



Title	寒冷環境下での消防活動が隊員に及ぼす作業負担
Author(s)	橋本, 好弘; Hashimoto, Yoshihiro; 森谷, 絜 他
Description	JOI JST.JSTAGE/seikisho/45.109
Citation	日本生気象学会雑誌, 45(4), 109-119
Issue Date	2009
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/43926">https://hdl.handle.net/2115/43926</a>
Rights	©日本生気象学会
Type	journal article
File Information	45_109rev.pdf



# 寒冷環境下での消防活動が隊員に及ぼす作業負担

## The firefighter's workload of actual firefighting activity in a cold environment

橋本 好弘<sup>1,2</sup>, 森谷 繁<sup>3</sup>, 大塚 吉則<sup>4</sup>

Yoshihiro Hashimoto<sup>1,2</sup>, Kiyoshi Moriya<sup>3</sup>, Yoshinori Ohtsuka<sup>4</sup>

<sup>1</sup>北海道大学教育学部, <sup>2</sup>札幌市消防局, <sup>3</sup>天使大学大学院, <sup>4</sup>北海道大学大学院教育学研究院

<sup>1</sup>*School of Education, Hokkaido University*

<sup>2</sup>*Sapporo Fire Bureau*

<sup>3</sup>*Graduate School of Nursing and Nutrition, Tenshi College*

<sup>4</sup>*Graduate School of Education, Hokkaido University*

(受付 2008 年 2 月 6 日 / 受理 2008 年 7 月 31 日)

消防活動は重装備の激しい活動であり、過労・ストレスによる隊員の死傷者が多い。本研究では、寒冷環境下における消防活動が隊員に及ぼす身体負担を経時的に分析し、休憩の必要性を検討した。北海道 S 市の消防隊員 71 名に対して 24 時間の拘束勤務中にホルター心電計を装着させ、消防活動中の心拍数変化を測定し、Wu *et al.* (2001) の maximum acceptable work duration (MAWD) でその負担を評価した。出動途上の平均最高心拍数は 145.5 拍/分であり、急激に心拍数が上昇していた。現場活動中の最大心拍数と活動時間には正の有意な ( $P < 0.01$ ) 相関が認められた。小規模火災 2 件で MAWD を大きく超え、活動開始 5 分間の負担は平均で 92.6 並びに 93.6% heart rate reserve (HRR), 活動全体の平均でも 72.3 と 70.2% HRR であった。災害現場での消防隊員の死傷事故減少には、寒冷環境下の小規模火災でも、火勢制圧後、隊員に休憩・交替を与え、過労・ストレスを軽減させる必要がある。

キーワード：消防活動，心拍数，作業負担，仕事許容時間，寒冷環境

Firefighting is an intense activity requiring heavy equipment, and many casualties among firefighter are caused by overexertion strain. This study investigated the actual workload of firefighting activity in a cold environment, and examining the necessity for breaks. Heart rate was measured for 24 hours with a Halter electrocardiograph during restricted service in 71 firefighters of city S in Hokkaido. The Cardiac-beats change during fire-fighting activity was measured, and maximum acceptable work duration (MAWD) as defined by Wu *et al.* (2001) was estimated as the workload. The average highest heart rate on the way to an alarm was 145.5 beat/min, and the heart rate was rising rapidly. The maximal heart rate during firefighting activity was statistically significant ( $P < 0.01$ ) with respect to activity duration. MAWD was greatly exceeded while fighting two small-scale fires, and the workload 5 minutes after the start reached 92.6 and 93.6 % heart rate reserve (HRR), also 72.3 and 70.2 %HRR for the whole activity on average. When fighting small-scale fire in a cold environment, firefighter need to be given a break and a shift after gaining control of the fire in order to prevent injuries and accident at deaths among firefighters at a disaster site and to reduce overexertion strain.

Key words: Firefighting, Heart rate, Workload, Maximum Acceptable Work Duration (MAWD),  
Cold environment

## 1. 緒言

消防隊員は、24時間の拘束勤務体制で火災や救助の消防活動を行っている (Takeyama *et al.*, 2005). 消防活動は厚重な防火服・空気呼吸器・破壊器具を装着しており、総重量は20kgを超える (Smith *et al.*, 1997; 伊藤ら, 1998). このような特殊な勤務体制や装備品での消防活動は、炎や煙などによる身体的ストレス (Lusa *et al.*, 1993) を伴う最大心拍数に近い活動 (Duncan *et al.*, 1979; Romet *et al.*, 1987; Holmer *et al.*, 2006) になっている。

消防隊員の職務に起因する疾病として、心疾患 (Choi, 2000; Kales *et al.*, 2007; Rosenstock *et al.*, 2007), 悪性新生物 (Golden *et al.*, 1995; Lemasters *et al.*, 2006), 肺 (Burgess *et al.*, 2004)・呼吸器 (Mustajbegovic *et al.*, 2001) の疾患, 伝染病 (Weaver *et al.*, 1995), PTSD (Wagner *et al.*, 1998; Kitchiner, 2004) が報告されている。米国では消防隊員の勤務に起因する死傷者は民間産業 (Private Industry) に比べて多く、死亡率が3倍, 負傷率が3.3倍 (Schaitberger, 2001) で、これら死傷者の主な原因は過労 (overexertion)・ストレス (Karter *et al.*, 2005) である。また、米国では消防隊員が毎年100人前後勤務中に死亡しており、その半数が激しい活動による突発性心臓死 (Fahy, 2005) であると報告されている。このように、消防活動は特殊な労働であり、これまで必要な体力要素や健康管理に関する研究 (Melius, 2001; Peate *et al.*, 2002; Cady *et al.*, 1985; 橋本ら, 2007) が行われている。

消防隊員は炎から身を守るために耐熱性に優れた防火服を着装していることから、古くからヒートストレスに関する研究 (Duncan *et al.*, 1979; Sköldström, 1987; 野尻ら, 1984) が行われている。欧米では、1990年半ばに消防隊員の火傷による負傷を防止する目的で耐熱性の優れた防火服が導入され、それ以降災害現場における消防隊員の火傷事故は大幅に減少 (Prezant *et al.*, 2000) した。その反面、消防隊員のヒートストレスが大きな課題 (Malley *et al.*, 1999; Holmer *et al.*, 2006; Faff *et al.*, 1989; Eglin *et al.*, 2004; Selkirk *et al.*, 2004; Rossi, 2003) となっている。日本でも1999年以降に大都市で耐熱性の優れた防火服が導入され、それ以降消防隊員のヒートストレスが課題 (町田ら, 2000) となっている。対策として、深部体温の上昇を抑制するために、米国やカナダでは災害現場において消防隊員に休憩・交替を与える必要性が指摘され (Carter *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 2001; McLellan *et al.*, 2006; Baker *et al.*, 2000; Holmer *et al.*, 2006), 米国防火協会でもその必要性を認めている (National Fire Protection Association, 2002)。しかし、消防隊員は体力に自信を持っていることから「体力の限界」という考えには否定的で、米国の多くの都市で消防活動中の休憩・交替は浸透していない (Dickinson, 2003)。日本でも同様の傾向である。

消防隊員の活動負担に関する研究の多くは、活動負担を高温火災室で人命救助を行う現場活動シミュレーションやトレッドミル上のランニングで実施している。災害活動は交感神経の亢進が著しいことから、過労・ストレスによる消防隊員の死傷事故を防止するうえで、実災害活動の隊員負担を把握することは重要である。しかし、空気呼吸器を装着していない時代の研究 (Barnard *et al.*, 1975) や研究目的を酸素消費量 (Sothmann *et al.*, 1992) に置いたもの等と数少なく、災害規模と隊員負担の研究を見出すことができない。

作業負担の許容は、Kurumatani *et al.* (1992) や Pal *et al.* (1994) によって1日8時間の労働条件として平均で30~40%VO<sub>2</sub>maxを超えないように提唱されている。負担が大きい作業負荷について Wu *et al.* (2001, 2002) は、適切な仕事の休憩スケジュールをデザインするために、maximum acceptable work duration (MAWD) と percentage of heart rate reserve (%HRR) の関係を提案した。Bos *et al.* (2004) は、MAWDを使用してオランダの消防隊員の消防活動負担を消火活動の行動毎に解析しているが、災害規模との関係や活動環境については分析していない。

作業環境は、作業負担に影響を与える要素である。日本での火災は、火気を使用する機会の多い冬季から春季にかけて多く発生しており、総出火件数の57.5%をこの期間で占めている (消

防

防庁, 2006). 特に 12 月は建物火災が最も多い (消防庁, 2006) ことから, 消防隊員にとって主な活動環境は寒冷である. 寒冷環境下活動の身体影響として, 低体温症の罹患, 心臓仕事量の増加 (American College of Sports Medicine, 2005) や作業対象への注意力低下 (澤田, 1998) が報告されているが, 寒冷環境下における消防活動の隊員負担についての研究を見出すことが出来ない.

そこで, 本研究では, 災害現場での消防隊員の過労・ストレスによる死傷者を減少させることを目的に, 消防隊員に 24 時間ホルター心電計を装着させ, 寒冷環境下における消防活動が及ぼす隊員負担を経時的に分析し, Wu *et al.* (2001) が提案した MAWD でその負担を評価することで, 消防活動における隊員の休憩・交替の必要性について検討した.

## 2. 対象者と方法

対象者として, 積雪寒冷地である北海道 S 市の 15 消防署 (所) を無作為に選び, 指定日に勤務していた職員のうち, 測定趣旨に賛同した現場活動が主要業務である消防隊員・救助隊員・指揮隊員 (以下, 全ての隊員を消防隊員とする) の 71 名とした. 対象者は, 消防隊員全体の傾向と同様に幅広い構成になっていた. その身体的特徴と消防隊員の経験年数を Table 1. に示す.

Table 1. Physical characteristics and length of experience of 71 firefighters

	Age n (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Experience (years)	
Firefighters	71	32.7	173.1	70.6	11.1
	(1.2)	(0.7)	(0.9)	(1.2)	

Values are means ( $\pm$ SEM).

### 2-1. 測定方法

測定は, 2004 年 11 月 10 日から 2005 年 1 月 23 日の間に行った. 北海道 S 市の消防隊員は, 災害に対応するため 1 回の勤務が 24 時間の拘束勤務である. そこで, 対象者には勤務日の朝 8 時 30 分から翌朝 8 時 30 分頃までの 24 時間, ホルタータイプの ECG レコーダー (Active Tracer AC301, GMS Inc., Tokyo) を装着してもらい, 勤

務中の R-R 間隔を本体メモリーに保存し, 専用ソフトにより取り出した. 出動指令直後や現場活動開始直後は急激な心拍数変化と予想されることから, R-R 間隔のデータは, 解析ソフト (Tarawa, Swa Trust Co., Ltd., Tokyo) によりノイズを取り除き, 2 秒毎の平均心拍数を算出した. 消防活動の記録は, 出動時刻・現場到着時刻・現場引揚げ時刻と活動内容を専用の用紙に記載してもらった. 災害出動時の消防車には消防隊員 4-5 名が乗っているが, 測定は 1 台 1 名とした.

消防署 (所) の空調機器を 22°C に設定し, 出動時の外気温と相対湿度は札幌管区気象台のデータ (気象庁統計情報のデータより) を使用した.

### 2-2. %HRR の算出方法

%HRR は Karvonen *et al.* (1957) の式 [%HRR =  $(HR_{work} - HR_{rest}) / (HR_{max} - HR_{rest}) \times 100\%$ ] で算出した. 消防活動負担の変化を詳細に検討するために, 心拍数レベル ( $HR_{work}$ ) は R-R 間隔から算出した 2 秒毎の値を用いた. 安静時心拍数レベル ( $HR_{rest}$ ) は消防署 (所) で夜間から深夜の仮眠時間に計られた 20 秒間以上連続して記録された最も低い心拍数と定義した. 最大の心拍数 ( $HR_{max}$ ) は, 220 から消防隊員の年齢を引いて求めた (American College of Sports Medicine, 2005).

### 2-3. MAWD と消防活動の負担比較

災害活動が実施された出動について, 出動指令から災害現場を引揚げるまでの 2 秒毎に算出した %HRR を, 「50%未満 (50%)」, 「50%以上, 60%未満 (50~60%)」, 「60~70%」, 「70~80%」, 「80~90%」及び「90%以上 (90%)」に区分し, それぞれの区分に属する総活動時間を算出した.

MAWD の値は比較のため, 中間値として, 「55%」, 「65%」, 「75%」, 「85%」及び「95%」の値を, Wu *et al.* (2001) の提案した式 [MAWD =  $-2.67 + e^{7.02 - (5.72 \times \%HRR)}$  ; Range MAWD: 0-50 min, Range %HRR: 50-100] から求めて用いた.

### 2-4. 統計値

統計解析は解析ソフト (SPSS for windows 12.0J) を使用して, ピアソンの相関分析と一元配置分散分析を有意水準 5% で実施した. データは平均値 ( $\pm$ 標準誤差 (SEM), range: min~max) で表した.

### 2-5. 倫理的配慮

S市消防局で測定方法が承認された後, 対象者には測定の趣旨を説明し, 何時でも中止できることを伝え, 健康に関するアンケートと同意書を記載してもらった.

本研究は, ヒトを対象とする医学研究の倫理原則であるヘルシンキ宣言に則って行われた.

## 3. 結果

### 3-1. 出動件数と活動時間

消防隊員 71 名の 1 勤務 24 時間における合計出動件数は, 建物火災の出動が 21 件, 建物火災以外の出動が 30 件の合計 51 件であった. 71 名の出動件数分布を Fig.1 に示す. 平均出動件数は, 24 時間当たり 0.72 (SEM:±0.12, range:0~4) 件であった. 出動指令から災害現場を引揚げるまでの活動時間の平均は, 40 分 53 秒 (SEM:±4 分 3 秒, range:10 分 48 秒~1 時間 58 分 28 秒) で, 建物火災の出動と建物火災以外の出動では, 活動時間に有意差は無かった.

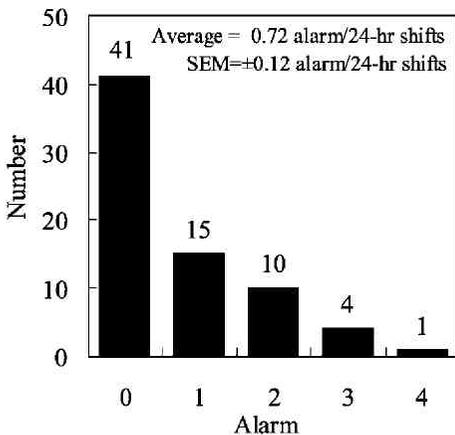


Fig.1. The number of alarms faced by 71 firefighters during 24-hour shifts

### 3-2. 災害出動時の外気温・相対湿度

災害出動時の平均外気温は 1.2 (SEM:±0.5, range:-6.6~10.1) °C, 相対湿度が 71.3 (SEM:±2.1, range:41.0~92.0) %であった.

### 3-3. 出動指令から災害現場到着までの負担

51 出動について, 出動指令から災害現場到着まで (以下, 出動途上とする) の最高心拍数

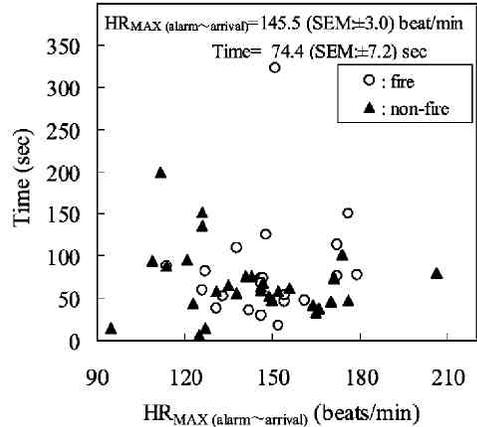


Fig.2. The relationship between a maximum heart rate (HR<sub>MAX</sub>(alarm~arrival)) and duration time of alarm on a way to disaster site (n=51 alarm)

Values are means (±SEM).

(HR<sub>MAX</sub>(alarm~arrival)) と, その心拍数が現れた出動指令からの経過時間を Fig.2 に示す. 最高心拍数の平均は 145.5 (SEM:±3.0, range:95~206) 拍/分で, 150 拍/分以上になった出動が 39.2%あった. その出現までの平均経過時間は 74.4 (SEM:±7.2, range:6~322) 秒で, 96.1%の出動が 180 秒以内に最高の心拍数となっていた. 出動指令から 10 秒以内は, 心拍数の上昇が急激であり, 最高では 2 秒間に 37 拍上昇していたものもいた. また, 建物火災出動とその他の出動では, 最高心拍数とその心拍数が現れた出動指令からの経過時間の何れも有意差は認められなかった.

出動途上の最高心拍数から出動指令直前の心拍数を引いて算出した出動途上における上昇心拍数 (ΔHR) の平均は, 70.0 (SEM:±3.6, range:14~164) 拍/分であった. 24 時間を 6 時間毎に「0 時から 6 時まで (0:00~6:00)」, 「6:00~12:00」, 「12:00~18:00」及び「18:00~24:00」に区分し, 各時間帯の平均ΔHR を比較したものを Fig.3 に示す. それぞれの平均ΔHR は, 時間帯に有意差が認められなかった. また, 最高心拍数の出現までの平均経過時間は, 「0:00~6:00」が 79 (SEM:±8, range:46~136) 秒, 「6:00~12:00」が 76 (SEM:±22, range:14~322) 秒, 「12:00~18:00」が 69 (SEM:±12, range:14~172) 秒及び「18:00~24:00」が 72 (SEM:±7, range:6~200) 秒となっており, 経過時間にも有意差は認められなかった.

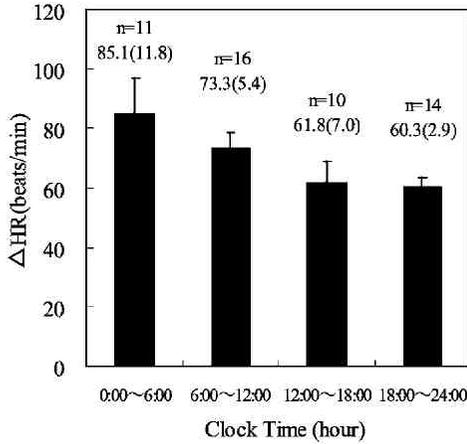


Fig.3. ΔHR on the way to disaster site according to time of the day (n=51 alarm)  
Values are means (+SEM).

$$\Delta HR = [HR_{MAX}(\text{alarm} \sim \text{arrival}) - HR_{\text{just before alarm}}]$$

### 3-4. 現場活動開始から引揚げるまでの負担

51 出動のうち 3 出動は、災害現場に到着する前に、出動の必要がないことが判明し、途中で引揚げたため、以後の検討から除いた。

災害現場に到着した 48 出動について、現場活動開始から引揚げるまで（以下、現場活動とする）の平均最高心拍数は 139.5 (SEM: ± 3.7, range: 91.0~198.0) 拍/分、活動時間が 35 分 36 秒 (SEM: ± 4 分 19 秒, range: 2 分 10 秒~113 分 18 秒) と、災害の内容により結果は様々であった。

48 出動について、現場活動時の最高心拍数 (HR<sub>MAX (firefighting)</sub>) と活動時間の関係を Fig.4 に示す。これら両値には有意 (P<0.01) な正の相関が認められた。同様に、建物火災 20 件について分析した結果、両値には有意 (P<0.01) な正の相関が認められたが、建物火災以外の 28 件については、両値に有意な相関は見られなかった。

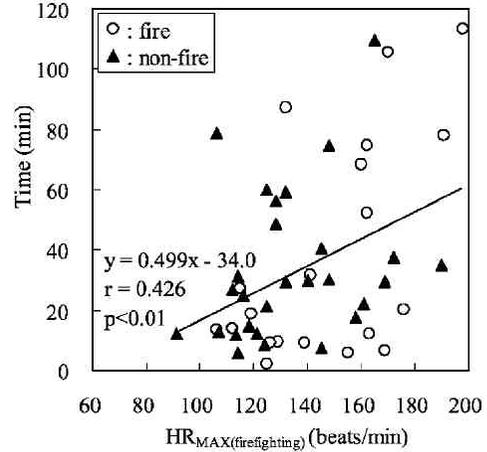


Fig.4. The relationship between maximum heart rate (HR<sub>MAX (firefighting)</sub>) and actual firefighting activity time (n=48 firefighting)

最高心拍数となった平均経過時間は、9 分 8 秒 (SEM: ± 1 分 58 秒, range: 12 秒~65 分 40 秒) であり、15 分以内に最高心拍数となった出動は 83.3% を占めていた。

### 3-5. MAWD と各出動の比較

48 出動について、出動指令から災害現場を引揚げるまでの心拍数から %HRR を算出し、各区分の合計時間を求め MAWD と比較した結果、何れかの区分で MAWD を超えた出動が 4 件見られた。その 4 件と MAWD を Table 2 に示す。

№1 は交通事故により車内に閉じ込められた人の救助活動で、%HRR が「80~90」と「90~」の区分で MAWD を超えたが、活動時間は 38.9 分と短時間であった。№2 は共同住宅でのガス漏れの警戒出動で、ホース延長や 2 階の検知活動を行い、%HRR が「70~80」の区分のみで MAWD を超え、活動時間は 42.9 分と短時間であった。

Table 2. Actual firefighting time according to percentage of heart rate reserve (%HRR)

%HRR	~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~	Total
№1 (non-fire)	5.4 min	8.7 min	5.0 min	5.2 min	9.4 min	5.3 min	38.9 min
№2 (non-fire)	11.8 min	7.4 min	10.4 min	8.9 min	3.6 min	0.8 min	42.9 min
№3 (fire)	0.3 min	14.3 min	23.8 min	17.8 min	14.8 min	10.1 min	81.1 min
№4 (fire)	49.1 min	23.7 min	14.9 min	15.7 min	9.4 min	5.6 min	118.4 min
MAWD	-	33.5 min	17.7 min	8.8 min	3.8 min	1.0 min	-

For MAWD (maximum acceptable work duration), %HRR are 55, 65, 75, 85, 95.

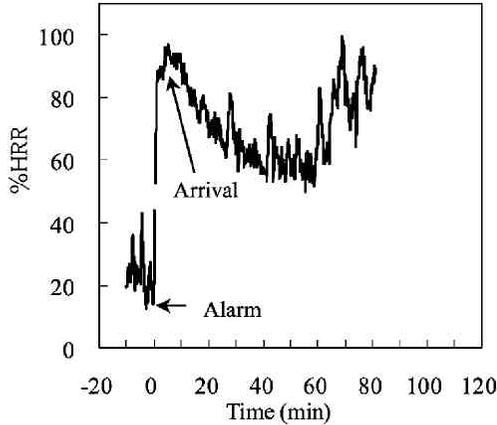


Fig.5. Time course change of the percentage of heart rate reserve (%HRR) No.3

№3 は 5 階の店舗内部を 5 m<sup>2</sup>焼損した死傷者の発生が無い火災である。4 階までホースやノズル等の使用器材を搬送後、5 階へホースを延長し濃煙の中で消火活動を実施しており、%HRR が「60~70」、「70~80」、「80~90」、「90~」の 4 つの区分で MAWD を超えた。%HRR の平均は 72.3% で、活動時間が 81.1 分であった。№4 は住宅が半焼した死傷者の発生がない火災である。ホース延長や濃煙内での消火活動を実施しており、%HRR が「70~80」、「80~90」、「90~」の 3 つの区分で MAWD を超えた。%HRR の平均は 70.2% で、活動時間が 118.4 分であった。

### 3-6. MAWD を超えた火災 2 件の %HRR 変化

出動指令 10 分前から災害現場を引揚げるまでの %HRR の時系列変化を、Fig.5 に№3 の出動、Fig.6 に№4 を示す。№3 は 27 歳の消防隊員経験年数が 3 年の隊員データで、出動時の外気温は 7.7℃、相対湿度が 87% であった。№4 は 28 歳の同経験年数 8 年の隊員データで、出動時の外気温は 1.1℃、相対湿度が 74% であった。

出動指令後、車両への移動・防火服や空気呼吸器の装着・災害現場周辺の地水利確認・無線

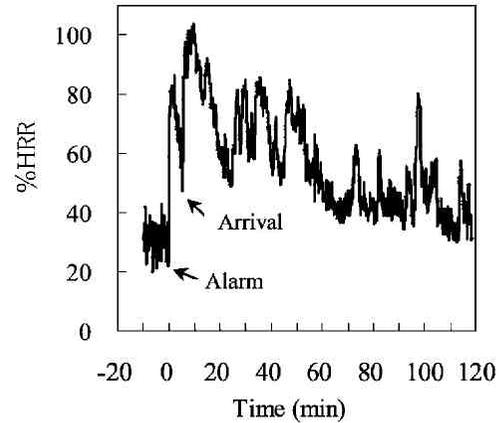


Fig.6. Time course change of the percentage of heart rate reserve (%HRR) No.4

からの災害状況聴取時に、消防隊員の %HRR は急激に上昇した。№3 の火災では、出動途上に最高で 89.5% HRR に達した。火災現場に到着するまでが 3 分 12 秒と短時間であったため、車内での低下がみられず、火災現場に到着した時点でも 85.6% HRR と高値のまま現場活動が開始されている。№4 の火災では、出動途上に最高で 86.0% HRR となったが、火災現場に到着するまでに 5 分 10 秒の時間を要したことから、現場到着時点で 47.3% HRR まで低下している。

何れの火災も現場活動開始直後において 100% HRR に近い値となっており、その後上下に変動しているが、現場を引揚げる際の使用器材撤収時に再び上昇している。

№3 の出動では、出動指令直後に 4 秒間のデータの欠落が認められた。11 出動で出動指令直後にデータの欠落が認められ、その最大時間は 36 秒間に達していたが、このような現象は出動以外の時間帯には認められなかった。

火災現場に到着してからの 30 分間の %HRR を「5 分未満 (~5)」、「5~10」、「10~15」、「15~20」、「20~25」、「25~30」に区分して平均値と標準

Table 3. Percentage of heart rate reserve (%HRR) after arrival at the disaster site every 5 minutes

Time (min)	~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
№3	92.6 (0.2)	87.8 (0.4)	77.9 (0.3)	71.7 (0.3)	69.5 (0.5)	66.1 (0.4)
№4	93.7 (0.8)	86.7 (0.4)	72.7 (0.7)	56.2 (0.4)	73.4 (0.6)	69.3 (0.7)

Values are means of %HRR ( $\pm$ SEM). No.3 and No.4 are same as in Table2.

誤差を算出し、その結果を Table 3 に示す。「～5」は№3 が 92.6%HRR, №4 では 93.7%HRR と何れも 90%HRR を超えていた。また、「10～15」でも、№3 が 77.9%HRR, №4 で 72.7%HRR と 70% HRR を超えており、火災現場に到着後 15 分間の身体負担が大きかった。

#### 4. 考察

災害現場での過労・ストレスによる消防隊員の死傷者を減少させることを目的に、本研究では、寒冷環境下における消防活動が隊員に及ぼす身体負担を経時的に分析し、隊員の休憩・交替の必要性について検討した。

Barnard *et al.* (1975) や Kuorinka *et al.* (1981) の報告同様に、寒冷環境下における消防活動中の隊員の心拍数変化は、主に出勤指令直後と災害活動開始直後に急激な心拍数の上昇が見られる傾向があった。人命救助を伴わない小規模火災 2 件で MAWD を大きく超え、その活動時間は 81.1 分と 118.4 分であった。また、火災以外では、人命救助を伴った救助出勤やガス漏れ警戒出勤の 2 件で MAWD を超えたが、その活動時間は 38.9 分と 42.9 分と短時間であった。暑熱環境下の消防活動は深部体温の上昇を抑制するために休憩・交替の必要性が示されているが、寒冷環境下における小規模火災についても心拍数変動から隊員に休憩・交替を与える必要のあることが示された。この結果は、寒冷環境による負担よりも激変する消防活動の影響がより大きいと考えられた。

本研究における消防隊員 1 勤務 (24 時間) の出勤件数は、0.72 (SEM:±0.12, range:0～4) 件/24h で、出勤による疲労の蓄積は高くはないと推察される。

American Industrial Hygiene Association (1971) は 150 拍/分以上を Very Heavy Work としている。消防隊員の出勤途上における平均最高心拍数は 145.5 (SEM:±3.0, range:95～206) 拍/分であるが、出勤の 39.2%が 150 拍/分以上の出勤であり、建物火災出勤と建物火災以外の出勤で有意差は認められなかった。この負担は、出勤指令直後の消防隊員が、瞬時の覚醒、災害状況の把握、防火服の迅速な着装、寒冷への曝露などのため過

度に交感神経を亢進させて (Barnard *et al.*, 1975) いる影響と推察される。出勤直前に対する出勤途上の心拍数上昇値 ( $\Delta$ HR) は、出勤時間帯間に有意差は認められなかった。しかし、仮眠中の心拍数レベル低下により、「0:00～6:00」の仮眠時間帯は平均 $\Delta$ HR が 85.1 (SEM:±11.8) 拍/分、他の時間帯に比べて高値の傾向があった。

出勤指令後 1 分以内に 11 出勤でデータの欠落が見られたが、他の時間には認められなかった。この異常は、Barnard *et al.* (1975) や Kuorinka *et al.* (1981) が報告しているが、急激な心拍数上昇により ECG レコーダーが対応しきれなかったことが原因と考えられる。消防隊員の出勤は、ウォーミングアップなしの激しい運動であり、急性心筋梗塞を引き起こす (Kay *et al.*, 2000) 要因にもなる。

現場活動時の最大心拍数と活動時間には正の有意な ( $P<0.01$ ) 相関が認められ (Fig.4), 活動開始から 15 分以内に心拍数が最も上昇した出勤が 83.3%を占めていたことから、活動初期の負担が大きい災害ほど長時間活動の傾向が見られた。災害状況の把握、活動方針決定にかかわる極度の交感神経の亢進及び瞬時の活動が活動初期の大きな負担要因と考えられる。また、建物火災以外の出勤では、関係者への説明や引継ぎなどの事後処理時間が影響して、現場活動時の最大心拍数と活動時間に正の有意な相関がなかったものと推察される。

Wu *et al.* (2001) が提案した MAWD で評価した休憩が必要な消防活動は、71 勤務中に火災 2 件と非火災 2 件と頻度は高くはなかった。しかし、寒冷環境下においては、人命救助を伴わない小規模火災でも MAWD を大きく超えていた。この火災 2 件の身体負担は、現場活動の平均が 72.3%HRR 並びに 70.2%HRR であったが、活動初期 5 分間は何れも 90%HRR を超えていた。この結果は、消防活動において隊員の心拍数を測定した Barnard *et al.* (1975) の報告と同様であったが、Sothmann *et al.* (1992) や Bos *et al.* (2004) より高値であった。本研究の限界は、消防活動の負担が災害の状況、隊員の経験・体力、活動環境 (Pandolf *et al.*, 1975) により変化することである。消防隊員は、極度な交感神経の亢進と迅速な活動のため活動初期で疲労する。対策とし

て、早期に空気呼吸器を離脱し負担を軽くしているが、その影響として、心筋梗塞の要因にもなる有毒ガスの煙 (Peters *et al.*, 2001) を吸引している。また、時間の経過に伴い火勢が制圧され活動負担は低下することから、「体力の限界」に否定的な消防隊員は休憩を取らずに、疲労状態で残火処理活動を継続している。残火処理活動は、疲労と寒さによる活動能力と注意力が低下 (澤田, 1998) した危険な状態での活動である。

作業環境は作業負担に影響を与える要素であることから、本研究は建物火災が最も多く発生する12月 (消防庁, 2006) の活動環境として寒冷環境下で測定を行った。消防活動の負担は災害の状況や隊員の経験・体力により変化し、比較可能な先行研究が見出せないことから、本研究では寒冷環境特有の負担増を把握することは出来なかった。出勤時の平均気温は、1.2 (SEM:  $\pm 0.5$ , range: -6.6~10.1)  $^{\circ}\text{C}$ であった。寒冷環境下の影響として、車庫での防火服装着時や現場到着直後の寒冷曝露による代謝量の増加 (Hattenhaur *et al.*, 1975), 濡れた衣類で実施する残火処理活動時の熱産生の増加 (McArdle *et al.*, 2000; 前田ら, 2006) が考えられる。しかし、寒冷環境下における小規模火災の隊員負担は、Barnard *et al.* (1975) の報告と同様に出勤指令直後や災害活動開始直後に急増しており、寒冷環境下特有の負担が消防活動の負担の大きな要因とは考えにくい。また、残火処理活動における寒さによる代謝増加も消防活動の激変と比較してより大きい負担とは考えにくい。本研究結果は、寒冷環境特有の負担とは考えられず、消防活動の負担による影響が大きいと思われた。

住宅の半焼火災では、出勤から火勢が制圧されるまでの平均時間が36分、残火処理活動が終了するまでの平均時間が88分 (札幌市消防局, 2006) となっている。消防活動においては初期で過労となっており、一般的に中期から後期の残火処理活動は緊急性に乏しい活動である。

従って、小規模火災であっても過労・ストレスによる隊員の死傷事故防止、心疾病の防止、筋疲労による活動能力や注意力の低下抑制のため、火勢制圧後、隊員に休憩・交替を与える必要がある。

## 5. まとめ

消防隊員が災害現場に到着するまでの最高心拍数の平均は145.5拍/分であり、短時間に急激に心拍数が上昇していた。消防活動の最大心拍数と活動時間には正の有意な ( $P < 0.01$ ) 相関が認められた。小規模火災2件でMAWDを大きく超えており、これらの活動開始5分間の負担は平均で92.6並びに93.6%HRR、活動全体の平均でも72.3と70.2%HRRと高かった。

消防活動における消防隊員の死傷事故を減少させるためには、小規模火災でも、火勢制圧後、隊員に休憩・交替を与え、過労・ストレスを軽減させる必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究に協力していただいた消防隊員の方々へ感謝する。また、本研究は平成15年から平成17年度の消防防災科学技術研究推進制度に採択委託された。

## 引用文献

- American College of Sports Medicine (2005): 運動処方への指針。日本体力医学会体力科学編集委員会 (監訳), 南江堂, 東京, 16-316.
- American Industrial Hygiene Association (1971): Ergonomics guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. *A. I. H. A.*, 32: 560-564.
- Baker, S. J., Grice, J., Roby, L. and Matthews, C. (2000): Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics*, 43: 1350-8.
- Barnard, R. J. and Duncan, H. W. (1975): Heart rate and ECG responses of fire fighters. *J. Occup. Med.*, 17: 247-50.
- Bos, J., Mol, E., Visser, B. and Frings-Dresen, M. (2004): The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics*, 47: 446-60.
- Burgess, J. L., Fierro, M. A., Lantz, R. C., Hysong, T. A., Fleming, J. E., Gerkin, R., Hnizdo, E., Conley, S. M. and Klimecki, W. (2004): Longitudinal decline in lung function: evaluation of interleukin -10 genetic

- polymorphisms in firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 46: 1013-22.
- Cady, L. D., Thomas, P. C. and Karwasky, R. J. (1985): Program for increasing health and physical fitness of fire fighters. *J. Occup. Med.*, 27: 110-4.
- Carter, J. B., Banister, E. W. and Morrison, J. B. (1999): Effectiveness of rest pauses and cooling in alleviation of heat stress during simulated fire-fighting activity. *Ergonomics*, 42: 299-313.
- Choi, B. C. (2000): A technique to re-assess epidemiologic evidence in light of the healthy worker effect: the case of firefighting and heart disease. *J. Occup. Environ. Med.*, 42: 1021-34.
- Dickinson, E. (2003): Ready for more; Rehab refuels & recharges battle-worn firefighters. *FireRescue Magazine*, February.
- Duncan, H. W., Gardner, G. W. and Barnard, R. J. (1979): Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat. *Ergonomics*, 22: 521-7.
- Eglin, C. M., Coles, S. and Tipton, M. J. (2004): Physiological responses of fire-fighter instructors during training exercises. *Ergonomics*, 47: 483-94.
- Faff, J. and Tutak, T. (1989): Physiological responses to working with fire fighting equipment in the heat in relation to subjective fatigue. *Ergonomics*, 32: 629-38.
- Fahy, R. F. (2005): U. S. firefighter fatalities due to sudden cardiac death, 1995 - 2004. *National Fire protection Association*.
- Golden, A. L., Markowitz, S. B. and Landrigan, P. J. (1995): The risk of cancer in firefighters. *Occup. Med.*, 10: 803-20.
- 橋本好弘, 森谷繁, 大塚吉則 (2007): 消防隊員の局所寒冷血管反応(CIVD)で評価した寒冷耐性と身体組成の関連. 日本生気象学会雑誌, 44: 81-87.
- Hattenhaur, M. and Neill, W. A. (1975): The Effect of Cold Air Inhalation on Angina Pectoris and Myocardial Oxygen Supply. *Circulation*, 51: 1053-1058.
- Holmér, I. Kuklane, K. and Gao, C. (2006): Test of firefighter's turnout gear in hot and humid air exposure. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, 12: 297-305.
- 伊藤昌夫, 正木豊, 小原郎敬 (1998): 消防活動の身体負担に関する研究. 東京消防庁消防科学研究所報, 東京, 35: 110-116.
- Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christophi, C. A. and Christiani, D. C. (2007): Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States. *N. Engl. J. Med.*, 356: 1207-15.
- Karvonen, M. J., Kentala, E. and Mustala, O. (1957): The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.*, 35: 307-15.
- Karter, M. J. and Molis, J. L. (2005): Firefighter Injuries for 2004. *National Fire protection Association Journal*, 99: 50-58.
- Kay, P., Kittelson, J. and Stewart, R. A. (2000): Relation between duration and intensity of first exercise and "warm up" in ischaemic heart disease. *Heart*, 83: 17-21.
- 気象庁: 統計情報. <http://www.data.kishou.go.jp>
- Kitchiner, N. J. (2004): Psychological treatment of three urban fire fighters with post-traumatic stress disorder using eye movement desensitisation reprocessing (EMDR) therapy. *Complement. Ther. Nurs. Midwifery*, 10: 186-93.
- Kuorinka, I. and Korhonen, O. (1981): Firefighters' reaction to alarm, an ECG and heart rate study. *J. Occup. Med.*, 23: 762-6.
- Kurumatani, N., Yamaguchi, B., Dejima, M., Enomoto, Y. and Moriyama, T. (1992): Aerobic capacity of forestry workers and physical demands of forestry operations. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 64: 546-51.
- Lemasters, G. K., Genaidy, A. M., Succop, P., Deddens, J., Sobeih, T., Barriera-Viruet, H., Dunning, K. and Lockey, J. (2006): Cancer risk among firefighters: a review and meta-analysis of 32 studies. *J. Occup. Environ. Med.*, 48: 1189-202.
- Lusa, S., Louhevaara, V., Smolander, J., Kivimäki, M. and Korhonen, O. (1993): Physiological responses of firefighting students during simulated smoke-diving in the heat. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 54: 228-31.
- 前田亜紀子, 山崎和彦, 野尻佳代子, 栢原裕 (2006): 濡れた衣服の体温調節反応への影響. 日本生気象学会雑誌, 43:103-112.
- Malley, K. S., Goldstein, A. M., Aldrich, T. K., Kelly, K. J., Weiden, M., Coplan, N., Karwa, M. L. and Prezant, D. J. (1999): Effects of fire fighting uniform (modern, modified modern, and traditional) design changes on exercise duration in New York City Firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 41: 1104-15.

- 町田広重, 伊藤昌夫, 正木豊, 山田羊一, 小原郎敬 (2000): 消防活動における熱中症予防対策. 東京消防庁消防科学研究所報, 37: 110-120.
- McArdle, W. D., Katch F. I. and Katch, V. L. (2000): 運動生理学. 田口貞善, 矢部京之助, 宮村実晴, 福永哲夫 (監訳), 杏林書院, 東京, 460-463.
- McLellan, T. M. and Selkirk, G. A. (2006): The management of heat stress for the firefighter: a review of work conducted on behalf of the Toronto Fire Service. *Ind. Health*, 44: 414-26.
- Melius, J. (2001): Occupational health for firefighters. *Occup. Med.*, 16: 101-8.
- Mustajbegovic, J., Zuskin, E., Schachter, E. N., Kern, J., Vrcic-Keglevic, M., Heimer, S., Vitale, K. and Nada, T. (2001): Respiratory function in active firefighters. *Am. J. Ind. Med.*, 40: 55-62.
- National Fire Protection Association (2002): NFPA1500, Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program.
- 野尻忠弘, 丸山勝幸 (1984): 熱環境下における個人装備重量と消防隊員の生理変化について. 東京消防庁消防科学研究所報, 21: 125-132.
- Pal, A. K. and Sinha, D. K. (1994): The energy cost of metalliferous mining operations in relation to the aerobic capacity of Indian miners. *Ergonomics*, 37: 1047-54.
- Pandolf, K. B., Cafarelli, E., Noble, B. J. and Metz, K. F. (1975): Hyperthermia: effect on exercise prescription. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 56: 524-6.
- Peate, W. F., Lundergan, L. and Johnson, J. J. (2002): Fitness self-perception and VO<sub>2</sub>max in firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 44: 546-50.
- Peters, A., Dockery, D. W., Muller, J. E. and Mittleman, M. A. (2001): Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation*, 103: 2810-5.
- Prezant, D. J., Freeman, K., Kelly, K. J., Malley, K. S., Karwa, M. L., McLaughlin, M. T., Hirschhorn, R. and Brown, A. (2000): Impact of a design modification in modern firefighting uniforms on burn prevention outcomes in New York City firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 42: 827-34.
- Romet, T. T. and Frim, J. (1987): Physiological responses to fire fighting activities. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 56: 633-8.
- Rosenstock, L. and Olsen, J. (2007): Firefighting and death from cardiovascular causes. *N. Engl. J. Med.*, 356: 1261-3.
- Rossi, R. (2003): Fire fighting and its influence on the body. *Ergonomics*, 46: 1017-33.
- 札幌市消防局 (2006): 消防職員の勤務時における身体負荷に関する研究成果報告書. 札幌市消防局, 札幌, pp. 97-98.
- 澤田晋一 (1998): 寒冷の人体影響と作業管理. *労働衛生*, 39: 25-27.
- Schaitberger, H. A. (2001): 2000 Death and Injury Survey. *International Association of Fire Fighter*.
- Selkirk, G. A., McLellan, T. M. and Wong, J. (2004): Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 1: 521-31.
- Sköldström, B. (1987): Physiological responses of fire fighters to workload and thermal stress. *Ergonomics*, 30: 1589-97.
- Smith, D.L., Petruzzello, S.J., Kramer, J.M. and Misner, J.E. (1997): The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill. *Ergonomics*, 40: 500-10.
- Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Chludzinski, M. A., Reed, J. J. and Woods, J. A. (2001): Effect of strenuous live-fire fire fighting drills on hematological, blood chemistry and psychological measures. *J. Thermal Biology*, 26: 375-379.
- Sothmann, M. S., Saupe, K., Jasenof, D. and Blaney, J. (1992): Heart rate response of firefighters to actual emergencies. Implications for cardiorespiratory fitness. *J. Occup. Med.*, 34: 797-800.
- 消防庁 (2006): 消防白書. ぎょうせい, 東京, 平成 18 年度版, pp. 40-61.
- Takeyama, H., Itani, T., Tachi, N., Sakamura, O., Murata, K., Inoue, T., Takanishi, T., Suzumura, H. and Niwa, S. (2005): Effects of shift schedules on fatigue and physiological functions among firefighters during night duty. *Ergonomics*, 93: 1-11.
- Wagner, D., Heinrichs, M. and Ehler, U. (1998): Prevalence of symptoms of posttraumatic stress disorder in German professional firefighters. *Am. J. Psychiatry*, 155: 1727-32.
- Weaver, V. M. and Arndt, S. D. (1995): Communicable disease and firefighters. *Occup. Med.*, 10: 747-62.

- Wu, H. C. and Wang, M. J. (2001): Determining the maximum acceptable work duration for high-intensity work. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 85: 339-44.
- Wu, H. C. and Wang, M. J. (2002): Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*, 45: 280-9.

---

\*Corresponding Author: Yoshihiro HASHIMOTO,  
Sapporo Fire Bureau, shinkawa 4-16,kita-ku,sapporo, 001-0926, Japan  
E-mail: yoshihiro.hashimoto@city.sapporo.jp  
別刷請求先：〒001-0926 札幌市北区新川 6 条 14 丁目  
6-1 橋本好弘