

## 消防活動の身体的負担に関する研究

## Study on the Physical Load in Firefighters During Operation

伊藤 昌夫\*  
正木 豊\*  
小原 朗敬\*

## 概 要

本研究は、消防活動の省力化を図るため、消防活動の身体的負担を数値的に評価することを目的とし、警防隊員169名を対象に、火災出場時の服装に携帯用呼気ガス分析装置を装着させ、モデル火災での消防活動における呼気ガス分析を行うとともに、被験者の体力測定も行った。

この実験の主な結果については、次のとおりである。

- 1 一定のペースで一定時間行う消防活動における総消費エネルギーは、年齢や体力レベルに関わらず、大きな差は生じない。
- 2 加齢に伴い、発揮できる最大エネルギーは低下し、必要とされるエネルギーが同じでも、相対的に身体的負担は大きくなる。
- 3 消防活動の身体的負担の度合いは、活動後の負債エネルギー量により、適確にとらえることができる。

This study at assessing numerically the physical load of firefighters during operation, in order to attain laborsaving and efficiently of firefighting. In this test 169 firefighters wore the some portable metabolic tester. We analyzed their expiration while they act in a simulated fire, and later examined their physical strength. ths in three places.

The following are the main results of this test.

- 1 The total amount of energy consumption in simulated firefighting did not vary according to each person's age or physical strenght.
- 2 As a participant is older, the maximum amount of energy consumption (the toughness of a job a person can withstand) decreases, and accordingly the physical load in firefighting increases.
- 3 The physical load in firefighting can be assessed numerically in the form of debt energy left in a firefighter after the operation.

## 1 目 的

当研究室では、職員の高年齢化対策の一環として、職員の体力維持向上策や、消防活動と体力負担の軽減方策などについて総合的に研究を進めている。

今回の実験は、火災出場時の服装に携帯用の呼気ガス分析器（テレメトリー式呼吸代謝計測装置 K 4 システム：コスメデ社製）を装着した警防隊員<sup>※</sup>に基本的な消防作業を行わせ、その時の酸素摂取量等を測定し、その警防隊員の身体的負担（以下「負担」という）について研究したものである。

## 2 日 時

平成9年6月17日（火）～11月28日（金）

## 3 場 所

第三消防方面訓練場及び各消防署

## 4 被験者

第三・四消防方面管内の12消防署のポンプ隊員 169人を被験者として実施した。被験者の任務別内訳は、表 1 のとおりである。

\* 第四研究室

表1 被験者の任務別内訳

|      | 隊長    | 隊員    | 機関員   | 全体    |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 平均年齢 | 49.2歳 | 37.1歳 | 35.3歳 | 38.5歳 |
| 人数   | 25人   | 110人  | 34人   | 169人  |

5 実験内容

消防活動負担測定実験（以下「活動実験」という）は、以下のとおり実施した。

- (1) 被験者の服装は、出火出場時の服装に東消5型空気呼吸器を着装し、さらに携帯用呼気ガス分析器の送信機（全装備重量：約20kg）を装着した。
- (2) 想定火災活動は、平成8年度の消防活動の実態調査から、最先到着隊の隊員の活動内容を分析し、出現頻度の高い行動と、その平均した時間を組み合わせた。被験者の活動内容は、表2に示したとおりである。
- (3) 年齢や体力等の個人差を比較するため、運動量を同一にする必要があり、このため被験者に対し、ペースメーカーとして先導者を同行させた。なお、先導者は、メトロノーム音に合わせて移動することにより、被験者には、各作業を同じペースで行わせた。
- (4) 活動実験の運動強度は、被験者全員が実験終了まで実施出来ることを前提に、平成7年に実施した当室の実験結果<sup>2)</sup>を基準に定めた。

表2 被験者の活動内容

|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| 【消防活動前半（動的活動6分間）】 |                                     |
| ① ホースカーえい行        | （60mえい行：ホースカー重量約240kg）              |
| ② 資器材搬送1回目        | （F、Gと連結送水管セットを訓練場の5階まで搬送：合計重量約10kg） |
| ③ 検 索             | （中腰姿勢で1分間実施）                        |
| ④ 資器材搬送2回目        | （発動発電機を訓練場5階まで搬送：重量約9kg）            |
| 【消防活動後半（静的活動5分間）】 |                                     |
| ⑤ 放 水             | （立位で5分間：ノズル圧力300kpa）                |

※ 活動実験状況は、別添えの実験状況写真を参照

- (5) 被験者の身体能力特性を把握するため、被験者全員に体力測定を実施した。体力測定種目は、表3のとおりである。

表3 体力測定種目の内容

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| ① 腕立伏せ   | （毎分30回ペース）                  |
| ② 上体起こし  | （毎分30回ペース）                  |
| ③ 両脚半屈伸  | （30kgのバーベルを背負い、毎分60回ペース）    |
| ④ 踏台昇降運動 | （高さ40cmの踏み台を毎分27回のペースで、5分間） |
| ⑤ 懸 垂    | （肘を伸ばし、任意のペース）              |
| ⑥ 垂直跳    | （最大努力で垂直に跳び上がる）             |
| ⑦ 立位体前屈  | （膝を曲げずに上体を前屈する）             |

6 測定結果と考察

- (1) 警防隊員の体力

ア 身体特性

被験者の身体特性は表4のとおりである。

表4 被験者の身体特性

|      | 年齢   | 身長               | 体重             | 体脂肪率 | BMI値 | 測定人数 |
|------|------|------------------|----------------|------|------|------|
| 全 体  | 38.5 | 169.7<br>(167.8) | 67.7<br>(64.3) | 19.3 | 23.5 | 168  |
| 20歳代 | 24.4 | 169.5<br>(170.8) | 65.5<br>(64.4) | 18.9 | 22.7 | 42   |
| 30歳代 | 34.0 | 172.1<br>(168.8) | 70.7<br>(65.5) | 20.1 | 24.0 | 47   |
| 40歳代 | 44.7 | 169.9<br>(166.7) | 67.9<br>(64.5) | 19.3 | 23.6 | 45   |
| 50歳代 | 53.8 | 166.3<br>(164.6) | 65.8<br>(62.8) | 18.5 | 23.9 | 34   |

※（ ）内の数値は都立大学研究室資料による国民の平均身長と平均体重

- (ア) 被験者の身長・体重では、20才代は国民の平均にはほぼ一致しているが、30才代以上の被験者は、身長・体重とも国民の平均をかなり上回っている。
- (イ) 被験者の体脂肪・BMIは、体重と相関が高く体重が重い者ほど体脂肪量が多く、「太っている」傾向がみられる。

## イ 体力測定結果

被験者の体力測定結果の平均値は表5に示したとおりであり、この体力測定結果に対応している国民の体力測定結果の平均値<sup>※</sup>は（ ）内に示したとおりである。

表5 被験者の体力測定結果

|      | 踏台昇<br>降運動 | 腕立<br>伏せ       | 上 体<br>起こし | 両 脚<br>半屈伸 | 懸垂            | 垂直<br>跳び       | 立位体<br>前 屈     | 測定<br>人数 |
|------|------------|----------------|------------|------------|---------------|----------------|----------------|----------|
| 全 体  | 155.9      | 36.8<br>(17.3) | 42.2       | 73.0       | 6.7<br>(7.0)  | 52.6<br>(48.4) | 9.6<br>(9.7)   | 150      |
| 20歳代 | 151.0      | 46.5<br>(23.9) | 61.2       | 94.5       | 10.7<br>(9.6) | 58.4<br>(58.4) | 10.3<br>(13.2) | 41       |
| 30歳代 | 157.8      | 35.3<br>(17.9) | 38.7       | 74.5       | 6.6<br>(7.9)  | 54.6<br>(52.1) | 9.5<br>(10.4)  | 45       |
| 40歳代 | 158.0      | 32.6<br>(14.9) | 34.7       | 58.7       | 4.1<br>(6.1)  | 49.8<br>(46.2) | 8.0<br>(8.4)   | 38       |
| 50歳代 | 157.0      | 30.4<br>(12.8) | 29.5       | 57.5       | 4.7<br>(4.5)  | 43.8<br>(36.9) | 10.9<br>(6.7)  | 26       |

※（ ）内の数値は都立大学体育研究室資料による国民の体力測定結果

被験者の体力測定結果と国民の体力測定結果を比較すると、被験者（警防隊員）の方が各測定種目において、全般的に上回っている。また、各種目では以下のとおりである。

- (ア) 腕立伏せは、各年代において、全て大幅に上回っている。
- (イ) 懸垂は、20歳代と50歳代が上回っている。
- (ウ) 立位体前屈は、50歳代以外が下回っている。
- (エ) 垂直跳びは、全般的に上回っているが、特に40歳と50歳代が大幅に上回っている。

なお、測定方法の対応しない上体起こし・両脚半屈伸（筋持久力）についてみても、国民の筋持久力平均の低下率<sup>※</sup>（20歳代を100%）に比べ、被験者は、加齢による筋持久力の低下率が低い傾向がみられる。

## ウ 警防隊員の体力

今回の実験における被験者は、消防活動現場に従事している隊員であり、国民の平均の体力と比較すると、全体的に優れていると言える。特に40歳代と50歳代では、この傾向が顕著である。

しかし、消防活動は、年齢に関係なくきつい作業を行うことから、消防隊員としての体力の維持向上は、必要不可欠であるといえる。

## 2 消防活動実験結果

### ア 測定結果

- (ア) 作業別にみた心拍数及び酸素摂取量

5種類の消防作業時の心拍数や酸素摂取量をみる

と表6の通りであり、心拍数は、ホースカーえい行から急激に増加し、2回目の資器材搬送時にピークとなる被験者がほとんどである。しかし、資器材搬送時の酸素摂取量は、1・2回目ともほとんど変わらず、心拍数が酸素摂取量に追随していないことから酸素負債状態にあり、このことから、2回目の資器材搬送作業は、負担が、かなり大きいことが考えられる。

表6 作業別の心拍数と酸素摂取量

| 消防作業内容     | 心拍数     | 酸素摂取量      |
|------------|---------|------------|
| ① ホースカーえい行 | 140拍/毎分 | 24.8ml/min |
| ② 資器材搬送1回目 | 153拍/毎分 | 25.5ml/min |
| ③ 検 索      | 146拍/毎分 | 20.8ml/min |
| ④ 資器材搬送2回目 | 160拍/毎分 | 25.4ml/min |
| ⑤ 放 水      | 127拍/毎分 | 8.9ml/min  |

- (イ) 活動実験における最高心拍数と最高酸素摂取量

被験者が、活動実験時における最高心拍数と最高酸素摂取量が出現した消防作業をみると、表7に示したとおりである。

最高心拍数が最も多く出現した作業は、資器材搬送2回目、次いで同1回目の順となっている。

一方、最高酸素摂取量で最も多く出現した作業は、資器材搬送1回目、次いで同2回目、ホースカーえい行の順となっている。

これらのことから、一般的な消防作業では、資器材搬送とホースカーえい行の負担が警防隊員にとってかなり大きいといえる。

表7 消防作業時の最高心拍数と最高酸素摂取量出現者人数

| 消防作業内容     | 心拍数  | 酸素摂取量 |
|------------|------|-------|
| ① ホースカーえい行 | 0人   | 40人   |
| ② 資器材搬送1回目 | 13人  | 53人   |
| ③ 検 索      | 1人   | 0人    |
| ④ 資器材搬送2回目 | 125人 | 46人   |
| ⑤ 放 水      | 0人   | 0人    |

(ウ) 年代別の心拍数と酸素摂取量

一般に最高心拍数の推定方法<sup>※4</sup>は、〔220-年齢〕といわれているが、同じ心拍数を示しても、年齢により身体に及ぼす影響は異なっているといえる。

最も厳しい負担と考えられる、2回目の資器材搬送時の平均心拍数や平均酸素摂取量<sup>※5</sup>で年代別にみると、表8のとおりである。心拍数は、各年代ともほとんど差はみられない。一方、酸素摂取量は、加齢に伴い徐々に少なくなり、50歳代は最も少なくなっている。このことは、加齢にともない活動に必要なエネルギーに対し、酸素の摂取能力が低下（十分なエネルギー確保ができない）し負担が大きくなることを示しており、加齢に伴い特に心肺機能（持久力）の維持・向上が重要であることがいえる。

表8 年代別の心拍数と酸素摂取量

|      | 心拍数     | 酸素摂取量      |
|------|---------|------------|
| 20歳代 | 160拍/毎分 | 27.2ml/min |
| 30歳代 | 160拍/毎分 | 25.2ml/min |
| 40歳代 | 161拍/毎分 | 25.1ml/min |
| 50歳代 | 158拍/毎分 | 23.8ml/min |

(エ) 活動実験時の気温の影響

活動実験は、夏期を除く6月中旬から11月の下旬まで実施した。この間の外気温は表9のとおりであり、14度から34度に達してしたが、ほとんどの作業は、室内で測定したため、防火外とうの蓄熱作用により、気温が負担を顕著に増加させる状況はみられないと考えられる。

表9 活動実験時の気温

|          | 心拍数     | 酸素摂取量      |
|----------|---------|------------|
| 温度10~15度 | 157拍/毎分 | 21.4ml/min |
| 温度15~20度 | 150拍/毎分 | 24.3ml/min |
| 温度20~25度 | 161拍/毎分 | 25.1ml/min |
| 温度25~30度 | 160拍/毎分 | 25.6ml/min |
| 温度30度以上  | 161拍/毎分 | 26.4ml/min |

(オ) エネルギー消費量と心拍数

活動実験のエネルギー消費量と心拍数の測定結果から、負担の違いが顕著に表れている被験者は、別図1・別図2に示したとおりである。

別図1の被験者は、20歳代で体力的に優れている者であり、別図2の被験者は、40歳代で体力的に劣っている者である。

この二つの図から、体力的に優れている者は、エネルギー消費量と心拍数の関係は、追従関係にあるが、体力的に劣っている者は、追従関係が悪い傾向がみられる。このことは、同一作業を行っているにもかかわらず、負担の大きさの違いを顕著に表しているといえる。

本来、同一の作業を行った時のエネルギー消費量は、年齢・体力に関係なくほぼ一律の値を示すが、同一時間内の作業でのエネルギー消費量は、酸素摂取能力に限界があることから関連して限界があり、このエネルギー消費量の限界値は、加齢に伴い低くなることから、活動実験時の負担は、一律とはいえない。

そこで、最大エネルギー消費量を<sup>※5</sup>100%と考えた場合、本実験でのエネルギー代謝量（11分間の平均）は、図1に示した通りであり、20歳代と比較して中・高年齢層では、負担が大きくなっていることが理解される。

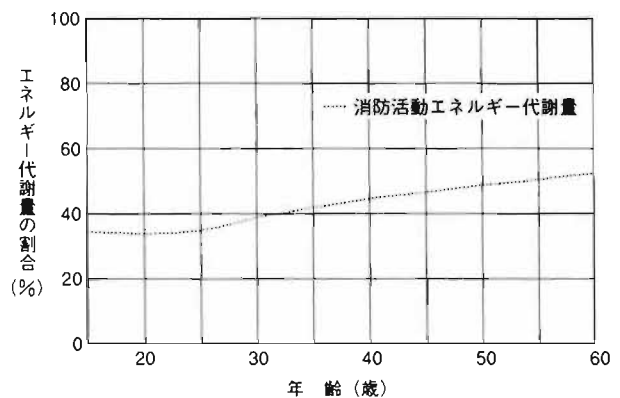


図1 最大エネルギー代謝量の割合と年齢の関係

(カ) 活動実験測定時間とエネルギー消費量

活動実験全行程11分間、動的活動を行った前半6分間、静的活動を行った後半5分間のエネルギー消費量は、図2のとおりである。

年齢を、平均的な体力を示す指標と考え、前(オ)で述べたとおり、同一の作業を行った時のエネルギー消費量は、年齢・体力に関係なくほぼ一律の値を示していることが図2から理解できる。

つぎに、6分間の動的活動と5分間の静的活動の

エネルギー消費量を比べると、ホースカーエイ行や資器材搬送などの動的活動のエネルギー消費量と年齢の関係は、年齢が高くなるに伴い、エネルギー消費量は、減少する傾向がみられ、放水時の静的活動のエネルギー消費量は、年齢が高くなるに伴い増加する傾向がみられる。

これらのことから、前半の動的活動から後半の静的活動に移行した分のエネルギー消費量が、活動の負担（負債）を表しているといえる。

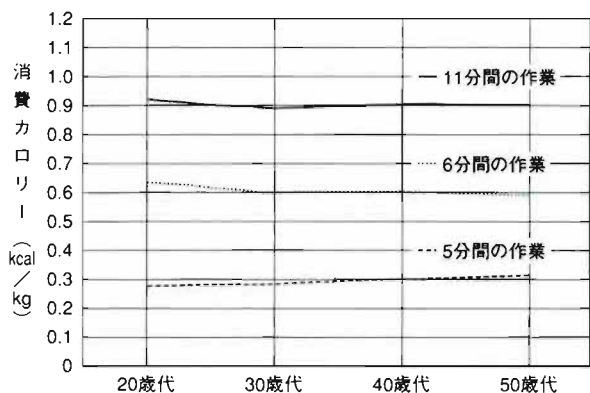


図2 活動実験のエネルギー消費量と年齢の関係

#### イ 負担の評価方法の検討

負担を数値的に評価するには、今回の実験結果から次の方法が考えられる。

#### (7) 主観的運動強度 (RPE) <sup>文献6,9</sup>

今回の実験では、測定中に主観的運動強度を各作業終了時に聴きとり、この時の感覚を数値化したものを合計し、平均することにより、活動での「きつさ感」を測定した。その結果は、表10のとおりである。

表10 各作業時主観的運動強度の平均値

|      | RPE (平均値) | 測定人数 |
|------|-----------|------|
| 全体   | 12.8      | 127  |
| 20歳代 | 11.9      | 30   |
| 30歳代 | 12.7      | 37   |
| 40歳代 | 13.2      | 34   |
| 50歳代 | 13.7      | 26   |

主観的運動強度は、個人の「きつさ感」における度合いの違いや、感覚の数値の幅が小さいことから、主観的運動強度だけで負担を数値的に評価するのは困難である。

#### (イ) エネルギー消費量

実験データのエネルギー消費量が、最大エネルギー消費量に対し、どれだけ消費の割合であるかをみる方法であり、負担を数値的に評価するには非常に理解し易と言える。

しかし、この方法は、最大エネルギー消費量を個々に測定することが困難なことから、推定値を用いるため、個人として評価することができない可能性がある。

#### (ウ) エネルギー負債量と回復時間

同一強度による運動のエネルギー負債は、動的活動から静的活動に移行した後の、定常状態になるまでのエネルギー消費量の合計を測定する方法であり、個人として評価することが可能である。また、この時のエネルギー負債における回復時間と、年齢の相関は非常に高い結果が得られたため、負担を数値的に評価するのに最も適していると考えられる。

#### ウ 負債量

酸素摂取量は、生体内でのエネルギー源の生成（消費と表裏一体となっている）を示すので、摂取された酸素量は、エネルギー消費量を表している。しかし、この機能は、物理的仕事エネルギー需要とは応答の仕方が異なり、初期応答に遅れがみられ、運動終了後も持続してエネルギーを消費している。この回復時のエネルギー消費量がエネルギー負債量である。身体活動を行った際のエネルギー負債量の関係<sup>文献6,8</sup>を表すと図3のようになる。

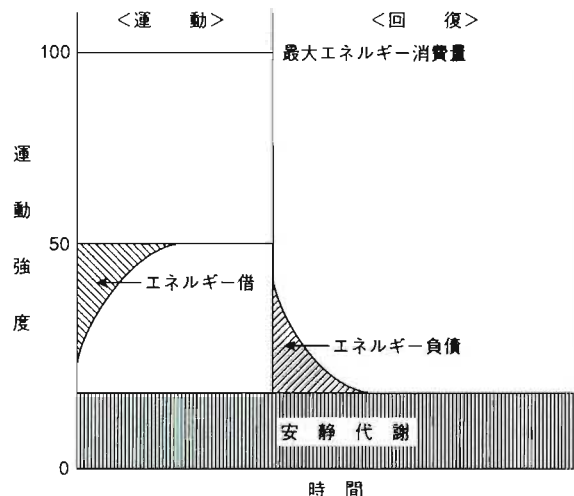


図3 身体活動とエネルギー負債の関係

図3を考慮し、今回の活動実験に置き換えて見ると、活動実験におけるエネルギー負債量を表している部分は、図4に示した斜線部分であると考えられる。

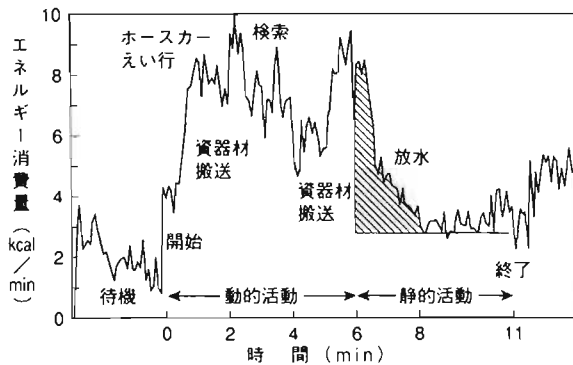


図4 消防活動実験におけるエネルギー負債量

各被験者の図4におけるエネルギー負債量と年齢の相関関係は、図5に示したとおりで、エネルギー負債量と年齢との間には低い相関 ( $r = 0.331$ ) がみられる。

エネルギー負債は運動強度と比例関係にあり、運動強度が高くなるとエネルギー負債量も増加する。このことから、同一のペースで実験を行っても、被験者の負担(運動強度)が高いほど、エネルギー負債量が多いことが言える。

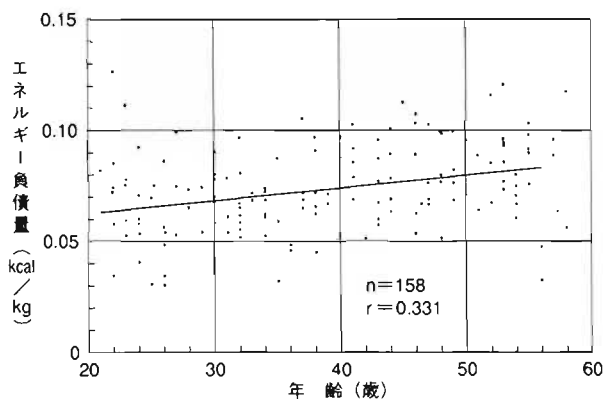


図5 エネルギー負債量と年齢の相関

#### (7) エネルギー負債解消時間

被験者の負担度を表す指標として、エネルギー負債を早期に解消する能力も重要な要因の一つと考えられる。このことは、エネルギー負債を早期に解消できるほど被験者の負担が低いことを意味し、次の行動に移るときの余裕を示していることになる。

そこで、エネルギー負債量が解消されるまでを時間に換算し、年齢との相関をみたのが図6である。

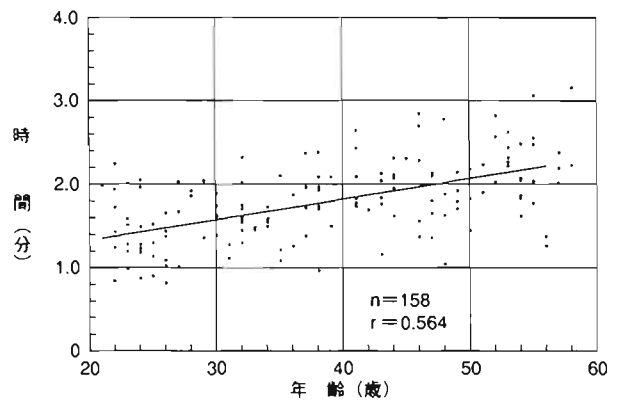


図6 負債の解消時間と年齢の相関

負債の解消時間と年齢の相関は、加齢に伴い、負債を解消する時間が長くなっており、かなり相関 ( $r = 0.564$ ) がみられた。

#### エ 負担と体力

負担(エネルギー負債)と各測定種目の相関係数は、以下のとおりである。

| 〈測定種目〉  | 〈相関係数〉      |
|---------|-------------|
| ○踏台昇降運動 | $r = 0.454$ |
| ○腕立て伏せ  | $r = 0.323$ |
| ○腹筋     | $r = 0.319$ |
| ○両脚半屈伸  | $r = 0.378$ |
| ○垂直跳び   | $r = 0.409$ |
| ○懸垂     | $r = 0.364$ |
| ○立位体前屈  | $r = 0.106$ |

これらのことから、以下のことが考察される。

#### (7) 全身持久力(踏み台昇降運動)

今回の消防活動実験では、負担(エネルギー負債)と全身持久能力の相関は最も高く、このことから全身持久能力は、消防活動に最も重要な要因の一つであると考えられる。

#### (イ) 筋持久力(腕立伏臥腕屈伸、腹筋、両脚半屈伸)

過去に行われた実験が提唱したとおり、負担(エネルギー負債)と筋持久力の相関も高く、筋持久力能力は、消防活動への影響は非常に大きいことが考えられる。

#### (ウ) 瞬発力(垂直飛び)

全身持久力に次いで負担(エネルギー負債)との高い相関を示している。このことは、瞬発力の能力が高い者は、身体能力が優れている者が多い傾向が予想されるが、今回の実験では、瞬発的な作業が無いため、必ずしも瞬発力が消防活動へ大きく影響したとは言いがたいと考えられる。

## (エ) 柔軟性 (立位体前屈)

柔軟性と負担 (エネルギー負債) との相関は低く、このことから、消防活動への影響は小さいと考えられる。しかし、柔軟性の身体活動における影響は動きを円滑にしたり、反射能力の向上などがあり、消防活動における安全性の面を考慮すると、必要な要因であるといえる。

## 7 要約

- (1) 警防隊員の体力 (筋力・筋持久力・瞬発力) は、国民の体力と比較して全体的に優れており、特に40歳代と50歳代がこの傾向を顕著に示していた。しかし、柔軟性については、差はみられなかった。
- (2) 踏台昇降運動は、消防活動と最も高い相関を示していたことから、消防活動と最も必要な体力といえる。その他の種目についても、消防活動において重要性を明確化するには、実験の手法を変えてさらに分析する必要があるといえる。
- (3) 活動実験の作業別にみると、心拍数や酸素摂取量の最高値が、ホースカーえい行や、資器材搬送時に出現していることから、この二つの作業が、一般的な消防活動において負担が大きいといえる。
- (4) 体力の優れている者は、その時の作業強度に見合った酸素を十分に摂取し、体力の劣っている者は、見合った酸素を摂取出来ないことから、負債の状態を継続し、心拍数が下がらない傾向が顕著にみられる。
- (5) 同ペースで行った活動実験において、全体のエネルギー消費量が同じにもかかわらず、最大エネルギー消費量が、加齢に伴い低下することから、RPE (主観的運動強度) も加齢に伴い、「きつさ感」が高くなる傾向がみられる。
- (6) 今回の実験から、消防活動の負担の評価方法は、動的活動終了直後のエネルギー負債量や、エネルギー負債の回復時間を数値的にみることが、最も妥当な方法といえる。

## 8 参考文献

- 1 小田清一：健康づくりのための運動ハンドブック (第一出版), P68, 1994
- 2 東京都立大学体育研究室編：日本人の体力標準値 (不味堂), P116, P146, P154, P240, 1989
- 3 消防科学研究所：消防科学研究所報33号 「消防活動の体力負担に関する研究」, P150, 1996
- 4 消防科学研究所：消防科学研究所報34号 「体力診断・運動処方プログラムの開発研究について」, P116, 1997
- 5 中西光雄：体育生理学実験 (技術書院), P114, 1986
- 6 石河利寛、杉浦正輝：運動生理学 (建帛社) P129, P160, P309, P325, P462, 1989
- 7 山地啓司：最大酸素摂取量の科学 (杏林書院), P142, 1994
- 8 松井秀治：コーチのためのトレーニングの科学 (大修館書店), P72, 1990
- 9 宮下充正、武藤芳照、白山正人、平野裕一：フィットネスQ & A (南江堂), P24, 1990
- 10 中野昭一、竹宮隆：運動とエネルギーの科学 (杏林書院), P30, 1996



写真1 呼気ガス分析装置  
装着状況



写真2 ホースカーえい行状況



写真3 検索の状況



写真4 資器材搬送状況  
(1回目)

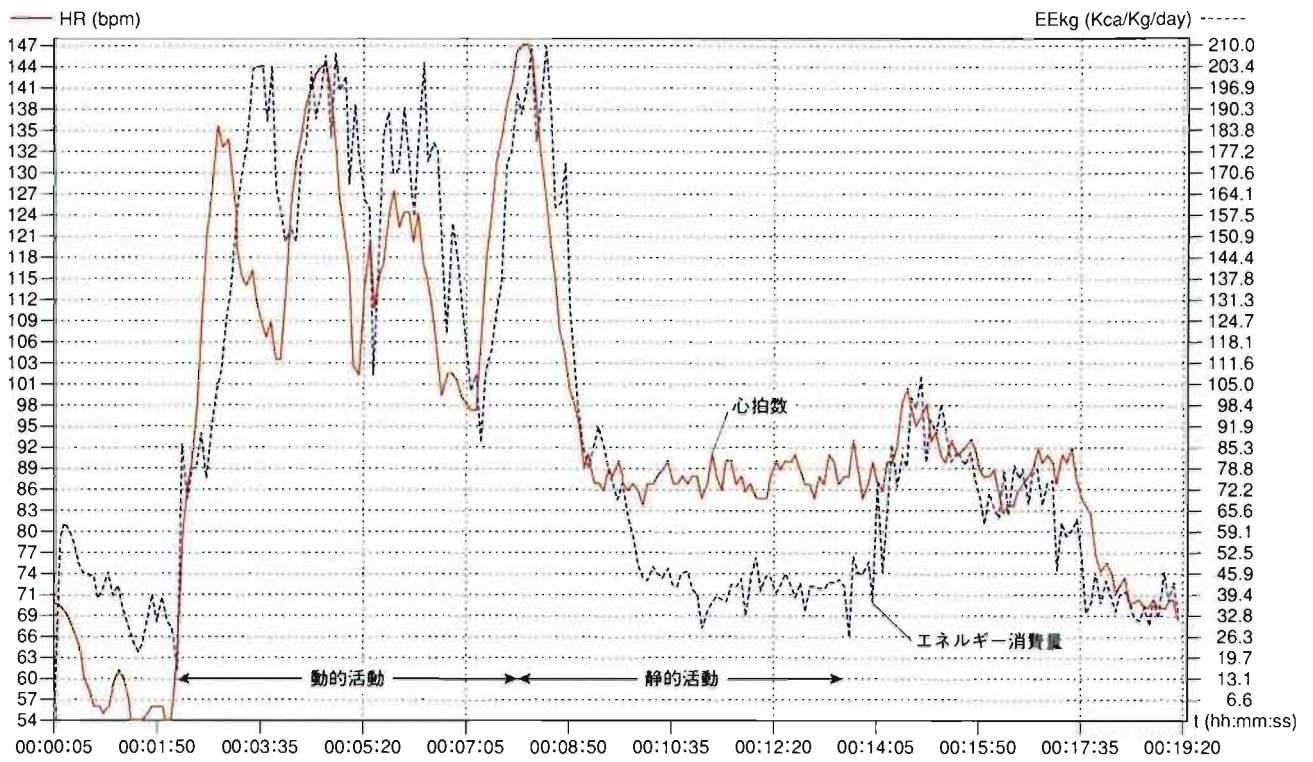


写真5 資器材搬送状況  
(2回目)

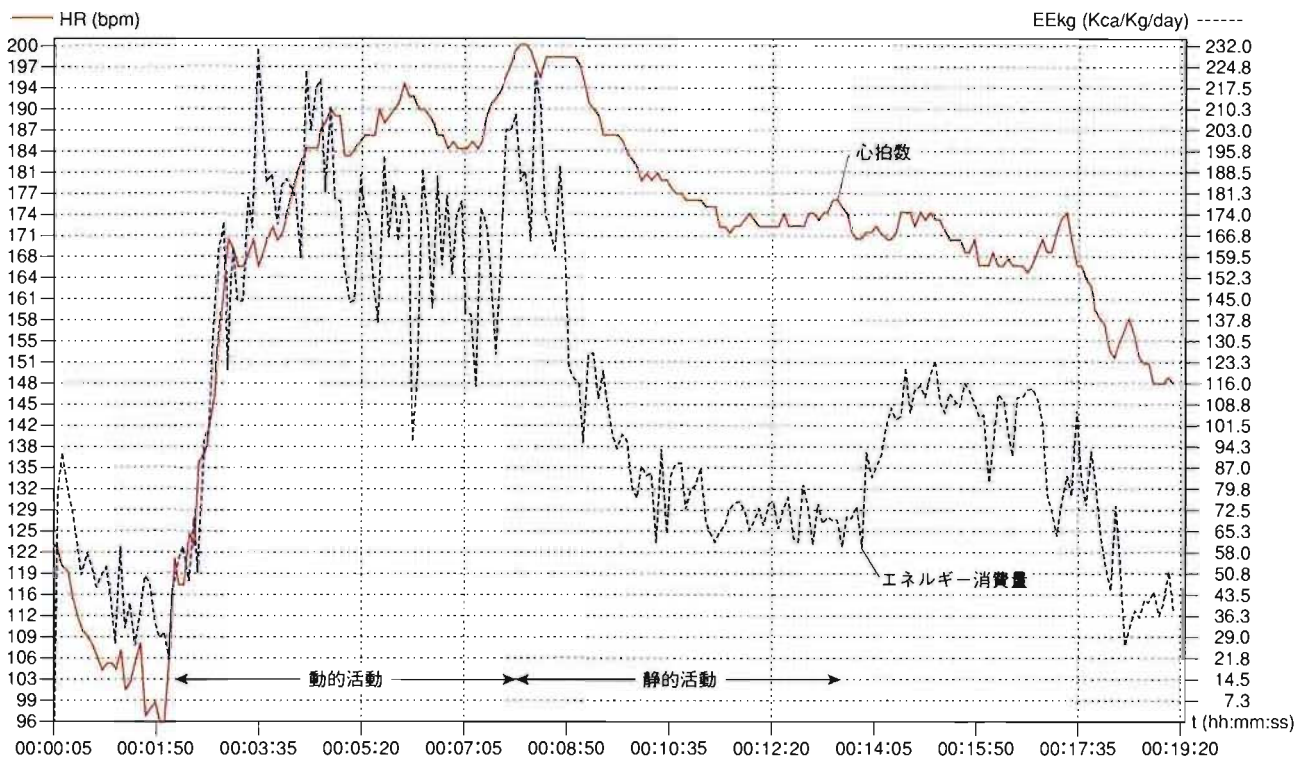


写真6 放水状況





別図1 体力的に優れている被験者



別図2 体力的に劣っている被験者