

## 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

## Physiological Changes of Firefighters by Weight of Personal Equipment under Hot Environment

野 尻 忠 弘\*  
丸 山 勝 幸\*

Forty firefighters in 4 groups took a two-step exercise (20cm high) in a hot environment for 8 minutes. After the exercise, the physiological changes were measured as to their heart beat, respiration rate, blood pressure, volume of sweat, air consumption, oxygen consumption and blood analysis with the following results.

- (1) The physiological burden for firefighters increases according to the increase in weight of their personal equipment. This is especially typical in the increase of air consumption and oxygen consumption.
- (2) The turning point at which the physiological burden of personal equipment for firefighters increases sharply is found between 18 kg and 22 kg.
- (3) The most suitable weight of personal equipment is about 30 % of the firefighter's own weight.

## 1. はじめに

個人装備重量が増加することは、消防活動を困難にするとともに隊員の生理にも大きな負担が生じるものである。この生理的負担は、装備重量が増加するにしたがいほぼ直線的に上昇していくことが考えられた。しかしながらある重量以上になると急激に増大するのか、あるいは上昇が鈍るのか、そのような変曲点が存在するのか等、幾多の疑問があった。

本実験では、これらの問題点を究明することによって、消防用個人装備重量の軽量化を図る基礎資料を得るために実施したものである。

## 2. 測定期間

昭和58年9月7日から昭和58年10月7日まで

## 3. 実験場所

消防科学研究所 第四研究室 熱環境室

## 4. 測定対象者(表1)

- (1) 特別救助隊員 各群10人 計40人

表1 測定対象者の身体特性

| 測定項目<br>測定対象   | 年齢<br>(歳) | 身長<br>(cm) | 体重<br>(kg) | 胸囲<br>(cm) | 皮脂厚(mm) |     |      | 握力<br>(kg) |      |
|----------------|-----------|------------|------------|------------|---------|-----|------|------------|------|
|                |           |            |            |            | 上腕      | 腹部  | 背部   |            |      |
| I群<br>(10人)    | 平均        | 28         | 169.7      | 66.0       | 94.1    | 7.3 | 9.4  | 11.0       | 50.0 |
|                | S.D       | 4.2        | 5.3        | 4.7        | 4.9     | 2.5 | 4.1  | 2.4        | 5.8  |
| II群<br>(10人)   | 平均        | 28         | 168.8      | 62.7       | 91.9    | 7.6 | 11.9 | 10.3       | 51.2 |
|                | S.D       | 3.0        | 5.5        | 8.1        | 4.7     | 2.1 | 8.8  | 2.8        | 3.3  |
| III群<br>(10人)  | 平均        | 27         | 170.4      | 65.1       | 92.6    | 7.8 | 14.8 | 11.9       | 48.6 |
|                | S.D       | 3.0        | 4.3        | 7.7        | 6.2     | 2.4 | 8.2  | 3.6        | 5.5  |
| IV群<br>(10人)   | 平均        | 28         | 169.0      | 62.6       | 92.7    | 6.1 | 9.1  | 9.5        | 49.1 |
|                | S.D       | 2.9        | 4.8        | 3.9        | 3.2     | 1.3 | 4.2  | 2.3        | 6.7  |
| TOTAL<br>(40人) | 平均        | 27.8       | 169.5      | 64.1       | 92.8    | 7.1 | 11.3 | 10.3       | 49.7 |
|                | S.D       | 3.4        | 5.0        | 6.5        | 4.9     | 2.2 | 7.1  | 7.1        | 5.6  |

## (2) 健康診断

医師(東京医科歯科大学)による問診と心電図を実施。

## 5. 測定方法(表2)

## (1) 測定条件

表2のとおり、I群からIV群まで個人装備重量別に区分した。

環境条件は、常温及び温度 $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $70\% \pm 5\%$ 、風速 $0.5\text{m/s}$ 以下の熱環境とした。

\*第四研究室

表2 測定条件

|      | 測定条件                     | 重量(kg) |
|------|--------------------------|--------|
| I群   | 救助服、編み上げ靴                | 2.6    |
| II群  | 防火衣、ヘルメット、ゴム長靴、(出火出場の服装) | 8.2    |
| III群 | ライフゼム空気呼吸器、出火出場の服装       | 17.8   |
| IV群  | ライフゼム空気呼吸器、出火出場の服装       | 22.3   |

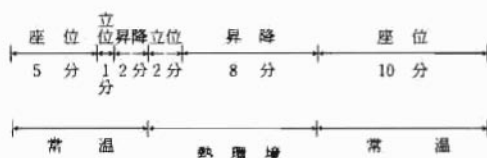
(注) 携帯無線、懐中電灯は含まれていない。

(2) 負荷内容

高さ20cmの踏台を用い、2秒に1回上下する2階段法により行った。

(3) タイムスケジュール

常温と熱環境で次のように実施した。



6. 測定項目

- (1) 身体特性 (身長, 体重, 胸囲, 皮脂厚, 握力)
- (2) 心拍数  
多用途医用監視装置による, 毎分あたりの心拍数。
- (3) 空気消費量  
エレクトロメタボラーによる, 毎分あたりの空気消費量。
- (4) 酸素消費量  
エレクトロメタボラーによる, 毎分あたりの酸素消費量。
- (5) 二酸化炭素産生量  
エレクトロメタボラーによる, 毎分あたりの二酸化炭素産生量。
- (6) 血圧  
連続自動血圧計による, 毎分ごとの最高血圧と最低血圧。
- (7) 呼吸数  
エレクトロメタボラーによる, 毎分あたりの呼吸数。
- (8) 発汗量  
人体精密台秤による, 実験直前と直後の体重減少による発汗量。

(9) 尿分析と尿量

試験紙法による実験直前と直後の尿定性分析と時間量。

(10) 自覚症状調査

質問紙法による実験直前と直後の疲労度調査。

(11) フリッカー値

フリッカー値測定器による実験直前と直後の疲労度調査。

(12) 血液分析

実験直前と直後の静脈血の定量分析。

7. 結果と考察

(1) 心拍数について (図1)

常温負荷のI群, II群, III群, IV群の毎分あたり心拍数は, ピーク値でそれぞれ, 109拍, 116拍, 134拍, 133拍であった。

50°C負荷では, I群, II群, III群, IV群でそれぞれ, 166拍, 173拍, 184拍, 184拍であった。

常温負荷では, I群, II群とIII群, IV群, 50°C負荷のI群, II群とIII群, IV群の時間経過ごとの心拍数には統計上の有意差が認められるが (P<0.01), III群とIV群ではほとんど変化はみられず, 装備重量がIII群の17.8kg以上になると心臓負担はほぼ同じであるといえる。

一般に熱環境での心拍数の耐え限界は安静の場合, 心拍数が135拍を越すと不快感を生じ, 労働している場合は160拍に達すると耐えがたい苦悶を感じ, 180拍になると熱虚脱をおこす恐れがあるといわれている。<sup>1)</sup>

本実験では, 耐えがたい苦悶を感じるといわれる160拍に達するのに50°C負荷でI群, II群は5~6分, III群, IV群では2分後, 生理的安全限界の目安とされる180拍にI群, II群は8分の負荷時間内では達せず, III群, IV群では6分30秒前後で達した。

(2) 空気消費量について (図2, 図3)

常温負荷のI群, III群の空気消費量のピーク値は, 毎分あたり36ℓでありII群は31ℓ, IV群が44ℓと他の群よりも22~42%も多く空気を消費した。

50°C負荷では, I, III群が47ℓ, II群49ℓ

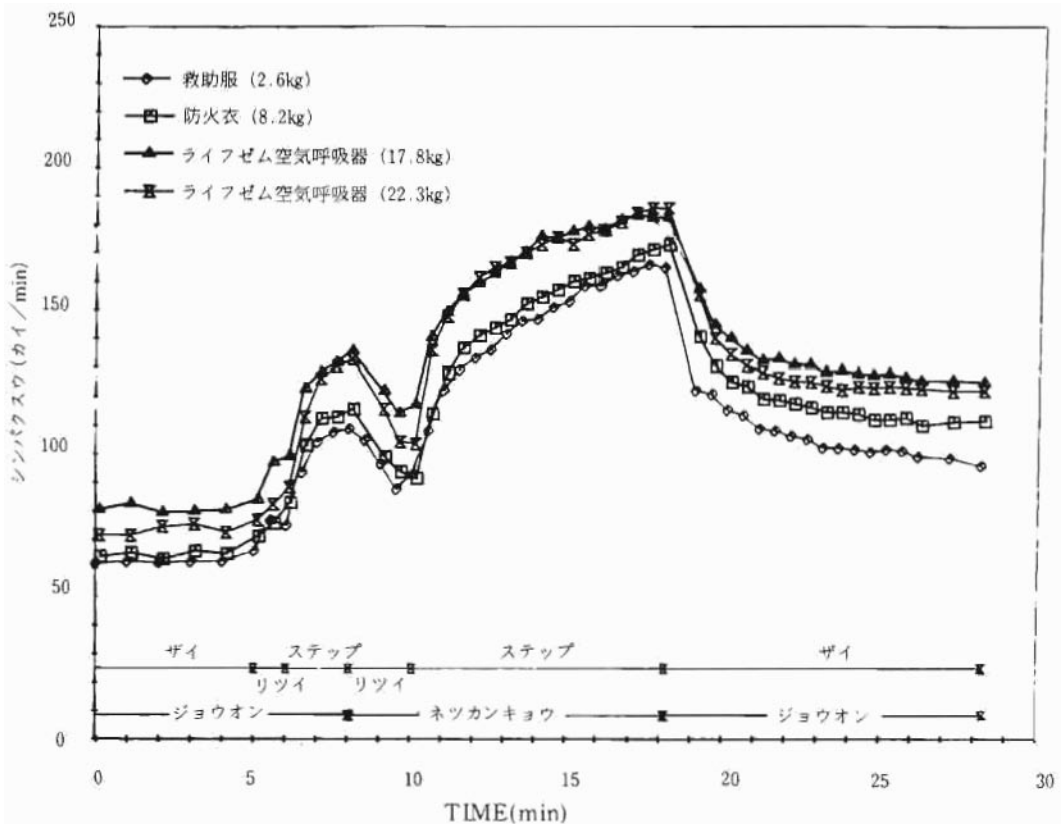


図1 心拍数の変化

であったのにIV群は59 l と他の群よりも20~26%も多く空気を消費した。

常温負荷, 50°C負荷ともI群, II群, III群とIV群では有意差が認められた ( $P < 0.01$ )。また, 同じ消防活動であっても, 50°C負荷の熱環境が常温負荷より, 31~58%も多く空気を消費し, 各群とも有意差が認められた ( $P < 0.01$ )。

このように, IV群の場合がI群, II群, III群に対して著しく多く消費しており, III群とIV群との間の装備重量が大きく生理的に影響し空気消費量を増加させたものと推定される。

### (3) 酸素消費量について (図4, 図5)

常温負荷の各群の毎分あたり酸素消費量は, ピーク値で, II群, I群, III群, IV群の順に多くなり, それぞれ1550 ml, 1970 ml, 2080 ml, 2360 ml であり, I群とII群, I群とIV群, II群とIII群, III群とIV群に有意差が認められた ( $P < 0.01$ )。

50°C負荷では, I群, II群, III群, IV群と装備重量の増加に伴ってそれぞれ, 2200m

l, 2230 ml, 2370 ml, 2860 ml の酸素を消費し各群のピーク値を比較するとI群, II群, III群とで有意差を認めた ( $P < 0.01$ )。

特にIII群とIV群の間に大きな差があり装備重量約18kg~22kgの間で急激に酸素消費量が増加したものと考えられる。

呼吸の効率を表わす酸素摂取率 (毎分酸素消費量 ml ÷ 毎分空気消費量 l) でみると常温負荷の各群は, I群54 ml, II群50 ml, III群58 ml, IV群54 ml であった。

また, 50°C負荷では, I群47 ml, II群46 ml, III群51 ml, IV群49 ml となった。

一般に酸素摂取率は, 負荷が大きくなると小さくなるものであるが本実験の重量差ではほとんど影響は認められない。

### (4) 二酸化炭素産生量について (図6)

常温負荷の各群の毎分あたり二酸化炭素産生量はピーク値で, I群1600 ml, II群1360 ml, III群1750 ml, IV群2050 ml であった。

50°C負荷では, I群, II群, III群, IV群の

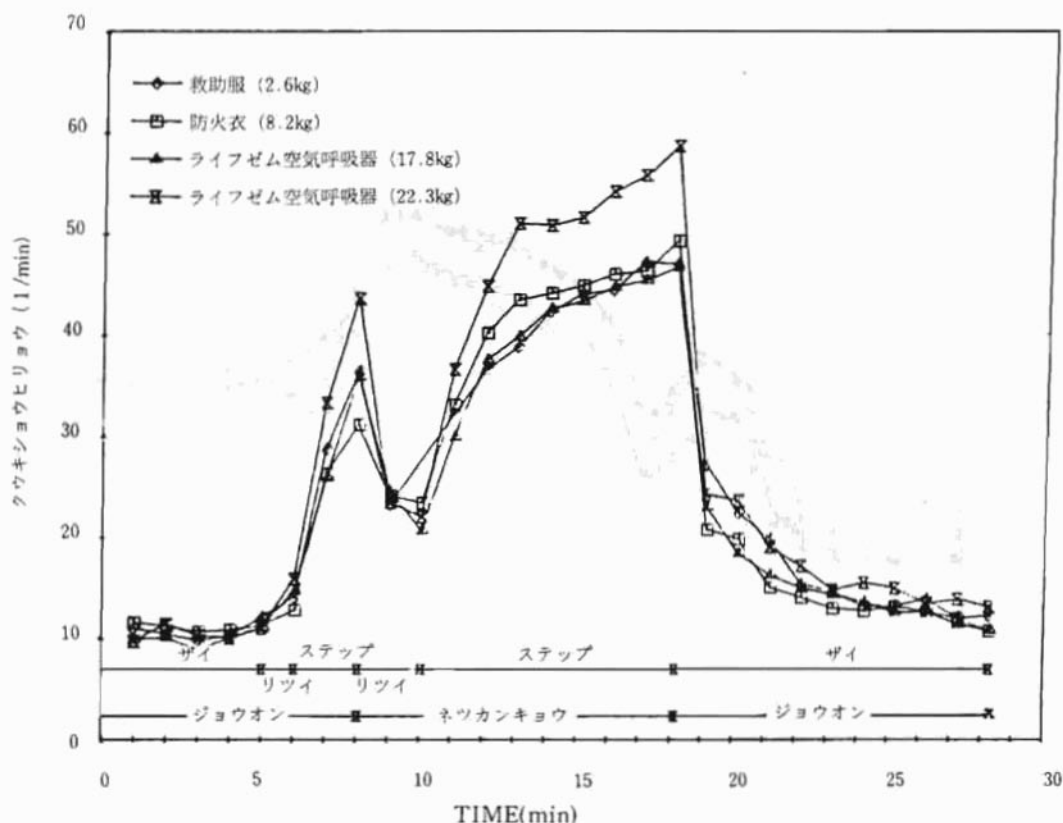


図2 空気消費量の変化

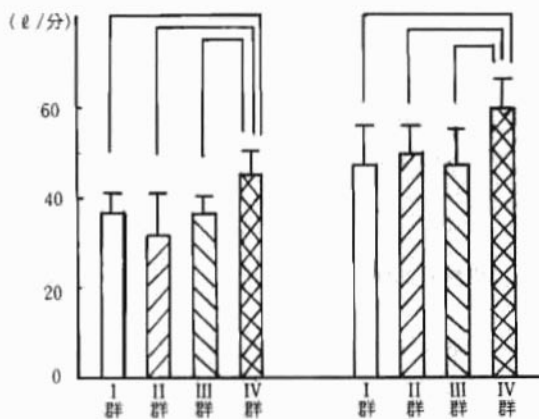


図3 空気消費量の負荷ピーク値の比較

順に多くなり、それぞれ2000 ml, 2160 ml, 2320 ml, 2700 ml 産生している。

このように、二酸化炭素産生量は空気消費量、酸素消費量とほぼ同じ傾向を示した。

体内の酸素摂取と二酸化炭素産生の状況を示す呼吸商（毎分二酸化炭素産生量÷毎分酸素消費量）を求めると常温負荷 I 群0.81, II 群0.88, III 群0.84, IV 群0.87であり、50°C負

荷ではそれぞれ0.91, 0.97, 0.98, 0.94となった。

この呼吸商は、一般に運動中は1.00に近い値を示し、これは主として炭水化物が運動エネルギーの燃料として用いられるためであるといわれている。また呼吸商が1.00を越えると運動が激しすぎ酸素負債であることを示しその動作を長く続けることが出来なくなる<sup>2),3)</sup>

本実験の条件においては、呼吸商の結果からも50°C負荷が常温負荷より厳しい負荷であることがわかり、また装備重量は、呼吸商に大きな影響をあたえないことがわかった。

(5) 血圧について (図7)

各群別最高血圧のピーク値は、常温負荷が145mmHgから170mmHgであり、50°C負荷では190mmHgから210mmHgであった。

常温負荷、50°C負荷とも各群ごとの組合せにおいて有意差はなく、本実験の条件設定では装備重量の差による影響は認められなかった。

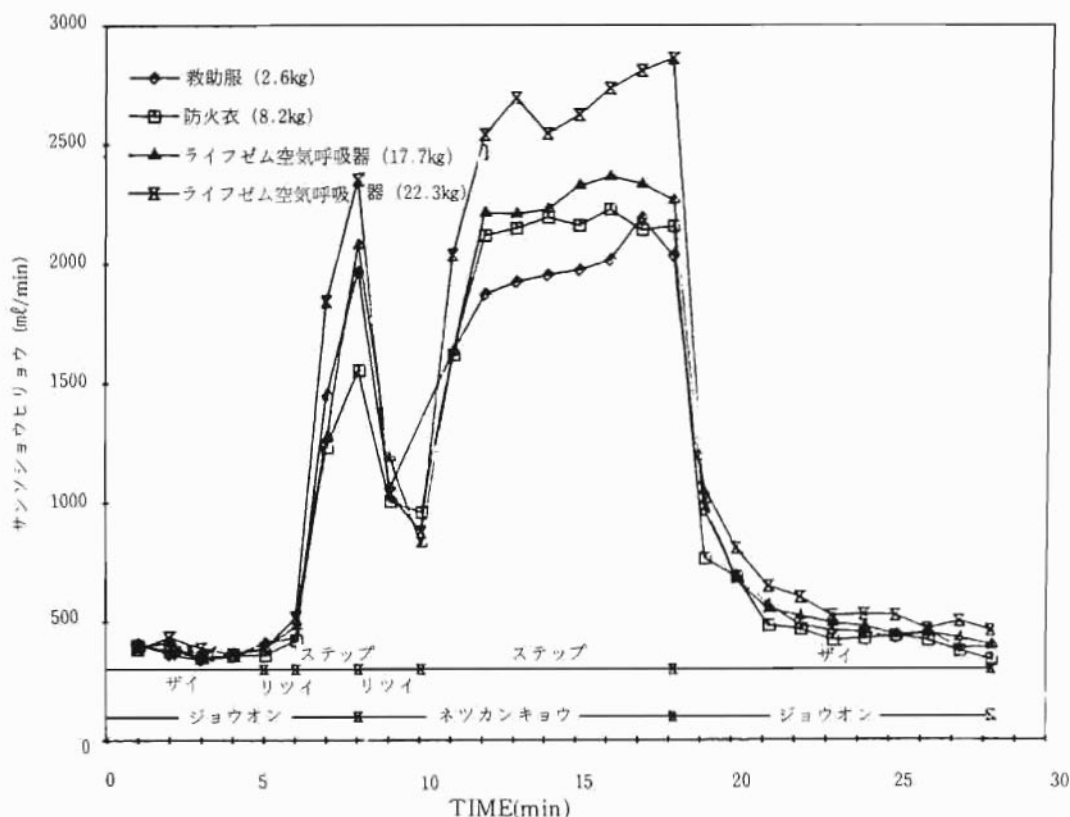


図4 酸素消費量の変化

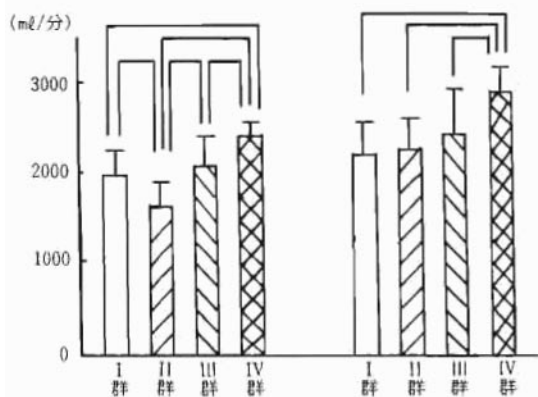


図5 酸素消費量の負荷ピーク値の比較

また、運動負荷中止の指標を血圧からみると。

- ① 最高血圧が負荷の増加にもかかわらず上昇しない時。
- ② 最高血圧が10mmHg以上下降した時。
- ③ 最高血圧が250mmHg以上上昇した時。
- ④ 最低血圧が20mmHg以上上昇した時。
- ⑤ 最低血圧が110~120mmHg以上になっ

た場合といわれている<sup>4)</sup>

(6) 呼吸数について (図8)

常温負荷と50°C負荷において、毎分あたり呼吸数はIII群を除いてほぼ同じ傾向を示し、いずれも30回以下であった。

III群のみ他の群より負荷が加わると4~6回少ない呼吸をしているが、その理由は明らかでない。

いずれにしても、呼吸数は隊員に対する装備重量の影響をあまり受けず、装備重量の軽量を判断する指標とはならないものと考えられる。

(7) 発汗量について (図9)

発汗量は、I群718g、II群682g、III群661g、IV群716gで各群とも有意差は認められず装備重量の差は発汗量に影響を与えないものと考えられる。

しかし、発汗量の多少は生理的負担に大きく影響するものであり、体温調節のため皮膚と呼吸道からの不感蒸散が行われ、皮膚などの表面から蒸発した水は、1gに約0.585kcal

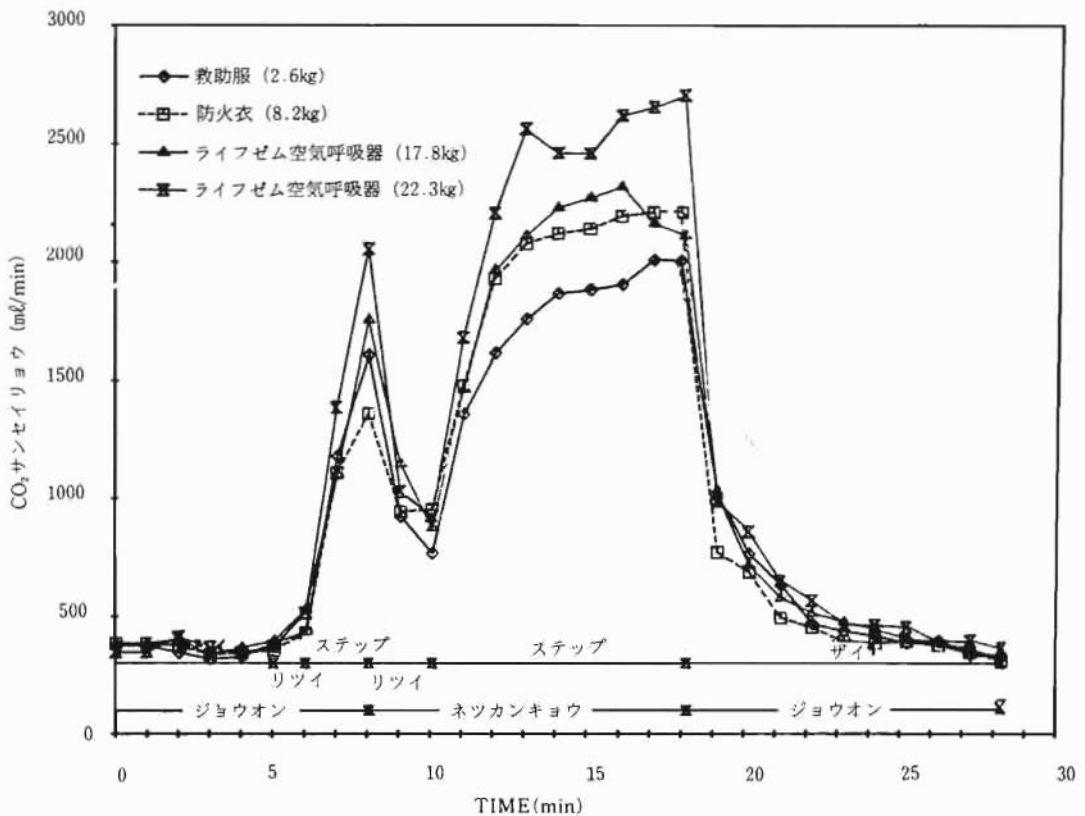


図6 二酸化炭素産生量

の熱を奪うといわれている。<sup>5),6)</sup>

このため、汗の蒸発を促すような通気性のある防火衣を開発し体温上昇の抑制を図ることにより隊員の生理的負担を軽減することができる。

(8) 尿分析と時間尿について

尿中のPH(水素イオン濃度指数)、蛋白、糖、ケトン、潜血、ウロビリノーゲンについて定性分析を行ったところ、実験前と後に各群とも変化はなかった。

また、時間尿(実験前1時間の尿量とその後1時間の差)についても各群の間に有意差はなく、装備重量の軽重による時間尿の影響はみられなかった。

(9) 自覚症状について

日本産業衛生協会産業疲労委員会の様式を用い「身体的症状」「精神的症状」「神経感覚的症状」について各10項目、計30項目について自覚症状を調べたところ、実験前後で各群別に装備重量の軽重による影響はみられなかった。

(10) フリッカー値について(図10)

主として、中枢神経性の疲労度判定に用いられるフリッカー値は、各群の間に有意差がなく装備重量の軽重による神経疲労はみられなかった。

(11) 血液分析について(図11)

ヘマトクリット、総蛋白、乳酸などは装備重量が増加するに伴い増大する傾向を示したのに対し、遊離脂肪酸は減少した。

また、内分泌液であるアドレナリン、ノルアドレナリンは装備重量の増加に伴い増大した<sup>7)</sup>(表3)。

表3 内分泌液量 n = 1

| 項目               | I 群  |      | II 群 |      | III 群 |      | IV 群 |      | 正常値       |
|------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-----------|
|                  | 前    | 後    | 前    | 後    | 前     | 後    | 前    | 後    |           |
| アドレナリン (ng/ml)   | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.1  | 0.02  | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.12以下    |
| ノルアドレナリン (ng/ml) | 0.11 | 0.21 | 0.16 | 0.49 | 0.09  | 0.43 | 0.06 | 0.63 | 0.06~0.45 |

特に呼吸中枢を刺激し呼吸を促進させる動きをするノルアドレナリンの量は、I群の場

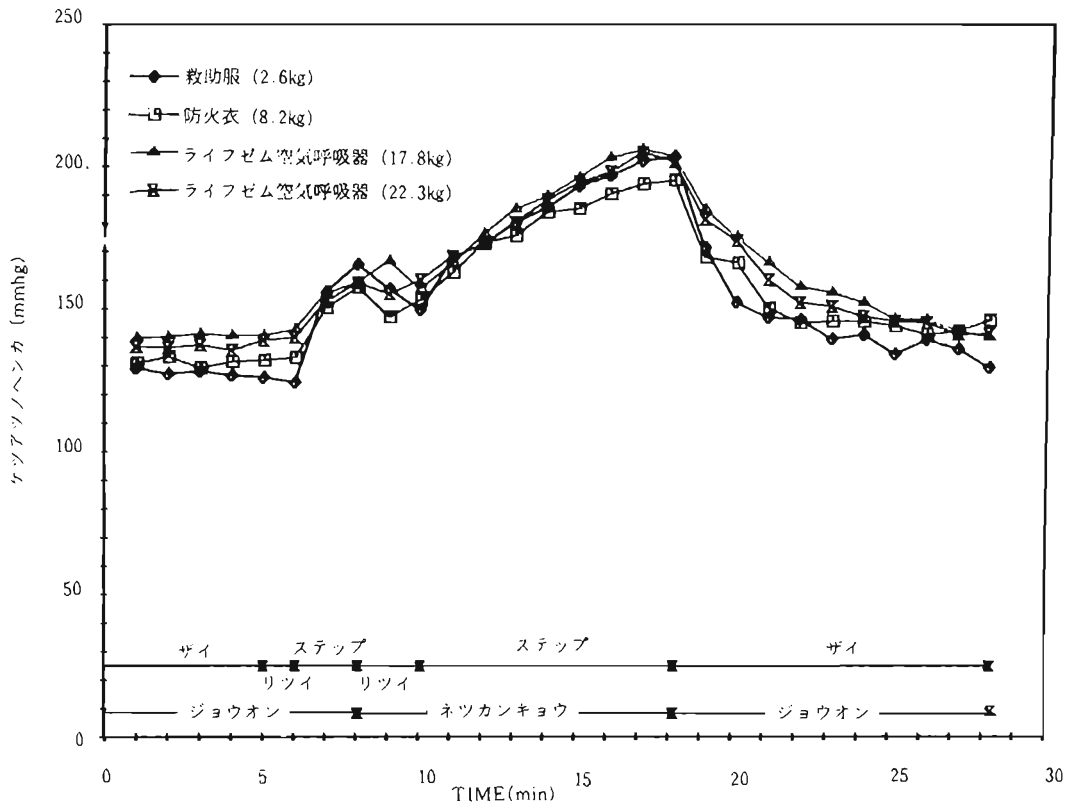


図7 最高血圧の変化

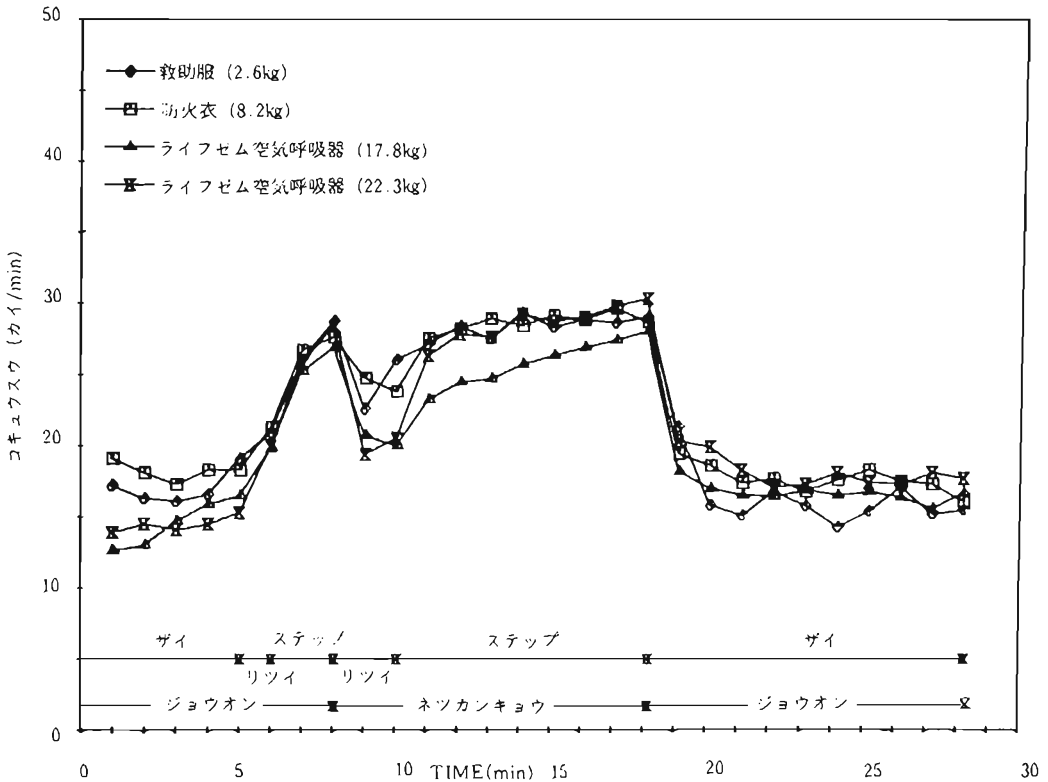


図8 呼吸数の変化

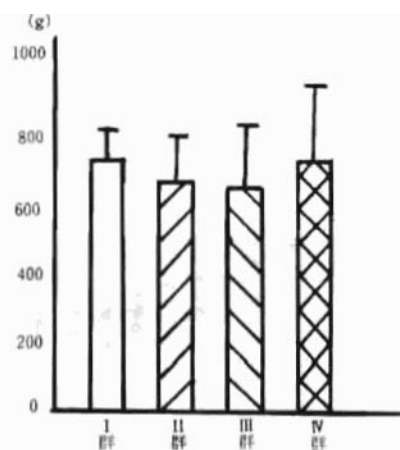


図9 発汗量

乳酸

総蛋白

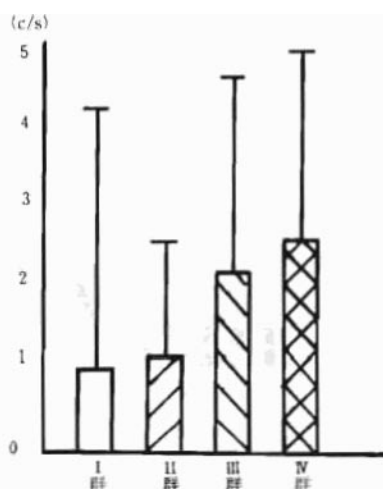


図10 フリッカー値

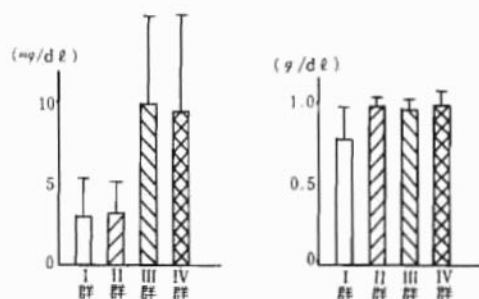


図11 血液分析

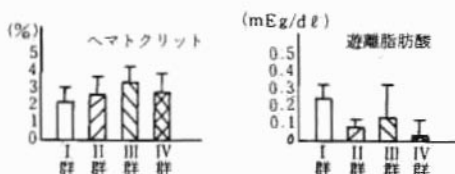
合実験前と後では1.9倍、II群3.1倍、III群4.8倍になるのに対しIV群では、10.5倍となり内分秘量はI群、II群、III群に対してIV群が顕著に増加している。

## 8. まとめ

- (1) 消防隊員の生理的負担は、装備重量の増加に伴い大きくなる。とくに、空気消費量、酸素消費量は著しく増大する。
- (2) 消防隊員の装備重量の生理的負担を急激に増大させる変曲点は、18kg~22kgの間に存在すると思われる。
- (3) 消防用個人装備の重量は、体重の30%前後が望ましいといえる。

## 9. 謝 辞

末尾になりましたが、熱心に実験にご協力していただきました特別救助隊員の皆さま、並びに健康管理と血液分析をお願いした東京医科歯科大学医学部衛生学教室助教授 高野健人、医師 本橋



豊の両先生に深く感謝いたします。

なお、本研究は昭和57年度日本火災学会研究助成費を頂いた研究課題である。

## 10. 文 献

- (1) 渡辺巖一 「基礎環境衛生学」(P43) 朝倉書店 (昭和48年)
- (2) 中西光雄 「体育生理学実験」(P120) 技術書院 (昭和46年)
- (3) 沼尻幸吉 「労働のエネルギー代謝」(P53) 労働科学研究所 (昭和49年)
- (4) アメリカスポーツ医学協会編、日本体力医学会学会体力科学編集委員会訳、「運動処方」の指針」(P16) 南江堂 (1982年)
- (5) RN ハーディ著、佐々木隆訳、「温度と動物」(P39) 朝倉書店 (1980年)
- (6) 三浦豊彦、「暑さ寒さと人間」(P62) 中公新書 (昭和52年)
- (7) 黒島辰汎、「環境生理学」(P18) 理工学社 (1981年)