

避難行動に関する実験結果について

Study of Escape Behavior

手 柴 英 喜*
 瀬 川 俊**
 桜 井 高 清***
 飯 田 稔****
 長谷川 清 美*****

概 要

煙を充満し消灯した室内において、学習の有無による避難行動を調査した。この調査により、次の結果が得られた。

1. 図面で避難経路を確認し、さらに実際に歩いて確認することが、迷わずに短い時間で避難するために必要である。
2. 煙の拡散度と避難速度から、早い時期に避難する必要がある。

Proper evacuation is the important step to ensure life safety in a fire. The Tokyo Fire Department provides citizens with the opportunities of experiencing evacuation in a smokefilled maze at its Life Safety Learning Centers. With cooperation from citizens who visited the Tachikawa Life Safety Learning Center, the human behaviors in the smokefilled maze were monitored with respect to the layout knowledge.

After a series of experiments with variable amount of information, following findings were revealed.

1. To guarantee prompt and correct evacuation from a fire, citizens would be advised to confirm the escape route in advance by learning the floor layout and experiencing the route by themselves.
2. Before escaping through thick smoke, citizens would be advised to leave the building at an early stage of a fire.

1. はじめに

近年における都市環境のめざましい変遷により、建物は、大規模・高層化し、また、内部構造も複雑になってきている。更に、建物の不燃化が進み、耐火構造の建築物は増加の一途をたどっている。このような建物から一旦火災が発生すると、火災によって発生した煙が建物内に充満し、避難が大変難しくなることが予測される。

これらのことから、火災発生時により早く、正確に避難することを目的として、火災時における避難行動を把握するとともに、避難経路の学習効

果について分析し、今後の都民指導に資するため実施したものである。

2. 実験概要

- (1) 実施日
平成4年8月11日、12日及び13日
- (2) 実施場所
立川都民防災教育センター（立川防災館）内
煙体験室
- (3) 実施対象者
立川防災館来館者合計86名
なお、標本構成については、表1から表2のとおり
- (4) 測定項目
ア 避難成功者数

*東村山消防署長 **第四研究室長 ***警防部特殊災害課
 ****第四研究室 *****日黒消防署

- イ 避難所要時間
- ウ 避難経路
- エ 避難距離及び速度
- オ 心拍数
- カ 属性(年齢、性別)

表1 各グループ男女別人数

	男 性	女 性	合計(%)
Aグループ	27	0	27(31.4)
Bグループ	28	1	29(33.7)
Cグループ	28	2	30(34.9)
合 計	83	3	86(100)

表2 各グループ年齢別人数

	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代	平 均
Aグループ (n=27)	3 (11.1)	7 (25.9)	10 (37.0)	7 (25.9)	42.1歳
Bグループ (n=29)	3 (10.3)	10 (34.5)	12 (41.4)	4 (13.8)	39.8歳
Cグループ (n=30)	7 (23.3)	9 (30.0)	9 (30.0)	5 (16.7)	38.2歳
合 計 (n=86)	13 (15.1)	26 (30.2)	31 (36.0)	16 (18.6)	39.6歳

3. 実験方法

(1) 実験条件(学習内容)の設定

被験者を各日とも3グループに分け、以下のような条件で行った。なお被験者には、実験グループと実験番号を記入したシールを胸に張り付けた。

ア Aグループ

イ) 平面図の確認

煙体験室内の平面図(図1及び2)を60秒間提示し、図面上で内部構造を把握する。(以下これを「学習1」とする。)

ロ) 煙体験室内の体験

室内を一巡し、避難経路及びドアの位置等を確認する。

(この時、室内は照明あり、煙無しの状態。)

以下これを「学習2」とする。)

ハ) 避難所要時間の測定

1人ずつ室内に入り、避難にかかった時間(以下「避難所要時間」とする。)を測定する。(この時、室内は照明無し、煙充満の状態。なお、この時の煙の減光係数Cs値は、床

面から10cmの高さで0.1*とした。)

*Cs値0.1は、一般人の避難限界濃度とされている¹⁾が、今回の実験では、照明を消した状態で行っているため、煙は視覚に与える影響は少なく、むしろ心理的圧迫を与えることに関与していたものと考えられる。

イ) Bグループ

上記学習1を行った後、学習2を行わずに避難所要時間等を測定する。

(室内は照明無し、煙充満の状態。)

ウ) Cグループ

学習を行わずに避難所要時間等を測定する。

(室内は照明無し、煙充満の状態。)

なお、A及びBグループに提示した内部の平面図は、1日目及び2日目の被験者には避難経路を明示していないもの(図1)を、3日目の被験者には避難経路を明示してあるもの(図2)とした。

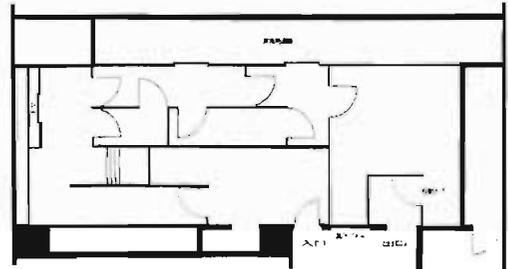


図1 平面図

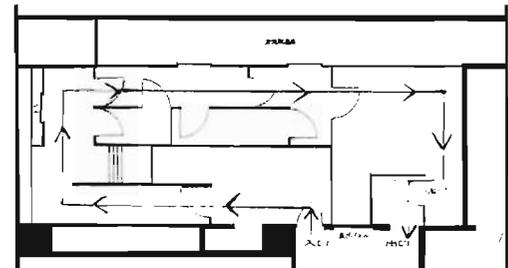


図2 避難経路を明示した平面図

(2) 避難成功者数の測定

煙体験室内は、避難所要時間が120秒を超えると、安全装置が作動して自動的に照明がつくと同時に、内部の煙が強制的に排煙される仕組みになっている。このことから、120秒以内に避難口に到達した者を避難成功者とし、120秒を超えた者については時間切れ者とした。

(3) 避難所要時間の測定

被験者が入口のドアから室内に入った瞬間から避難口に達するまでの時間を、ストップウォッチにより測定した。なお、避難所要時間が120秒を超えた時間切れ者については、避難所要時間を一律に120秒とした。

(4) 避難行動経路の記録

体験者の位置を把握するために、煙体験室の入口に設置されているパネルには30個のポイントが点灯するようになっており、避難行動中の点灯状況をビデオカメラにより撮影し、被験者の足跡をたどることによって避難経路を記録した。

(5) 心拍数の測定

緊張度の指標として、避難行動開始前に各実施日、各グループごとに2名ずつ計18名に携帯心電計を装着し、安静時及び避難行動中の心拍数を測定した。

(6) 属性調査

各被験者の年齢・性別を調査した。



写真1 実験状況

4. 実験結果

(1) 避難成功者の比較

被験者全員のうち、避難開始から120秒以内に避難することができた者と避難できずに時間切れ者となった者の割合を図3に示す。

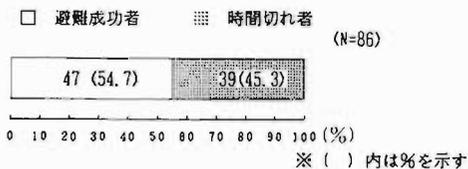


図3 避難成功者 (全体)

ア 時間別避難成功者数

避難に成功した人数を、5秒ごとの時間で累計したものを図4に示す。

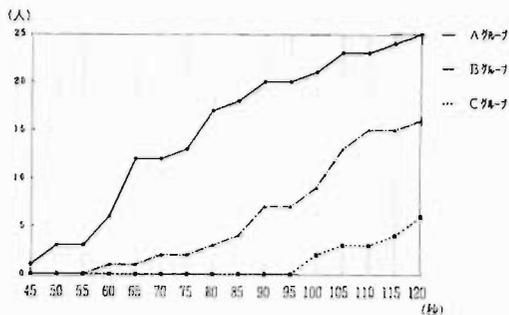


図4 時間別避難成功者

Aグループで最も早く避難した者は開始後45秒であるのに対し、Cグループでは95秒と遅くなっている。また、Bグループは55秒から避難に成功している者がいるが、Aグループに比べ避難に時間がかかっているため、成功する人数の割合が低くなっている。

イ グループ別

グループ別の避難成功者と時間切れ者を比較した結果を図5に示す。

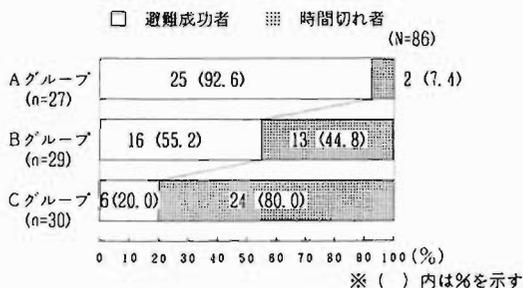


図5 グループ別避難成功者数

図5に示すように、学習1及び学習2を行ったAグループについては、92.6%の者が避難に成功しており、平面図で確認する学習1のみ行ったBグループの55.2%を大きく上回っている。また、学習を行わなかったCグループでは、避難成功者はさらに少なく、20.0%と低い値になっている。

ウ 避難経路の明示の有無

前述の実験方法に示したように、図面を提示したA Bのグループをさらに内部の平面図のみを提示したグループと、平面図に避難経

路を明示して提示したグループとに分けて分析した結果を図6に示す。

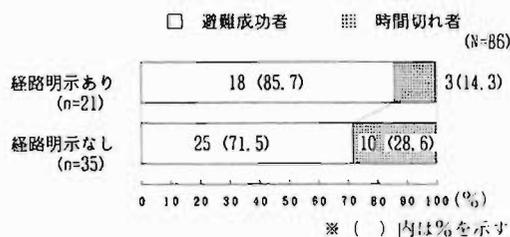


図6 避難経路明示の有無による避難成功者数

避難に成功した者のうち、明示があった者は85.7%と明示がなかった者の71.5%を上回っている。

エ 年代別

避難成功者を年代別にみたものを、図7に示す。

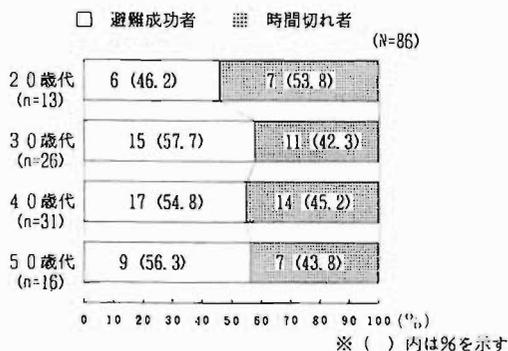


図7 年代別避難成功者数

20歳代の避難成功者の割合が他の年代に比べて低くなっているが、他の年代については大きな差はみられない。

(2) 避難所要時間

次に避難所要時間について分析する。

避難できなかった者の避難所要時間を120秒とした場合、全体の平均避難所要時間は101.0秒であり、また避難成功者のみの避難所要時間を平均すると85.3秒である。

ア グループ別平均避難所要時間

グループごとの平均避難所要時間及びS D値(標準偏差値)を表3に示す。

なお、上段は全体の平均時間を示し、下段は避難成功者のみの平均時間を示す。

表3 グループ別避難所要時間の平均値及びS D値

		Aグループ	Bグループ	Cグループ
全体 (N=86)	平均値	78.2秒	105.3秒	117.5秒
	S D値	22.5	17.4	6.4
避難成功者のみ (N=47)	平均値	74.9秒	93.3秒	107.3秒
	S D値	19.9	15.2	8.8

全体的にみても、避難成功者のみを見ても、Aグループの避難所要時間が最も短く、ついでB・Cグループの順になっている*。

* 統計上の有意差判定では、AとB、BとC及び、CとAの各グループ間にそれぞれ有意差が認められる。

イ 避難経路の明示の有無による平均避難所要時間

避難経路の明示の有無による平均避難所要時間を表4に示す。

表4 避難経路明示の有無による平均避難所要時間及びS D値

		明示あり	明示なし
A	平均	69.4秒	83.4秒
	S D値	13.09	26.15
B	平均	103.1秒	106.6秒
	S D値	14.3	19.8
平均		87.1秒	95.3秒

避難経路を明示した場合、Aグループで14秒、Bグループで3.5秒と平均避難所要時間はそれぞれ早くなっている。

ウ 年代別平均避難所要時間

年代別平均避難所要時間を表5に示す。

表5 年代別平均所要時間

(単位:秒)

	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代
Aグループ	61.3 (3)	81.3 (7)	72.3 (10)	90.9 (7)
Bグループ	112.0 (3)	98.6 (10)	109.3 (12)	105.0 (4)
Cグループ	101.7 (7)	119.6 (9)	115.1 (9)	120.0 (5)
平均	94.8 (13)	101.2 (26)	99.1 (31)	103.5 (16)

※()内は人数を示す

30歳代から50歳代まではAよりもB、BよりもCが長くなっているが、20歳代では、BグループよりもCグループの方が短くなっている。

(3) 避難歩行経路

ビデオに収録した避難歩行経路から、5秒ごとに通過したポイントを分析し、避難行動の特性を調査した。各ポイントに付けた番号をPで示し、位置を図8に示す。

ア 各ポイントの点数化による得点

出口に近づくほど高い得点になるように、各ポイントに得点をつけ、各グループの被験者が5秒ごとに居たポイントの点数を加算し、避難経路を点数化した結果を図9に示す。なお、図8の○で囲んだ数字が、各ポイントに付加した点数である。

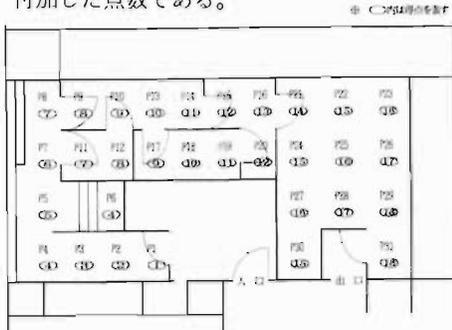


図8 各ポイントの位置及び得点表

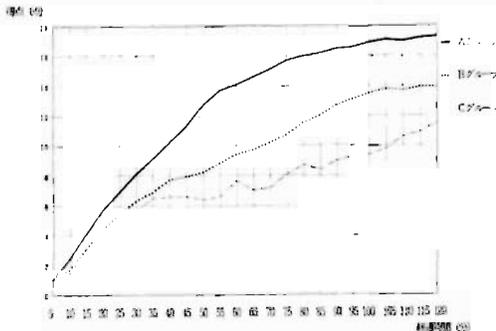


図9 経過時間におけるグループ別平均点数

Aグループは、B・Cグループに比べ、早い時期に高い得点になっている。また、Cグループは得点が上下しており、避難行動中、入口の方向に引き返している様子が見える。

イ 時間ごとの分布状況

避難開始後30秒、60秒、90秒、120秒の30秒ごとに記録し、各時間における被験者の分布状況を4つのゾーンに分け、分析した結果を

図11に示す。なお、4つのゾーンとは、図10のとおりである。

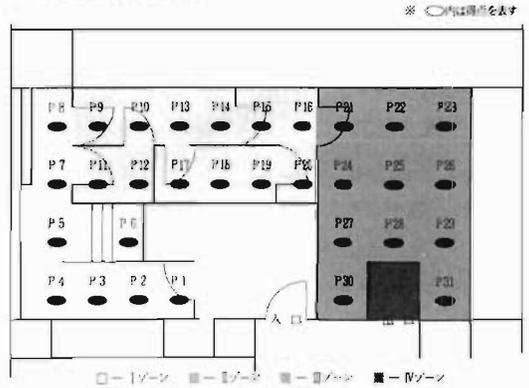


図10 各ゾーン位置

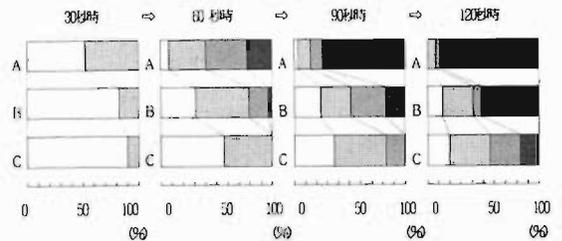


図11 時間の推移による各グループごとの分布状況

Aグループは、30秒経過時にすでに約半数の者がIIゾーンにいるが、B・Cグループでは17%以下になっている。その後もA、B、Cのグループの順で出口に近いゾーンに達している。

(4) 避難速度

ア 避難速度

各被験者について記録した避難経路から歩行距離を算定した後、グループごとに平均値を求め、さらに避難所要時間で除し、避難速度を求めた結果を表6に示す。

表6 歩行距離及び避難速度平均値

		Aグループ	Bグループ	Cグループ
歩行距離	(m)	28.14	29.04	31.30
所要時間	(sec)	78.2	105.3	117.5
避難速度 (m/sec)	平均値	0.37	0.28	0.27
	S D	0.06	0.07	0.06

避難速度は、Aグループが毎秒0.37mであるのに対し、B、Cグループはそれぞれ0.28m、0.27mで、Aグループが、B、Cグループよりも早くなっている*。

* AグループとBグループ、及びAグループとCグループの間に統計上の有意差が認められるが、BグループとCグループの間に有意差は認められない。

イ 避難成功者と時間切れ者の避難速度の比較
避難に成功した者と時間切れになった者の避難速度の平均値を比較した結果を表7に示す。

表7 避難成功者と時間切れ者の避難速度の比較
(単位：m/sec)

	避難成功者	時間切れ者
Aグループ	0.38	0.29
Bグループ	0.32	0.24
Cグループ	0.31	0.27

各グループとも、避難成功者の方が時間切れの者に比べ、避難速度が速くなっている。

(5) 心拍数

避難行動開始前と避難行動中の平均心拍数及び上昇率を表8に示す。

表8 平均心拍数
(単位：拍/分)

番号	Aグループ	年齢	Bグループ	年齢	Cグループ	年齢
1	91(56)	37	121(60)	42	87(56)	40
2	測定不可	—	110(57)	39	98(58)	39
3	143(72)	39	136(68)	39	126(56)	36
4	112(56)	42	測定不可	—	131(64)	43
5	110(70)	39	107(74)	37	127(80)	38
6	131(72)	44	97(66)	40	126(72)	43
平均	117.4 (65.2)	40.2	114.2 (65.0)	39.4	115.8 (64.3)	39.8
上昇率	80.3%		75.7%		80.1%	

* ()内は安静時の心拍数を示す

Aグループの平均心拍数は平均117.4拍/分、Bグループは114.2拍/分、Cグループは115.8拍/分とAグループ、Cグループ、Bグループの順に低くなっている。

安静時の平均心拍数からの上昇率でみると、Bグループが75.7%と低くAグループ、Cグ

ループはそれぞれ80.3%、80.1%と高くなっているが、全体的にあまり差がみられない。

5. 考 察

(1) 避難成功者の比較

避難成功者の比較をグループ別にみると、避難経路の学習効果は確実に現れており、避難経路を全く知らなかったCグループは、20.0%の者しか避難できなかったのに対し、経路図を見て、さらに1回自分の目で避難経路を見ながら歩くという学習を行ったAグループでは、92.6%の者が避難に成功した。また、経路図を見る学習を行っただけのBグループの避難成功者は55.2%と、Cグループに比べると避難に成功した者は多いが、実際に体験したAグループと比較するとかなり少なくなっていることから、避難経路は図面で確認するだけでなく、実際に歩いて経験してみることが大切だということがわかる。

避難経路の明示の有無による差をみると、図面には明確に避難経路を示す必要があり、また図面を確認する側も、建物全体の構造をおおまかに把握するだけでなく、自分自身が現在いる場所から安全に避難することができる経路を確認する必要があることがわかる。

平成4年の「消防に関する世論調査」²⁾によると、旅館やホテルに宿泊する際に、「避難経路を確認する」と答えた人は68.9%となっており全体の3割程度の方は避難経路を確認していないことがわかる。また、「確認する」と回答した人の中には、図面のみ確認したという人も含まれていると推測されることから、安全な避難のため、避難経路は必ず図面で確認し、さらに実際にその経路を歩き、ドアの位置などを確認するように指導する必要がある。

また、「避難経路を確認する」と回答した者は、年代が若くなるほど少なくなっている。これは、若い年代が他の調査結果からも防災に関する意識が低いことや、いざという時でも自分は避難できると過信しているためと考えられる。このことから、若い世代にも避難経路の確認を促す指導を行う必要があると考えられる。

(2) 避難所要時間

避難成功者と同様に、避難所要時間について

は、Aグループが最も早く続いてB、Cグループの順に遅くなっていることから、学習項目が多い者ほど早く避難できることがわかる。特にAグループの避難所要時間が短いのは、実際に歩いてみるという学習を行っているため、内部の構造だけでなく、距離やドアの位置、出口の位置等についても把握していたためと考えられる。このため、より早く避難を行うには、実際に歩いて確認することが必要であると考えられる。

(3) 避難経路

ア 各ポイントの点数化による得点

Aグループが早い時期から高い得点を示しているのは、学習効果により早い時期に避難口に近い所に達しているためであると考えられる。

Cグループには得点の変動がみられ、入口方向に引き返している行動が認められる。これは、出口への方向性を持たずに迷いながら行動しているためと考えられる。

イ 時間ごとの分布状況

一人ひとりの動きを各グループごとに重ね合わせ、30秒ごとの時点で各ゾーンにおける状況をみると、Aグループでは開始後60秒経過時点ですでに、II、IIIゾーンへ進んでいるが、B、CグループではI、IIゾーンにいたることがわかる。さらに120秒ではAグループではほとんどの者が避難に成功しているのに対して、CグループではI、II、IIIゾーンに平均して分布していることが認められ、出口への方向性を持たずに、迷いながら行動していることがうかがえる。

(4) 避難速度

煙の拡散については、廊下など水平方向には $0.5\sim 1.0\text{m/sec}$ 、階段など垂直方向には、 $2\sim 3\text{m/sec}$ と早い速度で移動するとされている。今回の避難速度は、Aグループで 0.37m/sec 、Bグループ 0.28m/sec 、Cグループ 0.27m/sec といずれも煙の拡散速度よりも遅く、早い時期に避難する必要があることがわかる。

避難速度を各グループ別にみると、Aグループが図面だけでなく、実際に避難経路を体験していることから、内部の距離感覚、ドアの位置等も学習しているため、おおむねこの方向へ避

難すれば出口の方向へ向かっているという予測ができ、あまり迷わずに短い時間で避難できたためと考えられる。また、B、Cグループの避難速度が遅くなっているのは、避難行動中の立ち止まりや引き返し行動のためと考えられる。

AグループとB、Cグループの避難速度に統計的な有意差は認められるが、BグループとCグループでは有意な差は認められない。このことから、Bグループのように図面で避難経路を確認するだけではあまり効果はないようであり、実際に歩いて確認することの重要性が認められる。

また、避難速度のSD値をみるとCグループではA、Bグループに比べ小さくなっていることから、学習をしていないCグループでは、ほぼ全員が同じように手探りでゆっくり歩いていたことが認められる。

さらに各グループとも避難速度は避難成功者の方が時間切れ者よりも早くなっている。

以上のことからAグループのように、図面を確認し、さらに避難経路を実際に確認することが、短い時間で避難するために必要であることが認められる。

(5) 心拍数

煙中を避難する際の緊張度を調べるため、心拍数を調査した。各グループの平均心拍数はそれぞれ約115拍/分であり、また、上昇率も約80%であり、いずれも統計的に有意な差は認められなかった。

これらの理由として、実際の避難時のように低姿勢で行動するよう指示したため、姿勢による心拍数への影響、言い換えると心理的よりも身体的負担による影響が大きかったものと考えられる。

また、短い時間で避難に成功した場合、その歩行速度も早くなり、結果的に緊張による影響と身体的影響とが区別できなかったものと思われる。

6. 参考文献

- 1) 火災便覧
日本火災学会 昭和59年
- 2) 消防に関する世論調査 平成4年
東京消防庁