

消防活動時の空気消費量等の測定について

Measurement of Firefighters Air Consumption during
Fire Operations

張 替 久 雄*

森 田 吉 保*

The physiological changes of 73 firefighters during their simulated firefighting were measured as to their air consumption, oxygen consumption and energy consumption.

When firefighters fight fire with a self-contained breathing apparatus on, air consumption, oxygen consumption and the duration vary greatly with respective firefighter and hardness of firefighting activity.

1. はじめに

呼吸保護器具は、消防隊員の身の安全を図るために必要不可欠な装備の一つである。隊員の安全を考える場合、呼吸保護器具の構造・性能が活動実態に適したものであることは当然のことではあるが、完全なものを要求することは無理なことであり、不足部分は活用面でカバーすることが必要である。そこで活動上の参考資料を得るために消防活動の内容と空気消費量等の関係について測定したので報告する。

2. 測定期間等

(1) 期 間

昭和58年6月中。

(2) 場 所

清瀬消防署。

(3) 対象者

清瀬消防署員73人。

3. 測定項目及び方法

(1) 身体特性

年齢、身長、体重、胸囲、皮脂厚（上腕部、腹部、背部）、立位体前屈、肺活量、握力。

(2) 安静時の空気消費量

ア. 東消5型空気呼吸器を着装した出火出場時と同様の服装（重量約25kg、以下「全装

備」という）。

イ. 安静座位時（5分間）の空気消費量をダグラスバッグにより採取する。

(3) 活動時の空気消費量及び酸素消費量

ア. 服装は前(2)と同様。

イ. 活動の内容

運動負荷の軽・重を考慮し次のとおりとした。

(ア) ホースカーに65mmホース10本を積載（総重量約220kg）し、平坦な舗装道路200mを曳行する（以下「ホースカー曳行」という）。

(イ) 耐火建物の屋内階段を1階から7階（地上高18.6m、蹴上げ約20cm、踏し約26cm、段数93）を上る（以下「階段上り」という）。

(ウ) 前(イ)の屋内階段を7階から1階まで下る（以下「階段下り」という）。

ウ. 活動の所要時間は、制限せずに実施する。

エ. 各活動時の空気消費量をダグラスバッグにより採取する。

オ. 各活動時の酸素消費量を呼気ガス瞬時分析装置により測定する。

4. 結果及び考察

(1) 身体特性（表1）

測定対象者の身体特性は、表1のとおりであり、身長、体重、胸囲などの測定において年齢の増加に伴い減少している。

表1 身体特性

年代	測定項目	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	胸囲 (cm)	皮 脂 厚 (mm)			肺活量 (ml)	握力 (kg)	体前屈 (cm)
						腹部	背部	上腕部			
全員 (N=73)	平均	34	168.8	64.9	90.0	19.0	15.0	8.5	3985	49.0	13.0
	S.D.	8	5.8	6.9	4.6	7.6	8.5	3.3	530	6.5	5.0
20 (N=25)	平均	25	170.2	65.0	89.9	18.9	13.4	9.2	4189	50.7	14.4
	S.D.	3	5.1	7.1	4.5	9.4	4.0	3.1	690	4.7	4.1
30 (N=33)	平均	35	168.7	65.9	90.7	19.2	16.3	8.4	3937	48.8	12.8
	S.D.	2	6.2	7.3	4.8	7.2	11.4	3.4	347	7.4	5.3
40 (N=12)	平均	44	167.8	62.4	89.3	18.0	13.2	6.6	3888	47.9	11.1
	S.D.	2	5.1	4.6	3.6	4.1	3.3	1.7	381	5.2	4.0
50 (N=3)	平均	55	163.0	60.6	86.5	21.3	19.3	18.5	3325	41.4	10.5
	S.D.	1	3.1	4.1	3.8	3.3	2.7	3.4	396	4.9	6.3

(2) 安静時の空気消費量 (表2, 図1)

毎分当たり空気消費量の最低, 最高は, 4.8~14.2ℓで平均9.5ℓであり, 年齢による空気消費量の相違は認められない。

一般に, 安静時の毎分当たり空気消費量は5~7ℓといわれている¹⁾が, 本測定で平均9.5ℓとなったのは, 全装備による重量負荷等のため若干増加したものと思われる。

(3) 活動別の所要時間 (表3, 図2)

各活動別の平均所要時間は, ホースカー

行80.4秒, 階段上り52.7秒, 階段下り38.7秒である。

各年代別の所要時間は, 表3, 図2のとおりであり, 各活動時の相関をみるとそれぞれ相関係数 $r=0.49$ ($P<0.001$), $r=0.32$ ($P<0.01$), $r=0.25$ ($P<0.001$), となり, 年齢と所要時間に正の相関が認められ, 年齢が増すほど活動の所要時間が長くなっていく。これは, 若年代と高年代の体力等の相違によるもので活動内容が激しくなるほどこの差は大きくなっていく。

表2 安静時空気消費量 (ℓ/分)

	全員 n=73	20代 n=25	30代 n=33	40代 n=12	50代 n=3
平均	9.5	9.1	9.8	9.6	9.1
S.D.	1.9	1.9	1.8	1.4	2.9

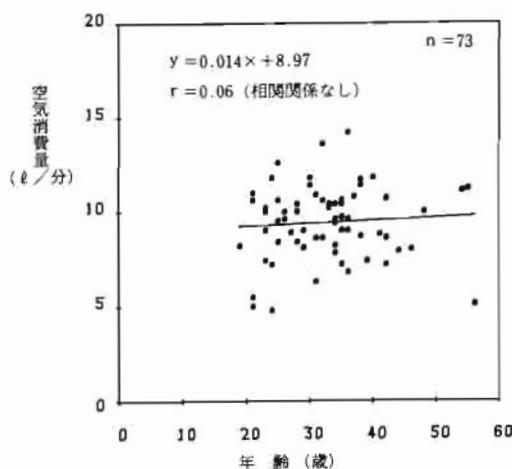


図1 年齢と安静時空気消費量の関係

表3 活動時の所要時間(秒)

	ホースカー 曳行	階段上り	階段下り
全員 n=73	80.4 (10.5)	52.7 (9.1)	38.7 (6.4)
20代 n=25	76.3 (9.7)	49.4 (11.0)	36.7 (6.5)
30代 n=33	78.9 (8.5)	53.2 (7.9)	38.9 (6.3)
40代 n=12	89.9 (10.4)	56.7 (5.7)	41.8 (5.5)
50代 n=3	92.7 (3.8)	59.7 (3.1)	39.7 (2.1)

() 内は, S. D. を示す。

(4) 活動時の空気消費量 (表4)

総空気消費量の最低, 最高は, ホースカー曳行77.5~152.3ℓで平均110.5ℓ, 階段上り21.8~67.0ℓで平均46.4ℓ, 階段下り13.2~48.0ℓで平均25.3ℓである。また毎分当たり空気消費量の最低, 最高は, ホースカー曳行49.7~102.1ℓで平均82.1ℓ, 階段上り

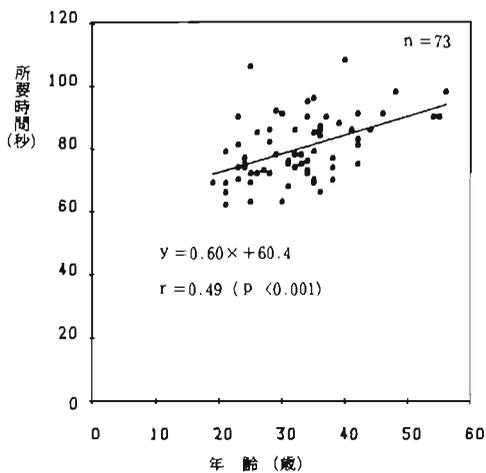


図2一(1) ホースカー曳行

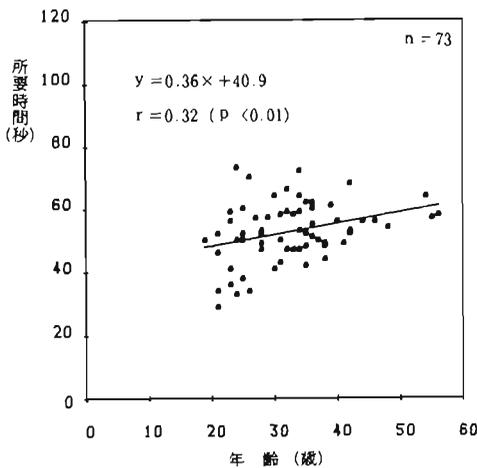


図2一(2) 階段上り

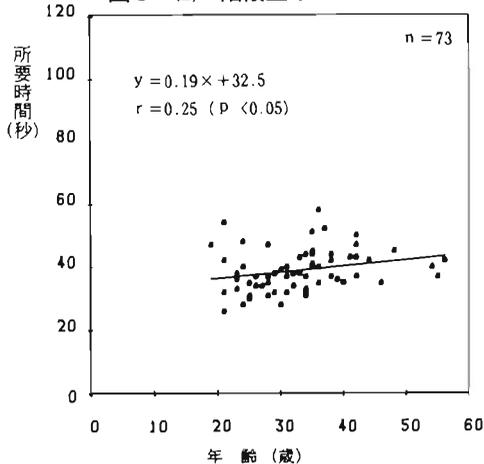


図2一(3) 階段下り

図2 年齢と所要時間の関係

28.5～98.8ℓで平均52.5ℓ、階段下り18.9～82.7ℓで平均40.2ℓであり、同一の活動内容であってもそれぞれ個人差が大きく、ホースカー曳行のように活動内容が激しいほど増加していることが認められる。

所要時間と空気消費量の関係を見ると、総空気消費量は、各活動とも所要時間が長くなるにつれて増加する傾向にあるが、1分前後

表4 活動時の空気消費量

	ホースカー曳行		階段上り		階段下り	
	TOTAL (ℓ)	毎分当たり (ℓ/min)	TOTAL (ℓ)	毎分当たり (ℓ/min)	TOTAL (ℓ)	毎分当たり (ℓ/min)
全員 (n=73)	110.5 (13.1)	82.1 (11.6)	46.4 (9.9)	52.5 (14.3)	25.3 (6.0)	40.2 (11.9)
20代 (n=25)	106.4 (13.4)	84.4 (11.3)	43.3 (9.0)	54.6 (15.0)	25.0 (6.6)	41.6 (12.2)
30代 (n=33)	109.4 (13.7)	83.7 (10.4)	45.6 (8.7)	53.0 (14.6)	25.9 (6.1)	41.0 (11.7)
40代 (n=12)	111.3 (20.2)	74.8 (12.7)	43.8 (10.9)	46.7 (11.3)	24.4 (9.1)	35.1 (11.9)
50代 (n=3)	114.7 (4.9)	74.5 (6.0)	53.0 (10.8)	53.1 (10.0)	25.7 (2.2)	39.0 (3.2)

という短時間の活動のため、激しい活動のホースカー曳行のみ相関係数 $r=0.27$ ($P<0.05$)という正の弱い相関が認められ、ホースカー曳行に比べて負担の軽い階段上りや階段下りには相関が認められず個人差が大きくなっている (図3)。

また毎分当たり空気消費量についてみると、ホースカー曳行 $r=-0.57$ ($P<0.001$)、階段上り $r=-0.61$ ($P<0.001$)、階段下り $r=-0.51$ ($P<0.001$)と負の強い相関が認められ、このような瞬発的な短時間の活動では、所要時間が短かければ短いほど毎分当たりの空気消費量は増加する (図4)。

年齢と空気消費量の関係を見ると、総空気消費量は、各活動時において年齢の増加に伴い若干増加する傾向にあるが、いずれも相関は認められない。毎分当たりの空気消費量については、年齢の増加に伴い減少する傾向にあり、特に活動内容の激しいホースカー曳行の相関は $r=-0.34$ ($P<0.01$)であり負の弱い相関が認められる。一方、ホースカー曳行に比較して活動内容の軽い階段上りと階段下りには相関関係は認められず個人差が大きくなっている (図5)。

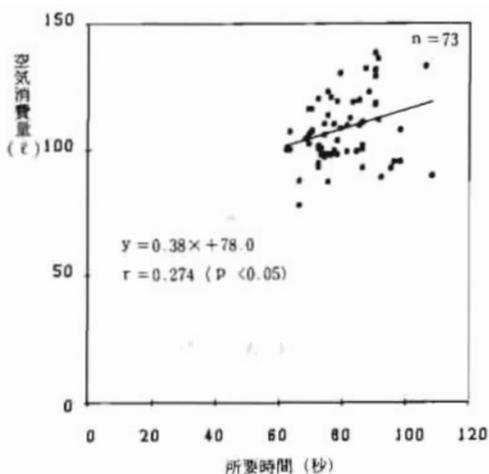


図3-(1) ホースカー曳行

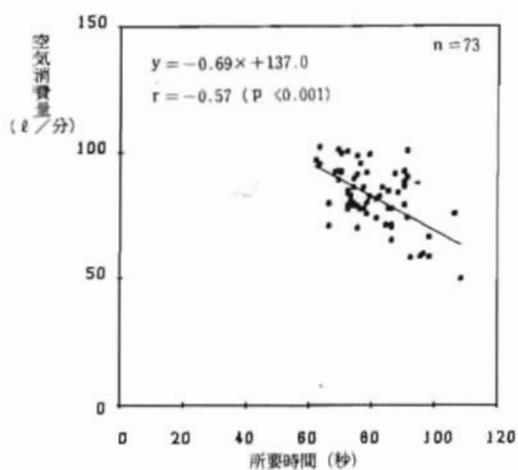


図4-(1) ホースカー曳行

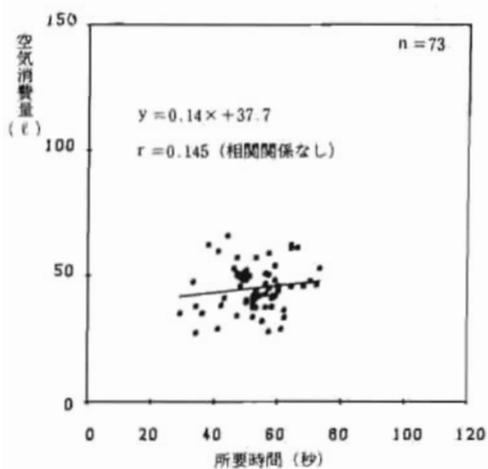


図3-(2) 階段上り

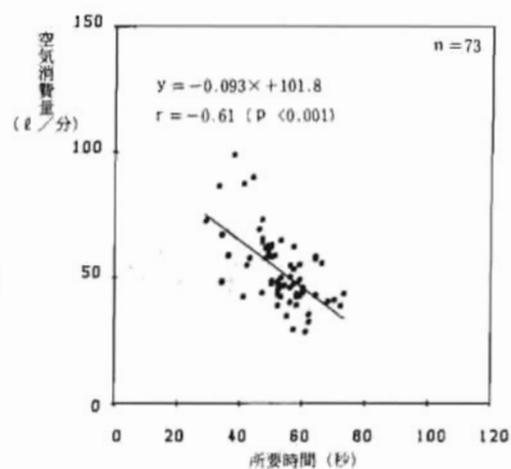


図4-(2) 階段上り

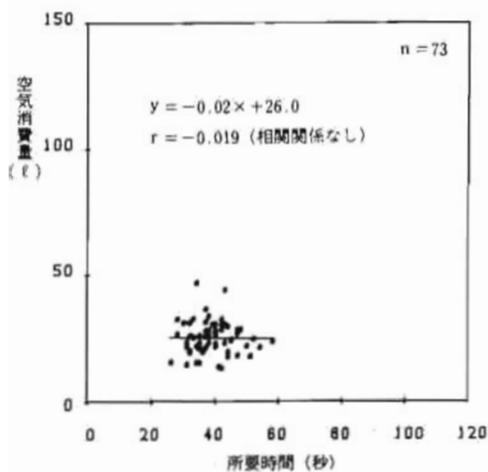


図3-(3) 階段下り

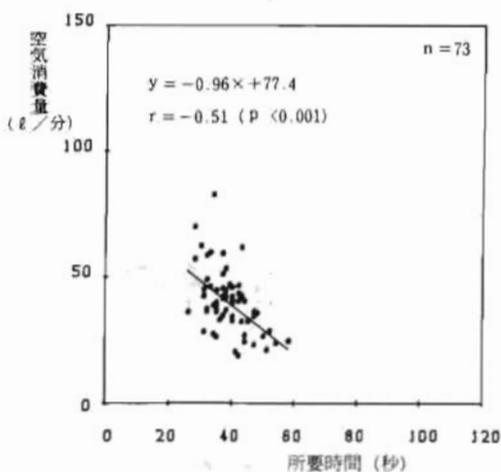


図4-(3) 階段下り

図3 所要時間と総空気消費量の関係

図4 所要時間と毎分当たり空気消費量の関係

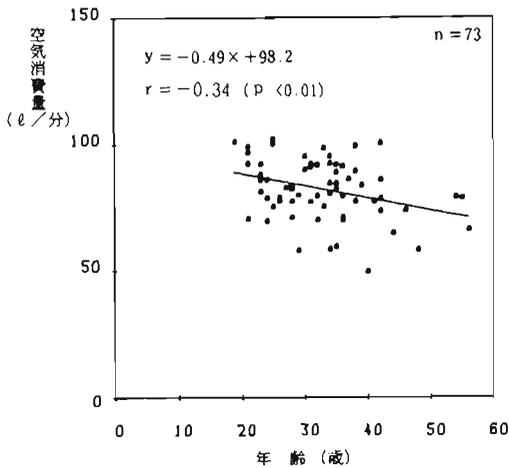


図5-(1) ホースカー曳行

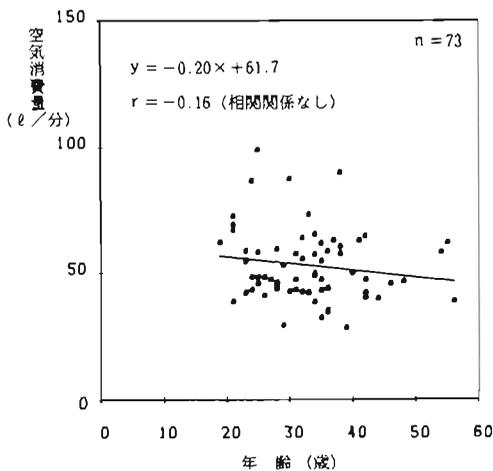


図5-(2) 階段上り

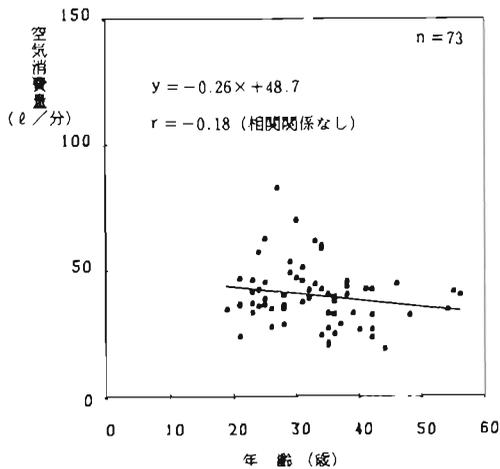


図5-(3) 階段下り

図5 年齢と毎分当たり空気消費量の関係

このように空気消費量は、活動の軽重と個人差などにより異なるため、各隊員個人がどの程度の活動のときはおよそ何ℓの空気を消費するかを知っていることが大切なことになる。

(5) 活動時の酸素消費量 (表5, 図6)

毎分当たり平均酸素消費量は、ホースカー曳行2553ml, 階段上り1716ml, 階段下り897mlと活動内容が激しいほど多くなっており、また毎分当たり空気消費量が増すほど多くなっている。

毎分当たり酸素消費量と空気消費量の相関をみると $r=0.85$ ($P<0.001$)で正の強い相関が認められる。運動時における空気消費量の増加は、ある程度までは運動の強度に比例し、運動時空気消費量が毎分当たり80~100ℓまでは空気消費量と酸素消費量との間に直線関係が成立し、酸素消費量の増加と共に空気消費量は増加していく。しかしながら、さらに運動が強度になるとこの直線関係は破れ、空気消費量が一方的に増加するようになってくるといわれている。²⁾ またホースカー曳行の

表5 活動時の酸素消費量 (ml/分)

	ホースカー曳行		階段上り		階段下り	
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
全員 (n=14)	2553	300	1716	171	897	191
20代 (n=4)	2785	256	1815	185	1052	86
30代 (n=5)	2557	201	1684	174	912	154
40代 (n=5)	2364	323	1669	159	757	200

ような激しい活動を行った場合には、年齢が増すと共に毎分当たり酸素消費量が少なくなっているのが認められ、一般に年代が増すほど酸素消費量が減少するといわれ、青木らによる生理学的指標の年齢別最大酸素摂取量測定値³⁾とほとんど同様の傾向を示している(表6)。このことからホースカー曳行程度の活動は、隊員がもつ最大限の体力を要するものであると考えられる。

さらに酸素摂取率(毎分当たり酸素摂取量÷毎分当たり空気消費量)は、定期的なトレーニングにより向上するといわれている⁴⁾ことから、訓練によって持久力と肺の換気能

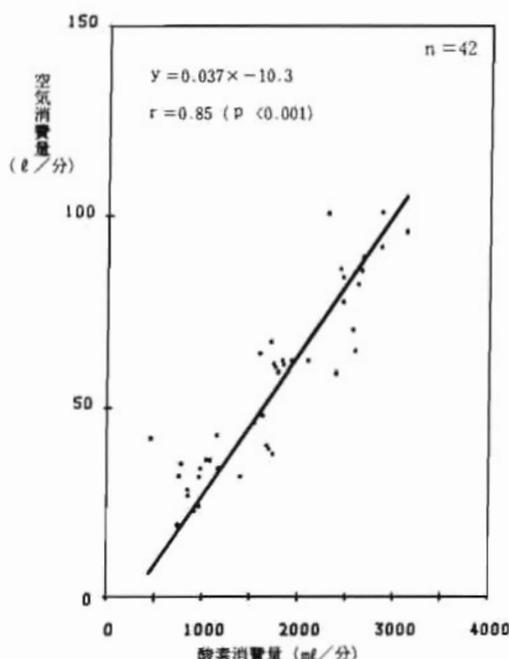


図6 酸素消費量と空気消費量の関係
力を強化することにより効果的な酸素摂取ができる。

(6) 活動時の消費カロリー (表7, 図7)

総消費カロリーは、ホースカー曳行, 17.57kcal, 階段上り7.65kcal, 階段下り3.61kcalであり, 体重(kg)・毎分当たりの消費カロリーは, それぞれ0.1978kcal, 0.1331kcal, 0.0746kcalとなっており, ホースカー曳行が多くのカロリーを消費し活動内容が激しいことが認められる。

年齢と消費カロリーについてみると, 総消費カロリーは年齢による相違が認められずほぼ同じであるが, 体重(kg)・毎分当たりの消費カロリーは各活動時において若年齢が多く, 高年齢になると少なくなる傾向が認められる。特に活動内容の激しいホースカー曳行では, 相関係数 $r = -0.565$ ($P < 0.05$) で負の相関が認められ, ホースカー曳行に比べ負担の軽

表6 最大酸素摂取量(青木他)とホースカー曳行時の酸素消費量測定値の比較

年代	最大酸素摂取量 (ml/kg/分)	ホースカー曳行時の酸素消費量 (ml/kg/分)
20	39.6±5.1	N = 4 41.8(S.D.=6.1)
30	38.6±5.2	N = 5 38.9(S.D.=2.1)
40	33.8±3.9	N = 5 36.8(S.D.=4.2)
50	31.2±5.0	

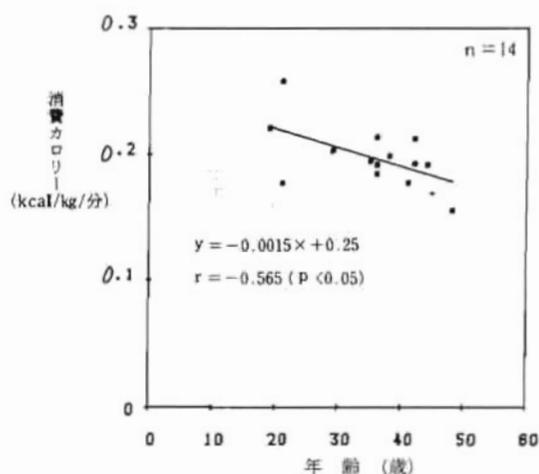


図7-1) ホースカー曳行

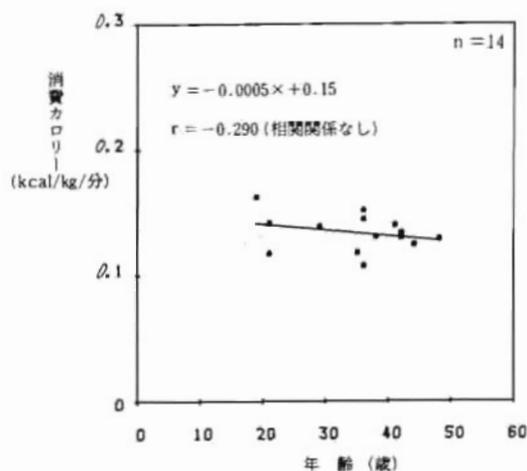


図7-2) 階段上り

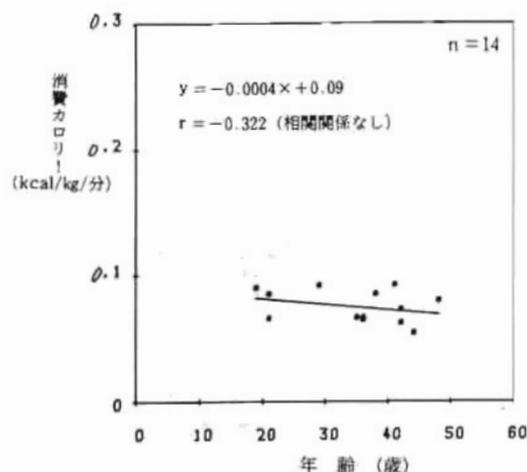


図7-3) 階段下り

図7 年齢と消費カロリーの関係

表7 活動時の消費カロリー

	ホースカー走行		階段上り		階段下り	
	TOTAL (Kcal)	体重・毎分 当たり (Kcal/ kg/分)	TOTAL (Kcal)	体重・毎分 当たり (Kcal/ kg/分)	TOTAL (Kcal)	体重・毎分 当たり (Kcal/ kg/分)
全員 (n=14)	17.57 (1.80)	0.1978 (0.0243)	7.65 (1.28)	0.1331 (0.0144)	3.61 (0.77)	0.0746 (0.0126)
20代 (n=4)	16.26 (1.58)	0.2148 (0.0342)	7.09 (1.62)	0.1394 (0.0185)	4.10 (0.89)	0.0834 (0.0119)
30代 (n=5)	18.67 (1.88)	0.1965 (0.0108)	7.92 (1.42)	0.1301 (0.0182)	3.41 (0.55)	0.0698 (0.0088)
40代 (n=5)	17.53 (1.40)	0.1857 (0.0213)	7.83 (0.93)	0.1311 (0.0057)	3.42 (0.83)	0.0725 (0.0148)

い階段上りや階段下りでは相関が認められない。これは、活動内容が激しくなればなるほど若年齢と高年齢の所要時間の差が大きくなり、若年齢ほど短い時間で活動を終わるため単位時間当たりの消費カロリーが大きいことを示していると思われる。

7. ま と め

消防隊員が火災等に出場し、空気呼吸器や酸素

呼吸器を着装して消防活動にあたる場合には、各隊員の体力、個人差及び活動の軽重によってその使用量や使用時間が大きく異ってくるため一概に呼吸器の使用時間を算出することはできない。従って隊員自身及び指揮者等は、個人的な身体特性、活動の内容による空気消費量の実体を把握し、安全管理を徹底することが必要である。

8. 文 献

- 1) 朝比奈一男, 中川功哉: 現代保健体育学大系7「運動生理学」(P31), 昭和50年
- 2) 朝比奈一男, 中川功哉: 現代保健体育学大系7「運動生理学」(P29), 昭和50年
- 3) 労働科学研究所: 労働科学叢書66「年齢と機能」(P46), 昭和58年
- 4) 朝比奈一男, 中川功哉: 現代保健体育学大系7「運動生理学」(P44), 昭和50年