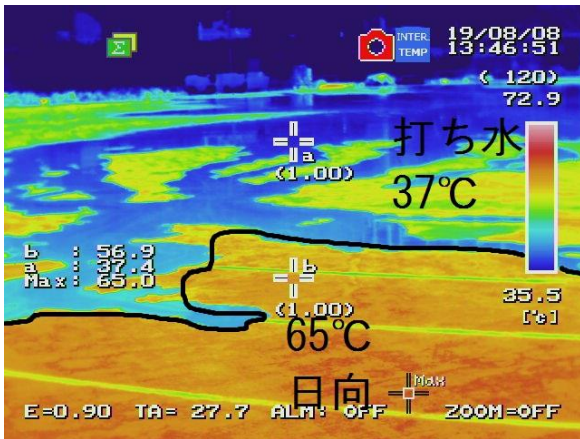


図8 グラウンド打ち水箇所の地表面温度（午後）

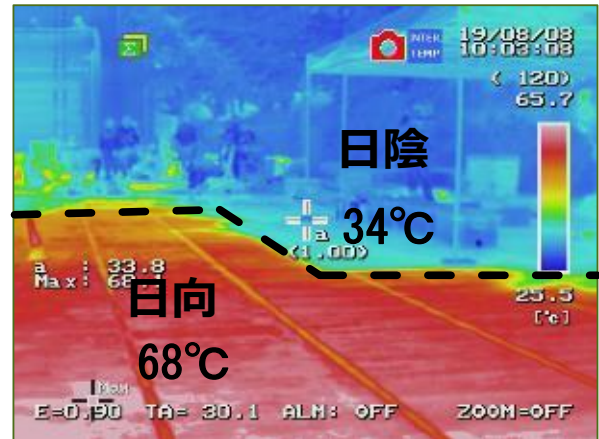


図10 グラウンド日陰の地表面温度（午前）

ウ グラウンド日陰（図9、図10）

午前時間帯において、テント部分の日陰の地表面温度は 34°Cであった。なお、同時時間帯の日向の地表面温度は 68°Cであった。

正午時間帯において、ビニールシートで作られた日陰の地表面温度は 38°Cであり、同時時間帯の日向の地表面温度は、68°Cであった。

夕方時間帯において、樹木による日陰の地表面温度は 35°Cであり、同時時間帯の日向の地表面温度は 42°Cであった。

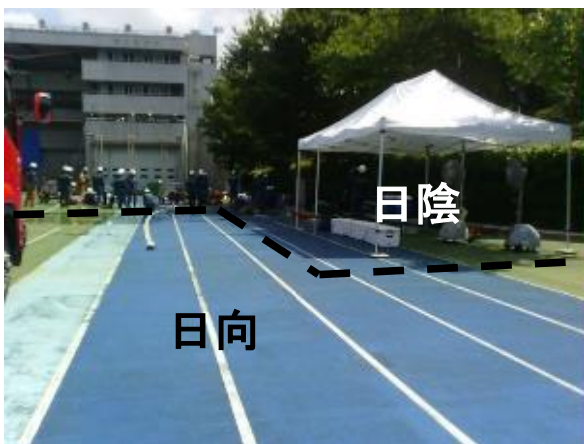


図9 グラウンド日陰の可視画像（午前）

エ 屋内訓練場（図11、図12）

午前から夕方時間帯において、地表面温度は約 25°Cであった。同時時間帯の屋内訓練場の環境は、概ね気温 26°C、湿度 61%、WBGT 25°Cであった。



図11 屋内訓練場の可視画像（正午）

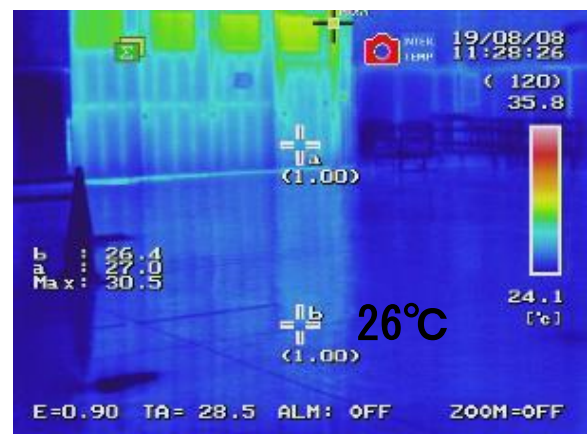


図12 屋内訓練場の地表面温度（正午）

4 考察

(1) 訓練環境について（日向、打ち水箇所）

本検証で測定した WBGT は、気温、湿度、輻射熱、気

流の4要素が反映された指標である。熱中症の発生には気温だけでなく、湿度も大きく影響しており、また夏季においては、日射や地面からの照り返しなどの輻射熱も影響する¹⁾。本検証では、初任学生の訓練場所であるグラウンドの日向と打ち水箇所、休憩場所である日陰と屋内訓練場のWBGTを測定した。

最高気温 35℃の日の日向を測定した結果、午前から午後にかけて、WBGTは31℃から34℃で運動原則中止(31℃以上)の範囲であり、夕方においてもWBGTは30℃を超え、厳重警戒(28℃以上31℃未満)の範囲であった。最高気温 35℃となる日では、日中だけでなく、日没が近い夕方の時間帯においても、熱中症リスクが非常に高い過酷な暑熱環境であることが確認できた。

また、最高気温 30℃の日の日向のWBGTを測定した結果、概ね27℃から30℃であり、厳重警戒または警戒の範囲であった。最高気温 35℃より、熱中症リスクは低下するものの、最高気温 30℃以上を観測する梅雨(5月、6月)や残暑(10月)の時期³⁾でも、熱中症を予防するための対策をとる必要があることが再確認できた。

消防学校の実科訓練では、防火衣を着装した状態で行うことによる熱中症発症リスクの増大に留意しなければならない。消防隊員が着装する防火衣は断熱性が高い衣服であり、運動等により身体から発生した熱が防火衣内に蓄熱する性質がある。そのため、日本スポーツ協会が示す熱中症予防運動指針より、更に熱中症リスクが高まると考えられる。厚生労働省は、衣類に応じWBGTの値に補正值を加えるべきとしている⁴⁾。正確な分類はできないが、仮に分類するならば、防火衣は限定用途の蒸気不浸透性つなぎ服に分類される可能性があり、その場合、WBGTの値に11を加える必要がある。熱中症予防運動指針のほぼ安全(21℃未満)の範囲であるWBGT 20℃でも、補正值を考慮するとWBGT 31℃(20+11℃)となり、運動原則中止(31℃以上)になってしまうことに注意が必要である。本検証では、最高気温 25℃以下の日のWBGTは、25℃以下であった。熱中症の発症リスクが、夏季と比較し大幅に低下すると考えられる秋季や冬季であっても、防火衣を着装した状態で訓練を行うと、熱中症を発症する可能性が十分にある。

運動原則中止のWBGT 31℃以上の夏季において防火衣を着装した状態での訓練は、熱中症の発症予防に十分な対策を講じる必要がある。現在、消防学校では、夏季の間、グラウンドに設定したWBGT計の値に応じて、実科訓練の服装や訓練時間について対応を決めている。現在、WBGT 31℃以上(運動原則中止)では防火衣着装での訓練を中止し、WBGT 28℃以上31℃未満(厳重警戒)では、防火衣着装での訓練を15分間までとしている。防火衣着装時におけるWBGTを考慮すると、消防学校の対応は、熱中症発症リスクを低減させるための対策として効果的であると考えられ、消防学校において、熱中症を発症す

る初任学生が令和元年度に発生しなかったのは、これらの対策が適切であったことも要因の一つであると考えられる。

また、本検証では地面からの輻射熱を直接評価するために、グラウンドを赤外線サーモカメラにて撮影し、地表面温度を測定した。最高気温 35℃(快晴)の日の地表面温度は、午前から午後にかけて70℃近くに達する箇所が確認できた。

一般的に、人間の皮膚は60℃では約10秒間、70℃以上では約1秒間で熱傷を生じる⁵⁾といわれており、グラウンドの地表面の熱により火傷を生じる危険性は非常に高いと考えられる。したがって、夏季では、訓練中における膝や殿部を地面に着ける折り膝や安座、長時間同じ地点に足を着けている状態の礼式訓練は、熱傷のリスクがあることを認識すべきだと考えられる。

消防学校では、夏季の間、暑熱環境による熱中症リスクを低下させるため、グラウンドにホース等で散水し打ち水を行っている。本検証では、その打ち水の効果についても客観的に評価するために、打ち水箇所のWBGTと地表面温度も測定し、日向との比較も行った。

本検証の結果、打ち水箇所のWBGTは、31℃前後であり、日向のWBGTと比較すると1℃程度であるが低下した。一方、打ち水箇所の地表面温度を測定すると、約40℃であり、日向の部分より30℃程度低下した。つまり、打ち水はWBGTの値を若干低下させるのに加え、地表面温度を大きく低下させ輻射熱を軽減させるのに有効であることが明らかになった。打ち水には、熱中症リスクを大きく低下させる効果は確認できなかったが、短靴等を履く礼式の訓練においては、火傷を防止するために大きく寄与できると考えられる。

(2) 休憩環境について(日陰、屋内訓練場)

消防学校では、現在熱中症防止対策の一環として、テントやビニールシートにより日陰を積極的に作成し、訓練中の休憩場所として活用している。本検証の結果、最高気温 35℃の日の日陰のWBGTは運動原則中止の範囲であり、気温 30℃においても厳重警戒の範囲であった。また、日向と比較すると、WBGTは概ね1℃程度しか低下せず、夏季においては、日陰でも過酷な暑熱環境であることが確認できた。つまり、日陰は、休憩場所としては厳しい環境であり、訓練における集合時や説明時等において、日射を避けるために一時的に活用するに留めておくべきだと考えられる。

一方、日陰の地表面温度は35℃程度であり、日向と比較すると30℃程度低下することが確認できた。つまり、日陰を作成することで、地面からの輻射熱を大幅に軽減できると考えられる。また、日陰の作成方法について、本検証の結果では、テントとブルーシートでは、地表面温度に大きな差異は生じなかった。そのため、時間帯によって変わる太陽の位置を考慮し柔軟に作成場所を変えられる方法や、訓練棟の陰を活用するのが良いと考

えられる。

屋内訓練場の環境を測定した結果では、夏季においても WBGT は、概ね 25℃を超えず、また、地表面温度も約 25℃であり、継続して安定した環境を保っていることが確認できた。消防学校は、夏季の間、屋内訓練場を訓練中の休憩場所として積極的に活用している。本検証の結果から、屋内訓練場は空調による温度管理がなされており、休憩場所として適切であると考えられる。

また、休憩時の服装として、防火衣の上下を離脱させ、可能である限り執務服の上衣を離脱させることが重要と考えられる。防火衣の離脱は、冷却ベスト着用時と同等の身体冷却効果がある⁶⁾。また、休憩時間はグラウンドと屋内訓練場の往復時間を考慮し、長めに設定するべきだと考えられる。

5 まとめ

(1) 訓練環境について（日向、打ち水箇所）

気温 35℃を超える環境では、日向では地表面温度が 70℃近くに達することが確認でき、打ち水は地表面温度を 30℃程度低下させ、地面からの輻射熱の軽減に効果的であることが確認できた。

(2) 休憩環境について（日陰、屋内訓練場）

木陰やテントの下などの日陰については、過酷な暑熱環境であり、休憩には適さないことが確認でき、空調による温度管理がなされた屋内訓練場は休憩場所として適切であることが確認できた。

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。ここに厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 公益財団法人 日本スポーツ協会：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック、第 5 版、公益財団法人 日本スポーツ協会、pp. 15, 16, 29、2019
- 2) 気象庁 HP：知識解説、天気とその変化に関する用語
- 3) 気象庁 HP：過去気象データ、東京地点、月ごとの値、詳細（気温、蒸気圧、湿度）、2019
- 4) 職場における熱中症予防対策マニュアル作成委員会：職場における熱中症予防対策マニュアル、厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課、p. 23、2018
- 5) 救急救命士標準テキスト編集委員会：救急救命士標準テキスト 下巻第 7 版第 3 刷、へるす出版、p. 884、2007
- 6) 町田広重ほか：消防活動における熱中症予防対策の研究、消防科学研究所報、第 27 号、1999