

火災室内の検索救助活動時における消防隊員の 生理的・心理的变化に係る検証

三野 正浩*, 吉田 圭佑**, 日高 一誠*, 下畑 行盛*

概要

熱環境下において活動する消防隊員の安全管理対策の拡充を図ることを目的として、「20、50、60、65、70」℃の環境温度下で実際の検索救助活動を行い、火災室内進入時における隊員の生理的・心理的变化の検証を行った。その結果、防火マスク着用時で隊員が最も熱を感じやすい身体部位は手部であることや、相対湿度 60%の時の環境温度 65℃が、検索救助活動時の耐熱限界温度の目安であることが確認され、高温による熱傷等の受傷を避けるための目安として、手部の温覚に留意する必要があることが示された。

I はじめに

火災室内の検索救助活動は、一旦事故がおきると重大事故につながり、安全管理上最も危険が伴う活動である。一方、昨今の大量退職期の本格化により、災害現場経験や技能を有するベテラン職員層が減り、経験の少ない若い職員層が増えている。また、延焼火災が減少するなかで火災による死者は増加しており、検索救助活動の重要性が高まっている。

これらのことから当庁ではその対策として、実火災体験型訓練などの実戦的訓練の推進を図っている。本検証では、過酷な火災室内での検索救助活動に焦点を当て、熱環境下において実際に検索救助活動を行い、そのときの生理的・心理的負担や変化について検証し、消防隊員の安全管理対策に資することを目的とした。

II 検証方法

1 被験者(表1)

消防技術安全所男性消防吏員 8名

表1 被験者の身体特性

身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)
169±11	63±5	31±4

※数値: mean±S.D

2 日時

平成19年10月23日～平成19年11月13日

3 実験場所

消防技術安全所2階運動学実験室内の熱環境室(※内径寸法:縦3.6m×横2.7m×高さ2.3m、室内温湿度:-10～80℃、20%～95%に設定可能)

4 実験プロトコール

(1) 活動負荷様式、活動内容等(表2、図1)

消防救助操法基準に基づく濃煙熱気中救助活動操法を用い¹⁾、

火災室内の要救助者を救出する動作を行わせた。

なお、検索救助活動の距離は、平成13年中の当庁管内における延焼火災の平均値(10m)とした。

表2 検索救助活動の活動内容

順番	時間	活動内容
①進入	3分	防火衣、呼吸器及び面体を着装し進入
②折膝待機		待機位置で折り膝の姿勢にて待機
③検索活動	1分	10mの検索路を左手壁触手にて検索(メトロノームにてリズムを管理)
④救助活動	1分	10mの救出路を右手壁触手にて後襟引っ張り救出により救出(メトロノームにてリズムを管理)
⑤脱出		安全員の誘導で脱出

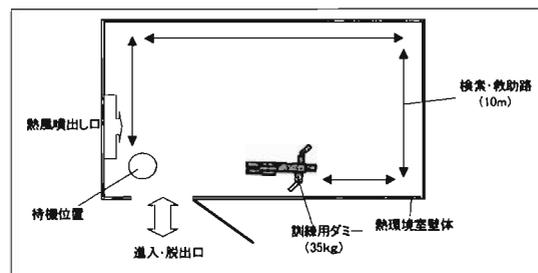


図1 活動状況図

(2) 環境条件

「高温・高湿度環境下における身体暴露に関する研究」²⁾ 結果の、防火衣着装時の耐熱限界時間(表3)を参考に、①50℃、②60℃、③65℃、④70℃、及び⑤20℃(コントロール群)の5条件で実験を実施した。(※火災室内の湿度は放水により70%以上であるが、隊員の安全に配慮して60%に統一した。)

表3 防火衣着装時の耐熱限界時間

		温度			
		50℃	55℃	60℃	65℃
湿度	70%	不実施	28分00秒	14分42秒	6分06秒
	80%	30分00秒	21分48秒	7分30秒	3分13秒
	90%	30分00秒	15分00秒	3分19秒	1分30秒

(3) 衣服条件

服装はセパレート型防火服(普通火災出場時の服装)に加え、東消 300 型空気呼吸器及び面体を着装した。(※ 総重量約 16.5 kg)

(4) 測定項目

ア 最も熱を感知した身体部位(アンケート調査)

実験終了後に被験者が活動中に最も熱を感知した身体部位について調査を行った。

イ 心拍数

ポラール・チームシステム(ポラール社製)を使用し、測定開始直前から測定終了直後までの間、1分間隔で測定を実施した。

ウ 皮膚表面温度

ボタン電池型温度記憶装置(KN ラボラトリーズ社製)を使用し、測定開始から測定終了までの間、胸部の皮膚表面温度を1分間隔で測定を実施した。

エ 防火衣内温度

温湿度記憶測定器(Shiro 社製)を使用し、測定開始から測定終了までの間、1分間隔で測定を実施した。また、センサーの取り付け位置は胸部中央上とした。

オ 体温

鼓膜外体温計(オムロン社製)を使用し、測定開始直前、測定直後の合計2回測定を実施した。

カ 血圧

自動血圧測定監視装置(日本光電社製)を使用し、測定開始直前から測定終了直後までの間、1分間隔で測定を実施した。

キ 発汗量

精密台秤(村山製作所社製CM-100)を使用し、被験者の裸体重を計測し、測定前後の体重差を発汗量として算出した。

ク 血中乳酸濃度

簡易血中乳酸測定器(アークレイ株式会社製)を使用し、測定開始直前、測定終了直後の合計2回測定を実施した。

ケ 空気消費量

測定前後の圧力調整器の差を空気消費量として算出した。

コ 主観的運動強度

15段階に尺度化(Borg 提唱)された主観的運動強度表を使用し、測定開始直前、測定終了直後の合計2回測定を実施した。

サ 不安度心理テスト(STAI)

不安度心理テストは、質問紙(STAI 状態-特性不安度検査 スピルバーガー-S.D原著)を使用し、測定終了直後に実施した。

※ STAI : 20問4択の質問形式のテストで、80点満点の5段階評価により現時点の不安感強度を測定する。

III 結果及び考察

「70℃」では、進入2分後に被験者全員が手部に痛みを感じ、実験を中止したことから、「70℃」の測定結果は進入2分後までとした。

1 最も熱を感知した身体部位(表4)

50℃以下の環境温度では顕著な結果はみられなかったが、60℃以上の環境温度では、最も熱を感知した身体部位は手部位であった。「70℃」では、全ての被験者が手部位に我慢できない痛みを感じ、進入わずか2分後に脱出する結果となった。

「高温・高湿度環境下における身体暴露に関する研究」²⁾によると、熱環境下での屋内進入時には頬、首、耳に熱を感じる結果であったが、当初はアルミックス製の旧型防火衣で、防火マスク(※平成17年度配備)も装着していなかった。本検証では、

耐熱性に優れた現行型防火衣で、防火マスクを装着していたことから、手部位が最も熱を感知しやすかったものと推測される。

表4 被験者が最も熱を感知した身体部位

環境条件	最も熱を感知した部位	温熱度感覚	回答率(%)
20℃	なし	なし	100
50℃	なし	なし	25
	手 部	暖かい	75
60℃	手 部	痛 い	100
65℃	手 部	痛 い	100
70℃	手 部	我慢できない痛み	100

2 心拍数(図2)

「65℃」では、救助活動直後(検索活動開始2分後)に150回/分まで急上昇した。一般に暑熱環境下で作業を行う場合は、高温労働の限界を考慮し、作業時最高心拍数が150回/分以内であるとされていることから³⁾、熱環境下で検索救助活動を行う場合は、脱出後早急に休息をとり身体負担の軽減を図る必要性があることが確認された。

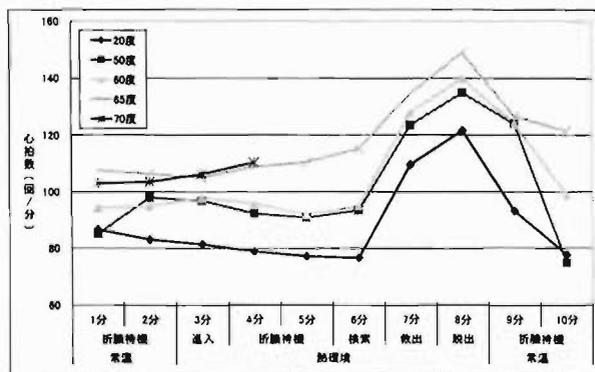


図2 心拍数の変動

3 皮膚表面温度(図3)

環境温度が高くなると皮膚表面温度も高くなる傾向があり、「65℃」では38℃を超えていた。また、現行の防火衣は衣服熱抵抗の高い密閉型衣服であるため、脱出後も皮膚表面温度は低下していない(プラトー状態)ことから、脱出後は防火衣前面を開放し、防火衣内に蓄熱された熱を放出して皮膚表面温度を下げるのが重要であると確認された。

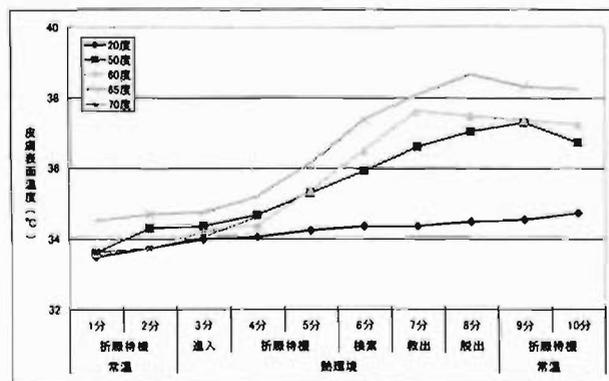


図3 皮膚表面温度の変動

4 防火衣内温度 (図4)

「65℃」では、防火衣内温度が41℃を超える結果となった。一般に、皮膚表面温度 $45 \pm 2^\circ\text{C}$ が表皮全層に変化をもたらす最低の熱傷になる温度とされており⁴⁾、「65℃」の熱環境下で5分以上活動を行うと受傷危険が大きくなり、検索救助活動時の耐熱限界温度の目安であることが確認された。

ただし、火災室内の湿度は、通常放水のため70%以上であることから、放水時の耐熱限界温度は $60 \pm 2.5^\circ\text{C}$ と推測される。(※湿度が10%下がると、耐熱限界温度は2.5℃下がる。)

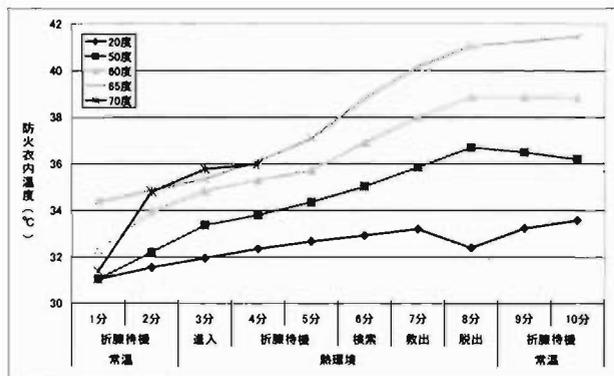


図4 防火衣内温度の変動

5 体温 (図5)

「20℃」を除くすべての環境条件で、脱出後の体温が37℃を超えていた。また、「70℃」では進入2分後にもかかわらず37℃を超えており、生体に大きな負担がかかっていることが確認された。

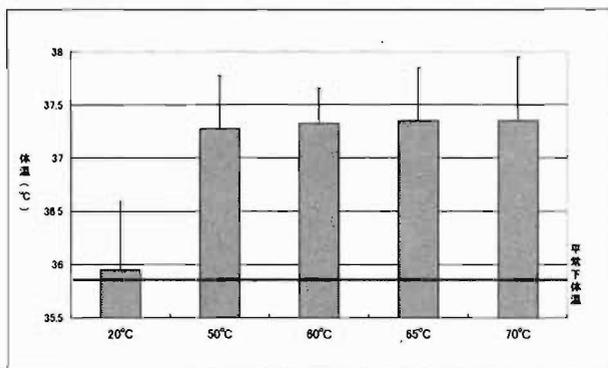


図5 脱出後の体温

6 血圧 (図6)

環境温度が高くなるにつれて、収縮期血圧 (最高血圧) は高くなる傾向があったが、拡張期血圧 (最低血圧) に顕著な変化はみられなかった。拡張期血圧は運動により影響されないため、熱環境下では脈圧 (脈圧=収縮期血圧-拡張期血圧) が大きくなる⁵⁾。

このことから、普段血圧の高い隊員が熱環境下で消防活動や訓練を行う場合は、電解質入りの水分を摂取するなど血圧の上昇を抑制することが重要であることが確認された。

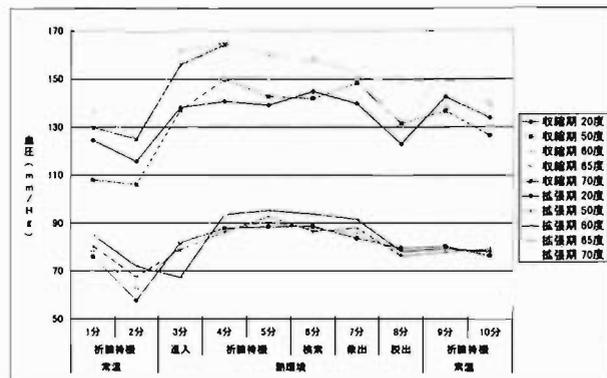


図6 血圧の変動

7 発汗量 (図7)

環境温度が高くなるにつれ、発汗量は増加する傾向があった。「70℃」では、進入2分後に脱出したにもかかわらず、「50℃」、「60℃」とほぼ同量の発汗量であったことから、生体に大きな負担がかかっていることが確認された。

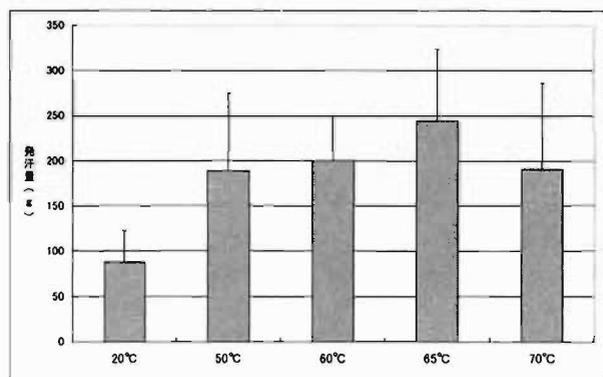


図7 脱出後の発汗量

8 血中乳酸濃度 (図8) 及び空気消費量 (図9)

血中乳酸濃度と空気消費量に関しては、50℃以上の環境条件の違いに有意な差は見られなかった。しかし、「20℃」と「50℃」の空気消費量を比較すると「50℃」の方が約1.5倍も多く消費する結果となった。

したがって、熱環境下においては、常温で行う消防活動訓練と同等の運動負荷であっても、空気呼吸器の使用時間は短くなることが確認された。

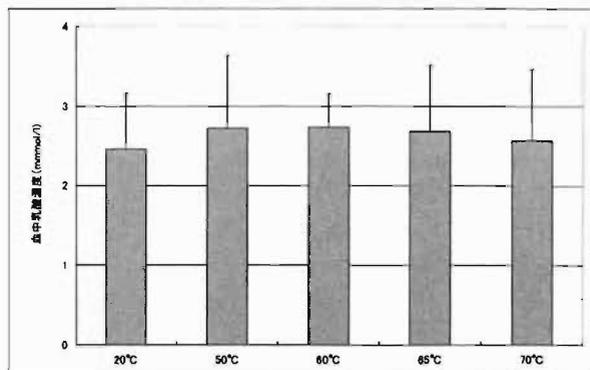


図8 脱出後の血中乳酸濃度

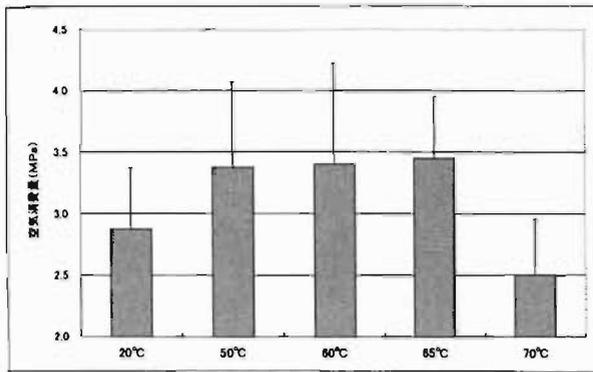


図9 脱出後の空気消費量

9 主観的運動強度及び不安度心理テスト (図10)

心理的測定項目は温度が高くなるにつれて高くなる（運動強度が高くなる、不安度が高くなる）傾向がみられた。本検証では、火災室の内部及び環境温度が事前に周知されていたにもかかわらず、このような結果となったことから、実火災現場ではさらに不安度が高まることが予想される。

したがって、実火災体験型訓練施設等での実践的消防活動訓練（ホットトレーニング等）を行うことにより、実際の火災室内において平常心を維持することが、心理面からの受傷事故を回避する手段のひとつであると考えられる。

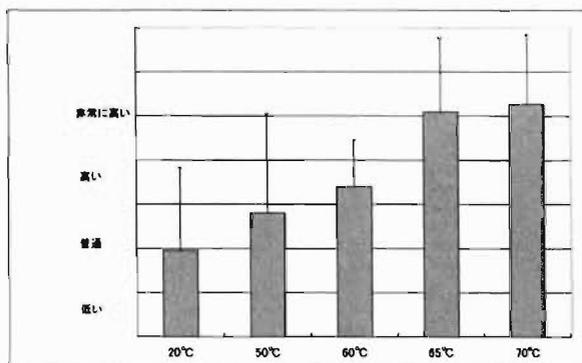


図10 脱出後の不安度心理テスト (STAI)

IV 結論

- 1 防火マスク着用時で隊員が最も熱を感じやすい身体部位は手部である。
- 2 環境温度 65°C、相対湿度 60%が、検索救助活動時の耐熱限界温度の目安である。ただし、放水時においては、相対湿度が70%以上であるため、耐熱限界温度は $60 \pm 2.5^\circ\text{C}$ 程度になると推測される。
- 3 普段から血圧の高い隊員が熱環境下で消防活動や訓練を行う場合は、電解質入りの水分を摂取するなど血圧の上昇を抑制することが重要である。
- 4 熱環境下においては、常温で行う消防活動訓練と同等の運

動負荷であっても、空気呼吸器の使用時間は短くなる。

5 実火災体験型訓練施設等での実践的消防活動訓練を行うことにより、実際の火災室内において平常心を維持することが、心理面からの受傷事故を回避する手段のひとつである。

以上から、火災室内で検索救助活動等を行う場合には、高温による熱傷等の受傷を避けるための目安として、手部の温覚に留意することが重要であることが確認された。

【参考文献】

- 1) 救急救助問題研究会編：消防救助操法の基準の解説、東京法令出版
- 2) 染谷浅美ら著：高温・高湿度環境下における身体暴露に関する研究、消防科学研究所報第31号、1994
- 3) 日本火災学会編：火災便覧 新版、1984、共立出版
- 4) 鈴木寿夫著：「神経生理学テキスト」
- 5) 嶋津秀昭著：血圧、2001 山海堂

Verification concerning physiological and psychological changes of firefighters during search and rescue activities in the fire room

Masahiro MINO*, Keisuke YOSHIDA**, Issei HIDAKA*, Yukimori SHIMOHATA*

Abstract

Search and rescue activities are actually conducted under ambient temperatures of 20, 50, 60, 65 and 70°C to verify physiological and psychological changes of firefighters upon entry into a fire room with a view to improving safety control measures for firefighters operating under the thermal environment. The results confirmed that the hands are the area of the body where the firefighter wearing a facemask feels most sensitive to heat and that 65°C of ambient temperature and 60% of relative humidity provide a guideline to the allowable temperature limit during search and rescue efforts. Results also indicated the need to pay attention to the temperature in the hands as a guideline to avoid injury such as burn due to high temperature.