

水害時避難から高齢化時代の減災対策を考える

THINKING ABOUT DISASTER REDUCTION MEASURES IN AGING ERA FROM FLOOD EVACUATION

石垣泰輔¹

Taisuke ISHIGAKI

¹ 関西大学環境都市工学部(〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

1. はじめに

近年, 自然災害が頻発しているが, その拡大要因としては, 地球規模の環境変化, 都市化および高齢化の進展があげられる. わが国では, 現在, 高齢化率が 25%を超え, 2050 年には 40%に達すると予測されており, 高齢化社会における災害対策のあり方が喫緊の課題となっている. 図1は, 1995 年の阪神・淡路大震災, 2011 年の東日本大震災および 2012 年のハリケーンサンディにおける被災者の年代別割合を示したものである. 図より, いずれの災害においても 60 代以上の犠牲者が大半を占めている. 阪神・淡路大震災では建物倒壊による被災, 東日本大震災では津波による被災, ハリケーンサンディでは高潮による被災であり, 被災原因は異なるが高齢者の被災割合は高く, 高齢者避難の重要性が再確認される. ここでは, 水害時避難という観点より高齢化時代の減災対策について考える.

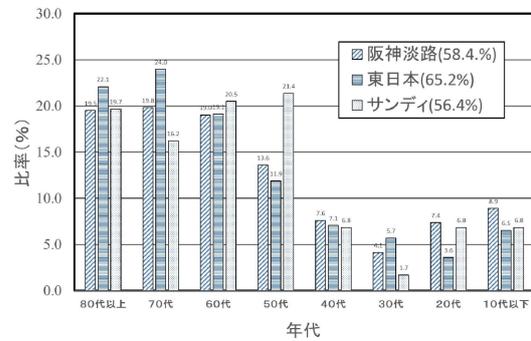


図 1 被災者の年齢構成(防災白書および災害報告書データより作成)

2. 水害被害の実態と高齢化

水害による高齢者被害の実態をみるため, 2009 年から 2011 年に発生した水害による犠牲者について, 読売新聞, 毎日新聞, 京都新聞および日本経済新聞の記事から, 災害名, 年齢, 被災場所, 被災状況を読み取り, 重複する内容を除いて取りまとめた結果を表1に示す. 2009 年は, 中国・九州北部豪雨と台風 10 号~27 号, 2010 年は, 梅雨前線に伴う豪雨と奄美豪雨, 2011 年は, 台風 12 号による紀伊半島豪雨災害を対象とした. 17 県 36 市町村での被災状況を示している. これらのデータより被災原因について整理すると図2のようになる. 図より, 土砂による被災が 38%と最も多く, 洪水による 35%を上回



図 2 被災原因

っていることがわかる.

表2は, 36 市町村の高齢化率と被災者の高齢者率を整理した結果である. 36 市町村の 72%の 26 市町村が全国平均の 25%を超えており, 兵庫県佐用町を除き, 高齢化率と被災者の高齢者率是对応しているようである. なお, 佐用町では, 家族で避難途中に流された非高齢者の存在が低い高齢者率の原因である. 被災原因毎の高齢者率を図3に示す. 図より, 屋内で土砂による被害

表1 新聞記事にみる台風および豪雨災害による被災状況(2009-2011)

年月日			年齢	性別	場所	災害名	状況(理由)
年	月	日					
2009	7	25	73	男性	福岡県福智町	中国・九州北部豪雨	土砂崩れによる家屋倒壊に巻き込まれた
2009	7	25	82	男性	福岡県福智町	中国・九州北部豪雨	土砂崩れによる家屋倒壊に巻き込まれた
2009	7	25	67	女性	長崎県位香岐市	中国・九州北部豪雨	土砂崩れによって倒れたブロック塀に挟まれた
2009	7	25	72	女性	山口県美祢市	中国・九州北部豪雨	不明
2009	7	25	63	男性	山口県防府市	中国・九州北部豪雨	特別養護老人ホームで土石流に巻き込まれた
2009	7	25	92	女性	山口県防府市	中国・九州北部豪雨	特別養護老人ホームで土石流に巻き込まれた
2009	7	25	85	女性	山口県防府市	中国・九州北部豪雨	土石流に巻き込まれ外傷性ショック死
2009	7	25	66	男性	山口県防府市	中国・九州北部豪雨	増水した川に流された
2009	7	25	74	男性	山口県防府市	中国・九州北部豪雨	増水した川に流された
2009	7	25	60	男性	福岡県嘉麻市	中国・九州北部豪雨	水路に流された
2009	7	26	91	女性	広島県東広島市	中国・九州北部豪雨	土砂崩れによる家屋倒壊に巻き込まれた
2009	7	26	67	男性	広島県東広島市	中国・九州北部豪雨	土砂崩れによる家屋倒壊に巻き込まれた
2009	7	26	67	女性	福岡県北九州市	中国・九州北部豪雨	増水した川に転落した
2009	7	27	5	男性	福岡県大野城市	中国・九州北部豪雨	乗車していたワゴンが土砂崩れに巻き込まれた
2009	7	27	58	男性	福岡県大野城市	中国・九州北部豪雨	乗車していたワゴンが土砂崩れに巻き込まれた
2009	7	27	61	女性	福岡県篠栗町	中国・九州北部豪雨	土砂崩れにより家屋が倒壊した
2009	7	27	34	女性	福岡県篠栗町	中国・九州北部豪雨	土砂崩れにより家屋が倒壊した
2009	7	27	76	女性	山口県防府市	中国・九州北部豪雨	不明
2009	7	27	78	男性	福岡県筑紫野市	中国・九州北部豪雨	自宅裏山の土砂崩れで生き埋めになった
2009	7	27	72	男性	福岡県福岡市	中国・九州北部豪雨	自宅裏山の土砂崩れで生き埋めになった
2009	8	10	65	女性	兵庫県朝来市	台風9号	不明
2009	8	10	67	女性	徳島県徳島市	台風9号	乗っていた車が用水路に転落した
2009	8	10	61	男性	徳島県吉野川市	台風9号	係留中の船を引き揚げに行ったが川に転落した
2009	8	10	74	男性	岡山県美作市	台風9号	在宅中に土砂崩れにより民家が倒壊した
2009	8	10	68	女性	岡山県美作市	台風9号	在宅中に土砂崩れにより民家が倒壊した
2009	8	10	70	男性	岡山県美作市	台風9号	在宅中に土砂崩れにより民家が倒壊した
2009	8	10	72	男性	岡山県美作市	台風9号	在宅中に土砂崩れにより民家が倒壊した
2009	8	10	86	女性	兵庫県佐用町	台風9号	不明
2009	8	10	65	男性	兵庫県朝来市	台風9号	避難途中で水路に転落した
2009	8	13	54	男性	兵庫県佐用町	台風9号	車に乗車中に車が水没した
2009	8	13	47	女性	兵庫県佐用町	台風9号	車に乗車中に濁流に流された
2009	8	13	14	男性	兵庫県佐用町	台風9号	車に乗車中に濁流に流された
2009	8	13	49	男性	兵庫県佐用町	台風9号	車に乗車中に濁流に流された
2009	8	16	40	女性	兵庫県佐用町	台風9号	自主避難中に濁流に流された
2009	8	16	16	女性	兵庫県佐用町	台風9号	自主避難中に濁流に流された
2009	8	16	47	女性	兵庫県佐用町	台風9号	自主避難中に濁流に流された
2009	8	16	15	女性	兵庫県佐用町	台風9号	自主避難中に濁流に流された
2009	8	16	56	男性	兵庫県佐用町	台風9号	船が転覆し濁流に流された
2009	8	16	48	男性	兵庫県佐用町	台風9号	不明
2010	7	14	78	女性	広島県廿日市	梅雨前線豪雨	不明
2010	7	15	72	女性	広島県呉市	梅雨前線豪雨	川で土嚢を積んでる際に土砂に巻き込まれた
2010	7	15	77	女性	広島県三原市	梅雨前線豪雨	川で濁流にのまれた
2010	7	16	87	女性	広島県庄原市川	梅雨前線豪雨	氾濫水で家屋が倒壊し行方不明
2010	7	16	73	女性	岐阜県八百津町	梅雨前線豪雨	在宅中に土砂崩れが発生
2010	7	16	72	男性	岐阜県八百津町	梅雨前線豪雨	在宅中に土砂崩れが発生
2010	7	16	41	男性	岐阜県八百津町	梅雨前線豪雨	在宅中に土砂崩れが発生
2010	7	16	73	女性	広島県世羅町	梅雨前線豪雨	在宅中に土砂崩れが発生
2010	7	16	37	女性	島根県松江市	梅雨前線豪雨	就寝中に土砂崩れによって岩が直撃した
2010	7	16	7	女性	島根県松江市	梅雨前線豪雨	就寝中に土砂崩れによって岩の下敷きになった
2010	10	20	88	女性	鹿児島県奄美市	奄美豪雨	土砂崩れにより行方不明
2010	10	20	不明	女性	鹿児島県奄美市	奄美豪雨	老人ホーム「わだつみ苑」が孤立し救助時に死亡が確認された
2010	10	20	不明	女性	鹿児島県奄美市	奄美豪雨	老人ホーム「わだつみ苑」が孤立し救助時に死亡が確認された
2011	9	4	73	男性	奈良県五条市	台風12号	自宅が土砂崩れで全壊し土砂の中から見つかった
2011	9	5	69	女性	和歌山県田辺市	台風12号	雨量が1800mmを超えた記録的な豪雨となり地滑りで6棟が倒壊うち2棟にいた
2011	9	5	80	男性	和歌山県田辺市	台風12号	車で避難する途中、冠水した道路で立ち往生し浸水した車内にて遺体で発見された
2011	9	5	74	男性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	5	67	女性	奈良県五条市	台風12号	土砂崩れで熊野川がせきとめられ溢れた水で家屋数棟が流され土石流に巻き込まれた。死因は外傷性ショック死
2011	9	5	82	男性	奈良県五条市	台風12号	土砂災害で村営住宅2棟が流され、遺体で発見された
2011	9	5	89	女性	三重県御浜町	台風12号	半壊状態の自宅の前で倒れていた
2011	9	5	80	男性	三重県紀宝町	台風12号	倒れていたところを発見された
2011	9	5	87	男性	三重県紀宝町	台風12号	遺体が自宅の入り口近くで見つかった。水死とみられる
2011	9	5	89	女性	三重県御浜町	台風12号	尾島志川が氾濫して集落に濁流が流れ込み自宅で倒れるところ発見
2011	9	5	87	男性	三重県紀宝町	台風12号	不明
2011	9	6	68	男性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	6	86	女性	和歌山県田辺市	台風12号	不明
2011	9	6	79	男性	和歌山県田辺市	台風12号	不明
2011	9	6	65	女性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	6	89	女性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	6	65	男性	和歌山県田辺市	台風12号	不明
2011	9	6	72	男性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	6	87	女性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	6	75	女性	徳島県三好市	台風12号	不明
2011	9	6	83	男性	徳島県三好市	台風12号	不明
2011	9	6	86	男性	徳島県阿南市	台風12号	不明
2011	9	7	81	女性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	8	85	男性	和歌山県田辺市	台風12号	不明
2011	9	8	80	女性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	8	65	男性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	8	66	女性	和歌山県新宮市	台風12号	不明
2011	9	15	84	女性	香川県讃岐市	台風12号	徳島県沖にて遺体で発見された
2011	9	20	初老	男性	大阪府豊中市	台風15号	増水した川で流され死亡した
2011	9	21	71	男性	佐賀県唐津市	台風15号	海に転落して死亡
2011	9	21	84	男性	岐阜県多治見市	台風15号	増水した用水路や川に流され死亡
2011	9	21	79	男性	岐阜県多治見市	台風15号	増水した用水路で流された
2011	9	22	86	女性	石川県白山市	台風15号	歩行中に強風にあおられ転倒、左足を骨折
2011	9	22	87	男性	石川県白山市	台風15号	歩行中に強風にあおられ転倒、右足を骨折
2011	9	26	71	女性	和歌山県田辺市	台風12号	自宅が土石流に巻き込まれて死亡
2011	9	26	90	女性	和歌山県田辺市	台風12号	自宅が土石流に巻き込まれて死亡

表2 被災市町村の高齢化率と被災者の高齢者率

市町村	市町村の高齢化率	被災者の高齢者率	市町村	市町村の高齢化率	被災者の高齢者率
石川県白山市	20.7	100.0	広島県世羅町	36.0	100.0
岐阜県八百津町	32.5	66.7	山口県美祿市	33.0	100.0
岐阜県多治見市	22.7	100.0	山口県防府市	25.4	100.0
三重県紀宝町	28.5	100.0	徳島県徳島市	23.7	100.0
三重県御浜町	33.6	100.0	徳島県吉野川市	30.2	0.0
大阪府豊中市	22.0	100.0	徳島県三好市	38.0	100.0
兵庫県朝来市	30.3	100.0	徳島県阿南市	26.8	100.0
兵庫県佐用町	34.0	9.1	香川県讃岐市	29.2	100.0
奈良県五条市	38.4	100.0	福岡県福智町	27.8	100.0
和歌山県田辺市	28.0	100.0	福岡県嘉麻市	30.3	0.0
和歌山県新宮市	31.0	66.7	福岡県北九州市	26.3	100.0
島根県松江市	24.8	0.0	福岡県大野城市	17.2	0.0
岡山県美作市	35.2	100.0	福岡県篠栗町	19.5	0.0
広島県東広島市	18.9	100.0	福岡県筑紫野市	18.5	100.0
広島県廿日市	23.5	100.0	福岡県福岡市	16.0	100.0
広島県呉市	29.3	100.0	佐賀県唐津市	25.9	100.0
広島県三原市	28.5	100.0	長崎県位香岐市	31.8	100.0
広島県庄原市	37.7	100.0	鹿児島県奄美市	25.8	100.0

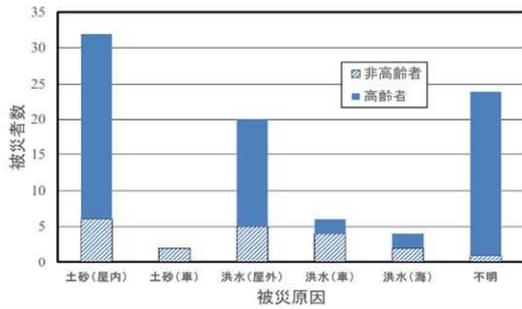


図3 被災原因別の高齢者数

にあった、あるいは、屋外で濁流に流された高齢者が多いことが分かり、このような被害を軽減するため、高齢者の水害時における早期避難の重要性であることを示している。

3. 高齢者の避難

これまで、水害時の避難について、実物大の階段模型等を用いた体験実験を実施して検討してきた^{1)~11)}。その中で、写真1に示すような高齢者体験キットを用いた浸水時の歩行実験結果に基づいて、避難時の安全性について単位幅比力を指標として利用できることを示した⁴⁾。高齢者による実験は危険を伴うことから、若年者が体験キットを装着して実験を行った。これは、歩行速度が老化の程度を知るうえで良い指標となること¹²⁾を根拠としており、若年者が体験キットを装着することにより歩行速度が減少し、70歳程度の歩行速度となることを確認している。これらの実験結果より、浸水時歩行の安全性を判断する指標として単位幅比力 M_0 を用いることを提案した⁴⁾。その結果を、流速と水深で表すと図4のようになり、指標を表す曲線を超えると安全避難が困難になる。



写真1 高齢者体験キットを用いた避難体験実験

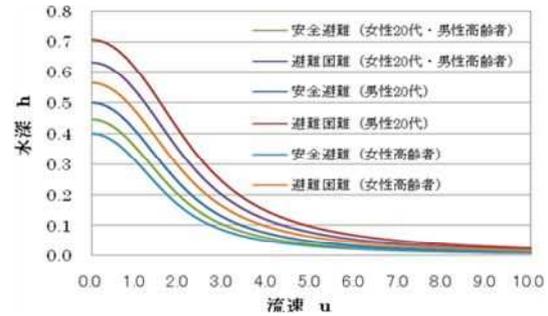


図4 水深と流速で表した単位幅比力

ここに、単位幅比力 M_0 は、次式で表される。

$$M_0 = u^2 h / g + h^2 / 2$$

ここに、 u は流速、 h は水深、 g は重力加速度である。

写真1で示した一連の実験結果より、浸水した通路および階段の歩行速度 V を単位幅比力の関数として、以下に示す式で表すことができた⁴⁾。

<成人男性(上段:通路, 下段:階段)>

$$V = 0.63 \exp(-120M_0) - 1.19M_0 + 0.77$$

$$V = 0.11 \exp(-100M_0) - 0.56M_0 + 0.60$$

<高齢男性(上段:通路, 下段:階段)>

$$V = 0.48 \exp(-120M_0) - 1.02M_0 + 0.72$$

$$V = 0.06 \exp(-25M_0) - 0.48M_0 + 0.54$$

<成人女性(上段:通路, 下段:階段)>

$$V = 0.78 \exp(-150M_0) - 0.65M_0 + 0.52$$

$$V = 0.20 \exp(-60M_0) - 0.78M_0 + 0.46$$

<高齢女性(上段:通路, 下段:階段)>

$$V = 0.50 \exp(-125M_0) - 0.41M_0 + 0.41$$

$$V = 0.14 \exp(-25M_0) - 0.63M_0 + 0.32$$

以上のように、避難の安全性の指標に単位幅比力を持ちいることにより、氾濫解析結果より得られる流速と水深より、各地点の安全性を数値化することが可能となり、避難誘導等の基礎資料を得ることができる。

階段で流水中を歩行する際に足に作用する力を計測した結果¹⁾、階段上部の水深が増加するにつれて大きくなること、服装により異なること、階段中央より端を利用するの方が作用力が大きいこと、などが分かっている。階段上部の水深が 50cm になると、片足に10~12kgfの力が作用する。このような大きな力が作用した場合、転倒して流される危険性がある。高齢者は、より危険であることは、容易に推定できる。

以上のように、流れの条件によって歩行速度が変化するが、加齢によっても歩行速度が変化する。高齢者の歩行に関する研究より、以下の点が指摘されている¹²⁾。

- ・歩行速度は老化の程度を知るうえで良い指標となる。
- ・歩行速度は、50歳以降に若年層より有意に低くなり、急激な低下に移行するのは62歳ごろである。
- ・加齢によって、足が地面についている立脚期(歩行周期の60%)と足が地面から離れている遊脚期(歩行周期の40%)に変化があらわれる。

以上は、平常時の歩行に関する知見であるため、浸水歩行時の転倒危険性について、人間工学の側面より生体計測技術(筋肉の活動状況を示す筋電位の計測)を用いた検討を行った¹³⁾。なお、対象とした筋肉は下腹部の大腿直筋・外側広筋、大腿二頭筋、腓腹筋、前脛骨筋、中臀筋であり、それぞれの働きは表3に示すとおりである。

表3 歩行に関わる筋肉の働き

筋肉	働き
大腿直筋・外側広筋	足をまっすぐさせる筋肉で、階段を降りたり、ボールを蹴ったりするときに使われる
大腿二頭筋	主にひざを曲げたり、太ももを伸ばしたりするときに使われる
腓腹筋	かかとを上げたり、歩行時に脚を前に押し出す働きをする
前脛骨筋	つま先を上げる働きをする
中臀筋	下肢を横に開く運動(外転)に使われ、平衡に関する重要な任務を担っている

表3に示した筋肉について、流れがない条件から流速が 1.12m/s の範囲で成人男性 8 名を対象に歩行時の筋電位を計測した結果、転倒の危険性に関する以下の知見を得た。

- 1) 流速が増大するにつれて筋活動が高くなる。
- 2) 流水中を歩行する際には、立脚期に足を前に押し出す働きをする腓腹筋の活動期間を長くする必要があるため、姿勢が変わり転倒する可能性がある。
- 3) 遊脚期につま先が地面を離れる際に、引っ掛からないようにするための前脛骨筋の活動量を増やす必要があるため、姿勢が変わり転倒する可能性がある。流速が大きな場合、活動量は最大値の90%に達する。
- 4) 姿勢が変化するため、安定を図ろうとする中臀筋の活動量が増加する。

以上は、20代の成人男性に関する結果であるが、高齢者は筋力の低下や持続力の低下があるため、より転倒の危険性が高くなることは容易に推定できる。さらに、水害時には漂流物の衝突の危険性があることから、転倒して流される可能性が高くなる。

4. おわりに

以上のように自然災害により多くの高齢者が犠牲となっている。これは、水害常襲地であっても同様であり、水害経験者の高齢者であっても被災経験を活かすことができないほど水害形態が変化していることが原因と考えられる。2004年10月の台風23号による由良川の水害調査では、水害常襲地の高齢者が、これまでの水害時の経験から1階の荷物を2階へと移動している間に1階が水没して犠牲となっている。加齢に伴う動作速度や体力の低下への配慮、高齢者のみによる共助体制など、高齢者の避難について、多く問題が山積している。さらに、降雨が短時間に集中するという環境変化がもたらすリーディングタイムの減少についても考慮が必要である。高齢者を含めた減災対策として、住民と行政機関(市町村、県、国)のそれぞれが持っている災害情報の共有化(地域情報、水害経験、浸水シミュレーション結果等)が必要であり、「いつ、だれが、どこで、何をするか」という個々のタイムラインの確立が不可欠である。

なお、避難に関する記述については、以下の関連論文を参照していただきたい。これらの一連の研究は、京都大学の戸田圭一教授、馬場康之准教授との

共同研究であり、その関連で京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの施設を利用させていただいた。ここに、実験に協力いただいた方を含め、謝意を表します。

◇関連論文リスト

- 1) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一：実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討，土木学会水工学論文集，第 50 巻，p. 583-588，2006.
- 2) 大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：地下空間浸水時の避難困難度と利用者の水防意識について，土木学会水工学論文集，第 51 巻，p. 559-564，2007.
- 3) 大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用，土木学会水工学論文集，第 52 巻，p. 841-846，2008.
- 4) 浅井良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：高齢者を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する検討，土木学会水工学論文集，第 53 巻，p. 859-864，2009.
- 5) 中畑佳城・石垣泰輔・島田広昭・戸田圭一：可搬式ドアモデルによる浸水時避難体験実験と参加者の水防意識について，土木学会水工学論文集，第 54 巻，p. 913-918，2010.
- 6) 井上知美・川中龍児・石垣泰輔・尾崎平・戸田圭一：内水氾濫による大規模地下街の浸水過程と避難の安全性に関する検討，土木学会水工学論文集，第 55 巻，p. 973-978，2011.
- 7) 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一・中川一：実物大模型を用いた地下浸水時の避難困難度に関する実験的研究，土木学会論文集 F2（地下空間研究），Vol. 67, No. 1, 12-27, 2011.
- 8) 川中龍児・石垣泰輔：避難困難度指標及び避難開始時期を考慮した洪水ハザードマップの検討，土木学会論文集 B1（水工学）Vol. 68, No. 4, I_1081-1-I_1086, 2012.
- 9) 浅野統弘・尾崎平・石垣泰輔・戸田圭一：密集市街地における内水氾濫時の歩行避難および車両移動の危険度評価，土木学会論文集 B1（水工学）Vol. 68, No. 4, I_1003-1-I_1008, 2013.
- 10) 高橋祐樹・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：浸水した大規模地下駐車場からの避難に関する検討，土木学会論文集 F2, Vol. 69, No. 1, 1-10, 2013.
- 11) 川中龍児・吉川雅志・石垣泰輔：大規模地下空間における浸水時の避難成功率向上に関する検討，土木学会論文集 F2（地下空間研究），Vol. 70, No. 1, 13-19, 2014.
- 12) 関節モーメントによる歩行分析，臨床歩行分析研究会編，第 11 章，医療薬出版，2001.
- 13) 小谷賢太郎・平藤祐司・朝尾隆文・堀井健・石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之：地下空間への氾濫水流れ込み時における救助者の階段降り方法の評価-筋電および歩行時間による-，日本人間工学誌，Vol. 45, No. 4, pp. 1-5, 2008.