

アイトラッキング技術を用いた消防技術の向上に関する検証 (中隊長の指揮技術)

田近 義宏*, 山口 隼**, 坂本 佑介*, 中西 智宏*

概 要

本検証では、消防活動時における中隊長の視線動作を明らかにし、人材育成に関する基礎資料の作成を目的として検証を実施した。住宅火災により逃げ遅れた要救助者を救出する訓練想定において、中隊長にアイトラッカーを装着し、訓練中の視線動作の計測、分析を実施した。

その結果、要救助者や登てい中の隊員など、明らかな危険箇所を重点的に注視する傾向のある者、現場を広く注視し、広範囲な危険箇所を探る傾向のある者といった、注視傾向の差異を確認することができた。

1 はじめに

昨今の大量退職期を契機とした世代交代により組織の若年化が進み、職員の年齢構成は大きく変化するとともに火災件数は減少傾向が続いており、職員が消火活動の経験を積む機会が減っている。こうした現状を踏まえ、部隊及び個人の消防活動能力の底上げを図るため、より効果的な教育手法の導入が求められている。特に災害現場に最先着するポンプ隊長の指揮技術に関する科学的な分析に基づいた技術伝承を行っている例は数少ない。

消防以外の分野に目を向けると、科学的な技術伝承の方策として熟練者の視線動作の特徴を分析した例が多くある。例えば、スポーツ分野においては、加藤ら¹⁾は野球における打撃準備状態について打者の視線計測を行い、熟練者は網膜周辺部で投手全体を捉えることで効率よく動的な情報を収集していることを明らかにした。夏原ら²⁾は視線計測と言語報告を用いて、熟練サッカー選手は戦術的判断を伴う場面でのパスを行う際、経験による知識の蓄積から、視覚情報を的確に抽出していることを明らかにした。産業分野でも同様に、福田らは熟練農家³⁾や熟練介護士⁴⁾の所作の特徴について視線計測装置を用いることで、熟練者特有の潜在的な行動や知見について明らかにしている。

このように、視線計測を用いて各種技能の分析した事例は数多くあるが、消防分野における視線計測を用いた分析事例は少なくとも国内には見受けられない。

そこで本検証は、人材育成に係る基礎的な知見を得るためにアイトラッキング技術を用いて、消防活動訓練中の中隊長の視線動作を測定し、視線動作を定量的（数値

化、標準化、可視化）に明らかにすることにより、効率的な人材育成に関する基礎資料等に資することを目的として実施するものである。

2 方法

(1) 被験者

表 1 に本検証の被験者の年齢、勤務年数、中隊長経験年数の平均値を示す。被験者は東京消防庁第八消防方面本部内から無作為に選んだ消防署の正規の中隊長 10 名であり、全員が消防司令補の階級であった。

なお、全ての被験者に文書及び口頭にて、本検証の趣旨、検証方法、個人情報の保護、検証参加の可否について説明し、承諾を得ている。

また、本検証は東京消防庁消防技術の改良及び消防活動等の安全対策等のための業務に関する規程第 24 条に基づく技術改良検証倫理審査専門部会に諮問し、承認を得た上で実施された。

表 1 被験者の各種経歴の平均値
(N=10)

	平均値
年齢	45.6
勤務年数	24.0
中隊長経験年数	2.68

* 安全技術課 ** 三鷹消防署

(2) 実施場所

本検証で用いたアイトラッカーは直射日光が当たる環境では視線計測時の注視点が検出されにくくなるため、屋内での訓練が可能な東京消防庁第八消防方面本部訓練場にて検証を実施した。

(3) 訓練内容

図1に本検証で実施した訓練想定を示す。訓練部隊は被験者と同じペア中隊の中隊員（小隊長2名、隊員3名、機関員2名）である。訓練は出場指令から始まるが、被験者は防火衣及び呼吸器を完全着装済みの上、後述のアイトラッカーを装着した状態から訓練を開始した。訓練の流れを以下に示す。

- ① 指令後、中隊員全員が完全着装し乗車後に各車両が発進する。
- ② 現着後、中隊長は火元建物2階にいる要救助者と接触し、指揮を執る。
- ③ 隊員による架てい後、2階の要救助者は倒れ、ダミー人形と入れ替わる。
- ④ 応急はしご救出により2階の要救助者を救出する。
- ⑤ 1階の要救助者を救出する。
- ⑥ 再進入後、フラッシュオーバー兆候の現示旗が表示され想定終了とする。

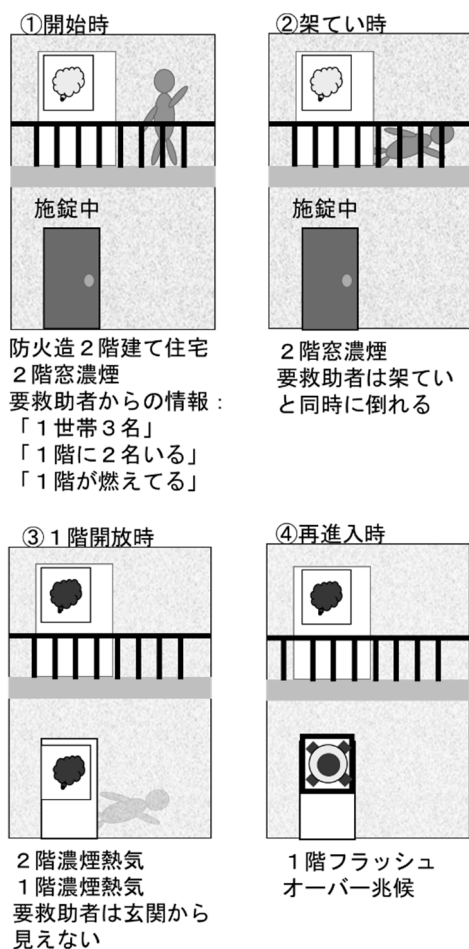


図1 訓練の想定と現示旗の推移

(4) 計測装置

図2に本検証で用いたアイトラッカーの各部名称を、表2にアイトラッカーの諸元性能をそれぞれ示す。アイトラッカーは被験者の眼球運動を実際に測定するメガネ型のヘッドユニット及び測定したデータの記録と表示用パソコンにデータ送信を行うレコーディングユニットにより構成されている。レコーディングユニットは被験者右側のポケットに収納し、ケーブルは背面を通し、養生テープにより防火衣へ固定した。

アイトラッカーにより記録された視線データは、専用解析ソフト（Tobii Pro ラボ）により、シーンカメラの映像と注視点を示す注視ポイントが合成された視線動画（図3参照）の形で出力される。

本検証では専用解析ソフトの視線データのフィルター設定を「Attention」とし、先行研究^{1) 2) 5)}から注視時間の最低値を120 msとした。



図2 アイトラッカーの各部名称

表2 アイトラッカーの諸元性能

装置名称	Tobii pro/glasses 3 トビー・テクノロジー社製
測定原理	角膜反射法、暗瞳孔法 ステレオ画像法
対象	両眼
校正点	1
視差補正	自動
シーンカメラ解像度・フレームレート	1920 × 1080 @ 25fps
サンプリングレート	100 Hz
ヘッドユニット重量	76.5 g
ケーブル長さ	1200 mm
オーディオ	16ビット (モノラル、内臓マイク)
アイカメラ	4 (左右2つずつ)
赤外線LED	16 (左右8つずつ)
レコーディング時間	105 分
動作範囲	温度：-5℃～45℃ 湿度：5%～95%



図3 視線動画の例

(5) 活動内容の審査

被験者の指揮能力を評価するために表3に示す審査項目について「履行なし（0点）」、「著しく劣る（1点）」、「やや劣る（2点）」、「普通（3点）」、「優れる（4点）」、「とても優れる（5点）」の6段階の審査を実施した。

審査は当庁警防部の職員に依頼し、アイトラッカーのシーンカメラにより記録された映像（図3の注視ポイントを除いた映像）により実施した。

表3 審査項目

分類	審査項目
活動	火元建物（施設・内部）、建物周囲の確認
	活動方針（決定・隊員への周知徹底）
	筒先員に対する具体的な指示・下命
	手振りに対する具体的な指示・下命
連携	1小隊長との連携
	2小隊長との連携
	隊員等への具体的な指示、下命、履行の確認
報告	機関員への状況報告（内容・時期）
安全管理	隊員の着装状況確認
	隊員の行動把握
	危険要因に対する予測、判断、隊員への徹底

(6) 興味領域の設定

図4のように被験者が注視していた点を15の領域（興味領域）にカテゴリ化し、その注視時間を計測した。

なお「2階その他」、「1階その他」とは、他のどの領域にも注視点が該当せず、その注視点の位置が2階相当の位置にある場合を「2階その他」、1階相当の位置にある場合を「1階その他」とカテゴリ化した。

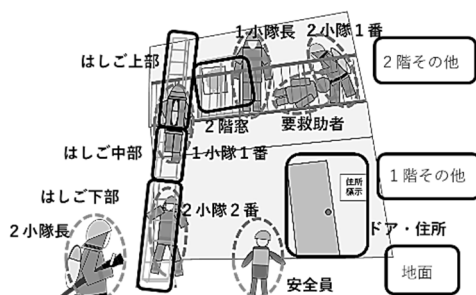


図4 興味領域の概略

(7) フェーズの設定

現着から応急はしごによる救出完了までの訓練想定を以下に示す6つのフェーズに分割し、そのフェーズごとに視線データの分析を実施した。

ア フェーズ1 (Ph1): 要救助者への初注視から搬送されたはしごの石突きが接地するまで。

イ フェーズ2 (Ph2): フェーズ1終了から2階手すりにはしごが接触するまで。

ウ フェーズ3 (Ph3): フェーズ2終了から隊員又は小隊長いずれか2名が2階へ進入するまで。

エ フェーズ4 (Ph4): フェーズ3終了から上部支点の設定者が2階へ進入するまで。

オ フェーズ5 (Ph5): フェーズ4終了から下部確保の準備が完了するまで。

カ フェーズ6 (Ph6): フェーズ5終了から要救助者が接地又は確保されるまで。

3 結果

(1) 審査得点と中隊長経験年数の関係

ア 審査結果と各パラメータの比較及び比較群の定義

表4に2(5)で示した活動内容の審査得点と年齢、勤務年数及び中隊長経験年数の比較とその相関係数を算出し、さらに有意水準を0.05として無相関の検定を行った結果を示す。全ての比較について、有意な相関が認められた。特に中隊長経験年数と審査得点の比較における相関係数が-0.81と非常に強い相関があった。

ここで、図5に審査得点と中隊長経験年数に関する散布図を示す。審査得点が高く中隊長経験年数が短い群をⅠ群、審査得点が低く中隊長経験年数が長い群をⅡ群と定義し、以下ではこの比較群を用いて検討した。

表4 審査得点と各項目の比較における相関係数と検定の結果（N=10）

審査得点	相関係数	t 値	p 値
年齢	-0.68	2.6	0.031
勤務年数	-0.80	3.7	0.0057
中隊長経験年数	-0.81	3.9	0.0046

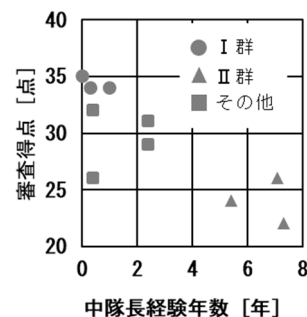


図5 審査得点と中隊長経験年数の関係

イ 審査結果の各分類の比較

図6に表3の各分類の平均得点率（各分類の平均得点／各分類の満点）をⅠ群とⅡ群で比較した結果を示す。t検定による差の検定（有意水準0.05）を実施した結果、「活動」、「連携」及び「安全管理」に有意差が認められ、Ⅰ群の平均得点率はⅡ群よりも高かった。

また、表5に審査員のコメントについてまとめたものを示す。Ⅰ群の被験者は要救助者や小隊長に的確な指示を出していた中隊長が多かったのに対し、Ⅱ群の被験者は要救助者に対する指示の不適や、小隊長や隊員との連携不足といった点が見られた。

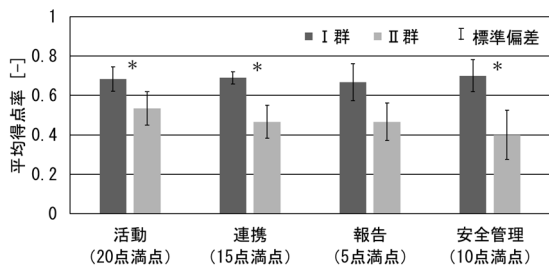


図6 各分類の平均と得点率のⅠ群とⅡ群の比較

表5 審査員のコメントまとめ

優れていた点	
Ⅰ群	活動：要救助者に早期に避難の指示をしていた 連携：2小隊長に局面指揮を下命した
Ⅱ群	コメントなし
劣っていた点	
Ⅰ群	活動：建物周囲の確認なし
Ⅱ群	活動：玄関ドアの確認が遅い
	活動：要救助者に対し煙の方向へ避難指示した
	連携：1小隊長と連携なし
	安全管理：縛着不適を指摘していない
	安全管理：隊員の行動を把握していない
Ⅱ群	安全管理：煙を背にした活動を指摘していない

(2) 各興味領域の注視割合

各フェーズにおける注視時間の合計に対する、各興味領域の注視時間の割合を注視割合と定義し群ごとの平均値を比較した。（式①参照）

注視割合 [%] =

$$\frac{\text{各興味領域の注視時間 [s]}}{\text{各フェーズの注視時間の合計 [s]}} \times 100 \quad \dots \text{式①}$$

また、統計処理としてt検定による差の検定を実施した。以下に各フェーズの結果を示す。

ア フェーズ1

図7にフェーズ1における注視割合の群ごとの平均値の比較を示す。その結果、「要救助者」と「2階窓」に有意差（ $p < 0.05$ ）が認められ、「1階その他」と「地面」に有意傾向（ $p < 0.1$ ）が認められた。「要救助者」の注視割合はⅠ群72%、Ⅱ群50%で、Ⅰ群の注視割合の方が大きく、両群ともこのフェーズにおいて「要救助者」を最も注視していた。「2階窓」の注視割合はⅠ群1.2%、Ⅱ群9.1%で、Ⅱ群の注視割合の方が大きかった。「1階その他」の注視割合はⅠ群3.3%、Ⅱ群9.2%で、Ⅱ群の注視割合の方が大きかった。「地面」の注視割合はⅠ群0.42%、Ⅱ群1.8%で、Ⅱ群の注視割合の方が大きかった。

イ フェーズ2

図8にフェーズ2における注視割合の群ごとの平均値の比較を示す。その結果、どの興味領域においても有意差及び有意傾向は認められなかった。「要救助者」の注視割合はⅠ群31%、Ⅱ群23%で、両群ともこのフェーズにおいて「要救助者」を最も注視していた。

ウ フェーズ3

図9にフェーズ3における注視割合の群ごとの平均値の比較を示す。その結果、「はしご中部」に有意差が認められた。「はしご中部」の注視割合はⅠ群5.8%、Ⅱ群1.0%で、Ⅰ群の注視割合の方が大きかった。「2小隊1番」の注視割合はⅠ群19%、Ⅱ群22%で、両群ともこのフェーズにおいて「2小隊1番」を最も注視していた。

エ フェーズ4

図10にフェーズ4における注視割合の群ごとの平均値の比較を示す。その結果、「2小隊長」に有意傾向が認められた。「2小隊長」の注視割合はⅠ群1.2%、Ⅱ群4.7%で、Ⅱ群の注視割合の方が大きかった。「1小隊1番」の注視割合はⅠ群30%、Ⅱ群19%で、両群ともこのフェーズにおいて「1小隊1番」を最も注視していた。

オ フェーズ5

図11にフェーズ5における注視割合の群ごとの平均値の比較を示す。その結果、どの興味領域においても有意差及び有意傾向は認められなかった。両群とも注視割合が10%を超えた興味領域は「2小隊1番」、「1小隊長」の領域であった。

カ フェーズ6

図12にフェーズ6における注視割合の群ごとの平均値の比較を示す。その結果、「2小隊1番」に有意傾向が認められた。「2小隊1番」の注視割合はⅠ群0.29%、Ⅱ群18%で、Ⅱ群の注視割合の方が大きかった。「要救助者」の注視割合は両群とも50%を超えており、両群ともこのフェーズにおいて「要救助者」を最も注視していた。

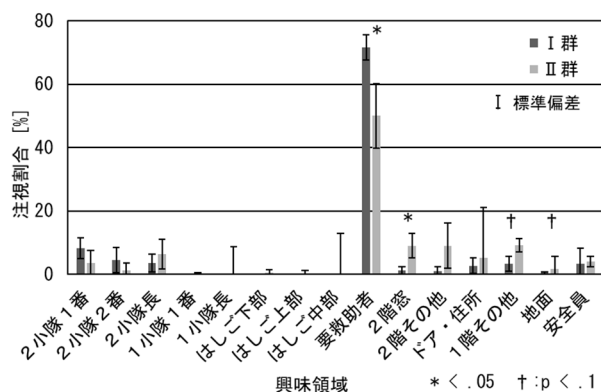


図7 フェーズ1における注視割合の群ごとの平均値の比較

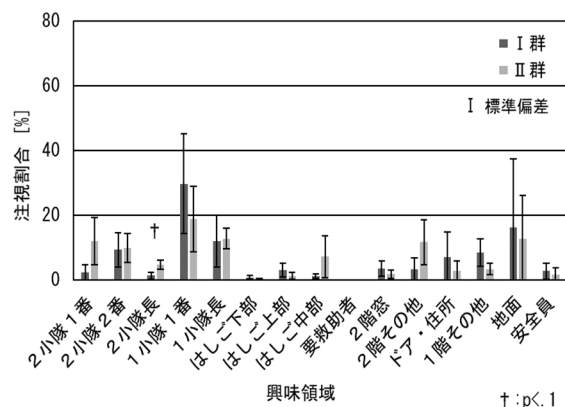


図10 フェーズ4における注視割合の群ごとの平均値の比較

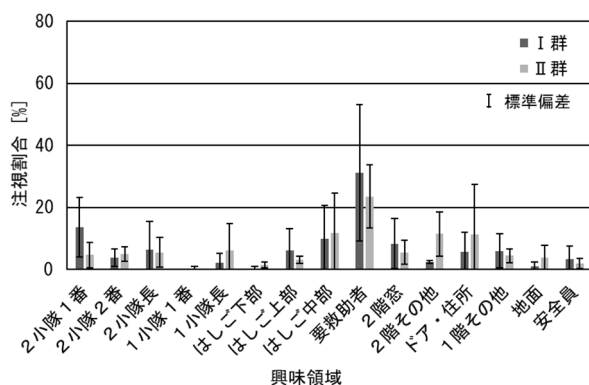


図8 フェーズ2における注視割合の群ごとの平均値の比較

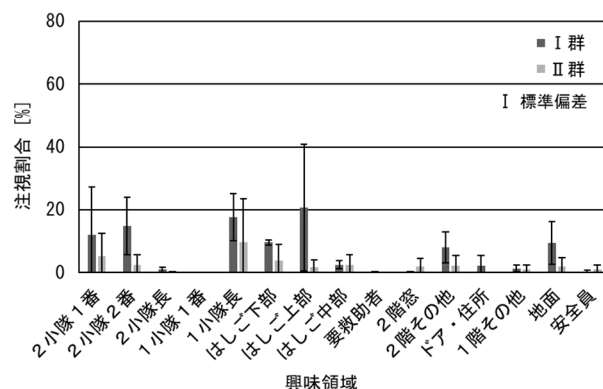


図11 フェーズ5における注視割合の群ごとの平均値の比較

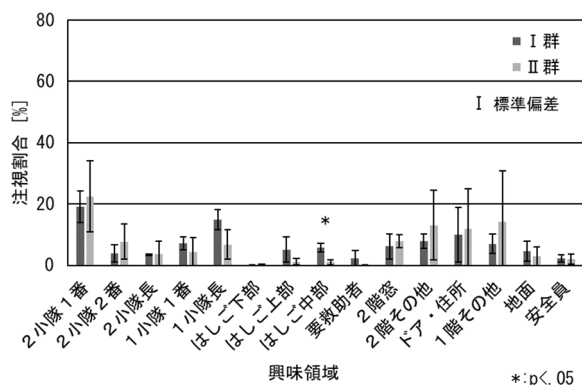


図9 フェーズ3における注視割合の群ごとの平均値の比較

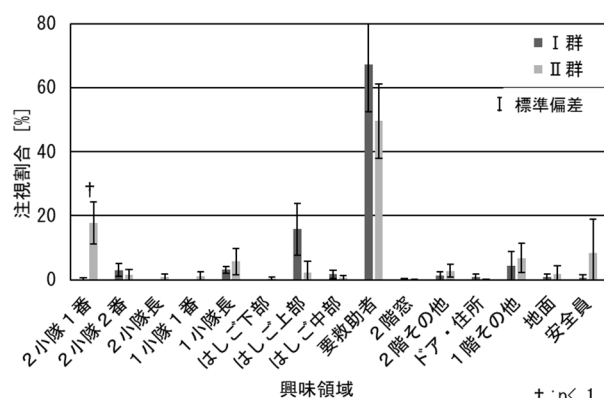


図12 フェーズ6における注視割合の群ごとの平均値の比較

(3) 動きのある興味領域の注視割合

伸びているのはしごや登っている隊員などの動きのある興味領域について分析するために、表6に示す理由でフェーズごとに動きのある興味領域を選出し、その注視割合を合計した。図13に動きのある興味領域における注視割合の群ごとの比較を示す。その結果、どのフェーズにおいても、I群の注視割合の方がII群よりも大きかった。

表 6 各フェーズで選出した動きのある興味領域とその理由

フェーズ	選出した動きのある興味領域	選出理由
フェーズ 1	要救助者	助けを求める・情報提供をする
フェーズ 2	2 小隊 1 番、2 小隊 2 番	はしご搬送・架ていをする
	はしご下部、はしご上部、はしご中部	搬送・架ていをされる
フェーズ 3	要救助者	架てい後倒れる
	2 小隊 1 番、1 小隊長	登ていする
フェーズ 4	1 小隊 1 番	登てい・救助ロープの設定する
	1 小隊長	2 階で局面指揮を執る
	はしご上部	救助ロープの上部支点
フェーズ 5	2 小隊 2 番員	ロープの整理、はしごの掛け替えをする
	1 小隊長	2 階で局面指揮を執る
	はしご下部、はしご上部、はしご中部	掛け替えされる
フェーズ 6	2 小隊 1 番、1 小隊長 1 番	2 階で救出作業をする
	1 小隊長	2 階で局面指揮を執る
	2 小隊 2 番	1 階で救助ロープを確保する
	はしご上部	上部支点となる
	要救助者	救出される

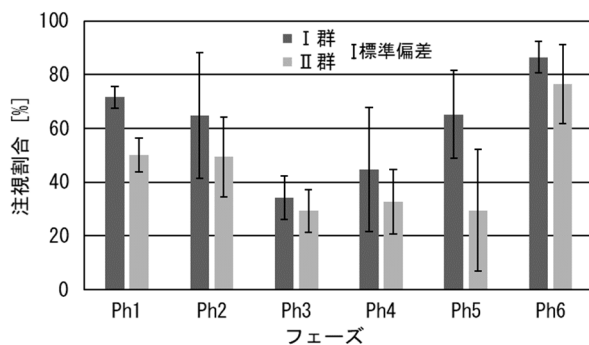


図 13 動きのある興味領域における注視割合の群ごとの平均値の比較

4 考察

審査得点は高いが中隊長経験年数が短い I 群（3 名）と、審査得点は低いが中隊長経験年数が長い II 群（3 名）について、活動内容審査と視線計測により、各群の注視傾向の違いについて検討した。

(1) 現着時の注視傾向について（フェーズ 1）

図 7 より、両群とも要救助者に対する注視割合が最も大きかったが、要救助者以外の領域については、II 群の注視割合の方が I 群よりも大きかった。

本検証における要救助者は会話が可能であり、そこから情報収集を行うことや要救助者の容態変化について目を離さずにいることは先着中隊長の重要な任務であるため、全ての被験者が要救助者に注視していた。

図 14 に現着時における注視傾向についての概略を示す。II 群の中隊長経験が長い被験者は I 群よりも建物から離れた位置で現示旗の推移、隣棟の延焼危険等の要救

助者以外の情報について、I 群よりも頻繁に確認していた。これは II 群の被験者は I 群と比較して現場や訓練経験が多いため、現着時の状況判断を無意識に実施したためと考えられる。しかし、II 群の被験者は同時に「訓練慣れ」していたことで、表 5 に示した審査員のコメントにあるように要救助者を煙の方向へ誘導する、玄関ドアの確認が遅れるなどの基本的な動作を省略してしまい、高得点に至らなかったと考えられる。



図 14 現着時における注視傾向の概略（上図：I 群 下図：II 群）

(2) 架てい時の注視傾向について（フェーズ2）

図8より、両群に有意差がある興味領域はなかったが、隊員やはしごに対する注視は両群とも少なく、要救助者に対する注視割合が大きい傾向にあった。架てい操作は最も基本的な消防技術であるため、起てい時や伸てい時にはしごを一瞬注視する以外は架てい操作を注視する必要はなく、要救助者の様態変化について注視していたと考えられる。

(3) 隊員登てい、救助ロープ設定時の注視傾向について（フェーズ3、4）

図9、図10より、両群とも登てい者である2小隊1番や1小隊長及びロープ設定者である1小隊1番について注視割合が大きく、登てい時や2階進入時といった危険な場面について隊員をよく注視していた。

図9より、フェーズ3のはしご中部の領域について有意差が認められ、I群の注視割合の方がII群よりも大きかった。図15にフェーズ3における登てい者がいない場面での注視傾向の概略を示す。I群の被験者は登てい者がいない時、はしごを中心に注視し下命や無線報告等をしているのに対し、II群の被験者は1階及び2階で作業している隊員を交互に注視している傾向が見られた。

図10より、フェーズ4の2小隊長の領域について、II群の注視割合の方がI群よりも大きかった。図16にフェーズ4における2小隊長に対する注視傾向の概略を示す。I群の被験者は建物に近い位置で指揮を執り、2小隊長と建物が同時に視野に入っていなかった。それに対して、II群の被験者は建物からある程度距離をとっており、2小隊長と建物が同時に視野に入っているため、I群の被験者と比較し2小隊長を注視しやすかったと考えられる。

以上より、登てい、救助ロープ設定の場面ではII群の被験者は隊員を良く見ているようであるが、図6を見ると、連携の項目でI群よりも点数が低い結果であった。II群の被験者は現場を俯瞰的に見るために、建物から離れて指揮を執り、I群の被験者と比較して隊員との距離が離れたため、連携不足と判断されたと考えられる。

(4) 救出準備時の注視傾向について（フェーズ5）

図11より、両群に有意差がある興味領域は認められなかったが、2階で救出準備をしている2小隊1番、1小隊長の注視割合が両群とも10%を超えておりどの被験者も2階での作業状況について配意をしていたと考えられる。

(5) 救出時の注視傾向について（フェーズ6）

図12より、両群ともに要救助者やその周辺をよく注視していた。要救助者が最も危険にさらされる場面であるため、どの被験者も要救助者の縛着状態や隊員の確保状態をよく注視していたと考えられる。

(5) I群とII群の注視傾向の違い

図13より、I群の被験者は動きのある興味領域をよく注視していたが、II群の被験者は動きの少ない興味領域についてもよく注視していた。II群の被験者は中隊長経

験年数が長いことから、その経験に基づいて現場を広く見ることができていたと考えられる。それに対して、I群の被験者は建物に接近し、隊員の近くで指揮を執ろうとしたため、注視する対象に偏りが出たと考えられる。

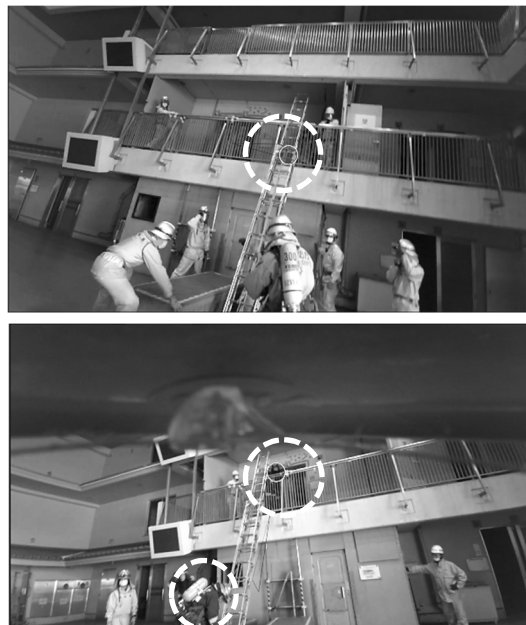


図15 フェーズ3における登てい者がいない場面での注視傾向の概略（上図：I群 下図：II群）



図16 フェーズ4における2小隊長に対する注視傾向の概略（上図：I群 下図：II群）

5 まとめ

本検証ではアイトラッキング技術により消防活動中の指揮者の視線動作について測定し、各局面における視線傾向について明らかにした。

特に、ポイントを絞って注視することで隊員との距離が近くなり良好な連携が取れた者、活動全体を注視することで危険の察知がしやすくなった者といった２種類の注視の特徴について確認することができた。

6 おわりに

本検証では消防機関として初となるアイトラッキング技術を活用した各種検証、実験を実施したが、今後更なる視線計測を行いより正確な現場での注視傾向を探る必要がある。

7 謝辞

本検証にあたり、東京成徳大学夏原准教授には多大なるご協力を賜りました。ここに感謝申し上げます。

[参考文献]

- (1) 加藤貴昭、福田忠彦：野球の打撃準備相における打者の視覚探索ストラテジー、人間工学、38、pp. 333-340、2002
- (2) 夏原隆之、ほか6名：サッカーにおける戦術的判断を伴うパスの遂行を支える認知プロセス、体育学研究、60、pp. 71-85、2015
- (3) 福田亮子、ほか4名：視線計測を用いた熟練農家の特徴抽出の試み、第25回人工知能学会論文集、2B1-OS13-6、2011
- (4) 福田亮子、ほか4名：視線計測を用いた熟練介護士の特徴抽出、人工知能学会第二種研究会資料、2011 巻 SAI-012 号、pp. 2-8、2011
- (5) 石橋千征、ほか4名、バスケットボール戦術下でのリバウンド行為中における熟練者の視覚探索活動、スポーツ産業学研究、23、1、pp. 45-53、2013

Verification for the Improvement of Fire Department Techniques Using Eye-tracking Technology (Company Chiefs' Command Techniques)

TAJIKA Yoshihiro*, YAMAGUCHI Shun**, SAKAMOTO Yuusuke*, NAKANISHI Tomohiro*

Abstract

We conducted this verification to clarify the eye movement of company chiefs during firefighting activities and create the basic data on human resource development. Under a residential fire rescue training scenario, company chiefs were fitted with an eye tracker to measure and analyze their eye movement.

We confirmed the differences in their gazing tendencies with regard to their attention on those in need of rescue and on the crew members on the ladder. Some tended to focus their attention on obvious danger spots, and in contrast, others heeded the scene, checking broadly for danger spots.