

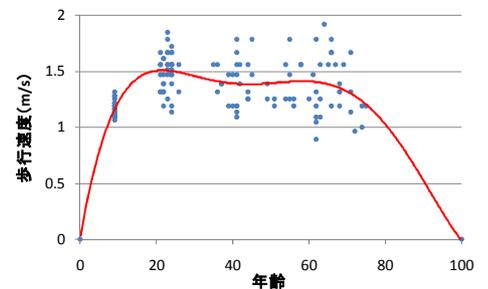
## 歩行調査に基づく単独歩行速度推定式の導出と津波避難シミュレーションへの適用

徳島大学大学院 学生員 ○加賀谷俊介      三井ホームハウジングパートナー 川野 竜平  
 徳島大学大学院 正会員      成行 義文      徳島大学大学院 正会員 源 貴志

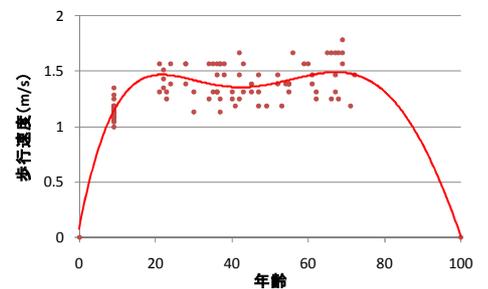
**1. はじめに** 次の南海地震は今後 30 年以内に 60% 程度の確率で発生し<sup>1)</sup>、徳島県における津波による死者は約 1,700 人と予測されている<sup>2)</sup>。津波による犠牲者を出さないためには、津波ハザードの高い地域の住民全員を地震発生後速やかに避難させることが最善の策である。実際の避難訓練の代替手段の一つとして、藤原ら<sup>3)</sup>は Petri Net を用いた避難シミュレーションモデルを構築し、それを用いた地区避難安全性評価法を提案している。また、加賀谷ら<sup>4)</sup>は、群集密度-歩行速度関係を導出し、藤原らのモデルに適用した。しかしながら、藤原らのモデルには、住民の避難安全性を支配する主要因の一つである歩行速度の設定方法に関する検討が十分に成されていないという問題がある。このような観点より、本研究では既往の手法<sup>4)</sup>をより現実的なものに改善するために、通路形状別の歩行調査を実施し、それらの画像分析により通路条件を考慮した単独歩行速度推定式を導出した。さらに、徳島県阿南市の津波ハザードの高い地区を対象として、新たに単独歩行速度推定式を適用した。

**2. 画像分析による単独歩行速度推定式の導出** 本研究では、各通路における歩行調査方法として、単独歩行状況をビデオカメラで撮影して画像分析に用いるサンプル動画を取得した。まず、水平通路歩行調査について説明する。被験者は男性 88 人 (8~75 歳)、女性 74 人 (8~75 歳) である。被験者には普段通りの歩行をするように指示を出して撮影を行った。次にスロープ歩行調査と階段歩行調査について説明する。被験者は学生 15 人 (20~24 歳) であり、水平通路と同様に普段通りの歩行をするように指示した。また、スロープおよび階段の角度をそれぞれ 5 度~20 度、10 度~40 度に変化させ、被験者の歩行挙動を撮影した。

撮影した画像から本研究で開発した画像分析ソフトを用いて歩幅を測定し、歩調、歩行速度の算出を行う。これらの分析結果を用いて単独歩行速度推定式の導出を行った。水平通路での男性と女性の年齢ごとの歩行速度の分布と 5 次回帰曲線を図-1 (a), (b) に示している。この回帰曲線は、年齢が 0 歳および 100 歳のときを歩行速度 0m/s と仮定して示している。また、スロープと階段における水平通路に対する速度低減率を図-2 (a), (b) に示す。図-1 の歩行速度では、男性の場合は、歩行速度が 1 番速くなるのは 20 歳くらいである。そして、40 歳あたりから歩行速度が低下し、さらに 70 歳後半から歩行速度が急落している。女性の場合は、男性と同様に 40 歳あたりで歩行速度が低下しているが、50 歳後半になると歩行速度が増加し、60 歳くらいで歩行速度が 1 番早い結果となった。このように、男性と女性では加齢による歩行速度の推移特性が異なっていることが分かった。図-2 の歩行速度低減率については、スロープおよび階段の角度が増加するに従い、歩行速度は低下することが分かる。これらから、通路条件が歩行速度に及ぼす影響を定量的に把握できることが分かった。これらを基に単独歩行速度  $v$  を次式に示す。

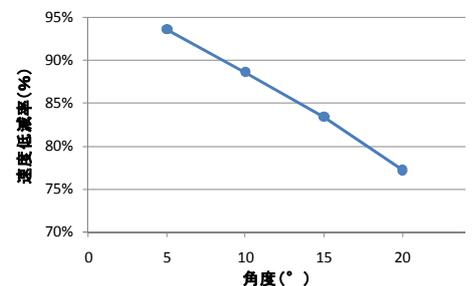


(a) 男性の歩行速度

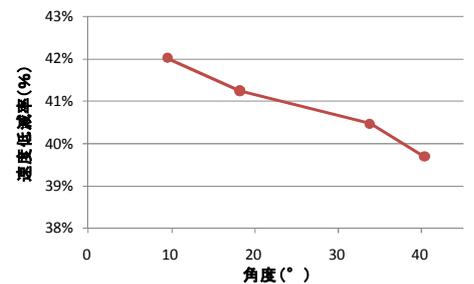


(b) 女性の歩行速度

図-1 水平通路の歩行速度



(a) スロープの歩行速度低減率



(b) 階段の歩行速度低減率

図-2 水平通路に対する歩行速度低減率

$$\begin{aligned} \text{男性: } v = & ((6.56010401 \times 10^{-9})x^5 - (1.89756166 \times 10^{-6})x^4 + (1.97929164 \times 10^{-4})x^3 \\ & - (0.00933513298 \times 10^{-3})x^2 + (0.178805136)x + 0.0294060233) \\ & \times \{ [1 - (0.01\theta + 0.0247) \times A] \{ 1 - (-0.0058\theta + 0.5919) \times B \} \} \\ & \times \{ [1 - (0.001\theta - 0.0219) \times A] \{ 1 - (0.0028\theta - 0.0273) \times B \} \} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{女性: } v = & ((4.45204626 \times 10^{-9})x^5 - (1.45289704 \times 10^{-6})x^4 + (1.65229067 \times 10^{-4})x^3 \\ & - (8.24200978 \times 10^{-3})x^2 + (0.178805136)x + 0.082393411) \\ & \times \{ [1 - (0.01\theta + 0.0247) \times A] \{ 1 - (-0.0058\theta + 0.5919) \times B \} \} \\ & \times \{ [1 - (0.001\theta - 0.0219) \times A] \{ 1 - (0.0028\theta - 0.0273) \times B \} \} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $x$  : 年齢,  $\theta$  : 通路角度, 水平通路の場合 :  $A=0, B=0$ , スロープの場合 :  $A=1, B=0$ , 階段の場合 :  $A=1, B=1$  とする.

**3. 既往の歩行速度との比較** 本研究で導出した歩行速度推定式から年齢層ごとに求めた歩行速度(平均値)と既往の基本歩行速度を比較した(表-1). これらから, ほとんどの年齢層で本研究の歩行速度推定式により求めた歩行速度の方が速くなる結果となった. これらの要因として, 既往の歩行速度は1970年代に得られた歩行データ<sup>5)</sup>であるため, 現代人の体格の違いや生活習慣の違い等から歩行速度に変化がみられたと考えられる.

**4. シミュレーション条件** シミュレーション対象地区は, 過去の南海地震による津波被災経験を有する徳島県阿南市津乃峰町内で比較的活発に自主防災会活動が行われている地区とした(図-3). 一次避難場所は図-3に示したA~Cの3箇所です十分な容量を持っている. 対象住民数は359人(住宅数計124戸)である. また, 地震発生7分後に全員一斉に自力で避難を開始するものとした. この地区の沿岸への津波到達時間は地震発生約26分後とされており, この時間までの避難が必要である. 基本的に歩行速度は単独歩行速度推定式から求めたものを使用するが, 次の条件を考慮してシミュレーションを実施する. すなわち81歳以上の年齢は80歳の歩行速度と仮定し, 0~4歳は親と同じ歩行速度とする年齢制限を与える. また, 各住民は世帯毎に移動し, その基本歩行速度はその世帯の中で最も遅い住民の速度とする. これを「年齢制限を考慮した単独歩行速度推定式」とする. この条件に基づくシミュレーション結果と既往のシミュレーション結果との比較検討を行います.

**5. シミュレーション結果の検討** 表-2は「道路閉塞箇所: X, Y(図-3)」かつ「道路閉塞箇所の情報伝達なし」とし適用した場合のシミュレーション結果を示している. 表-2より, 「年齢制限を考慮した単独歩行速度推定式」では, 既往の結果より約5分避難完了時間が短くなる結果が得られた. これは, 既往の歩行速度より単独歩行速度式で求めた歩行速度の方が速いため, 避難が速く完了したと考えられる. また, 高齢者の割合が大きい地域であるため, 高齢者の歩行速度の変化が大きく影響したと考えられる.

**6. おわりに** 本研究では, 既往の避難シミュレーション手法に通路条件を考慮した単独歩行速度推定式を適用するとともに, 実在地区を対象として避難シミュレーションを行った. また, 年齢制限および単独歩行推定式の適用が避難完了時間等に及ぼす影響について既往のシミュレーション結果と比較検討した. その結果, 通路条件が単独歩行速度に及ぼす影響は大きいことが分かった. また, 高齢者の割合が大きい地域であることから, 高齢者の歩行速度の変化が避難完了時間に影響した. 今後, 他の地区での避難シミュレーションを通して, 地形や年齢層などの地域特性を考慮した避難安全性を検討する必要がある.

**7. 参考文献** 1) 文部科学省研究開発局地震・防災研究課 地震調査研究推進本部ホームページ <http://www.jishin.go.jp/> 2) 徳島県: 徳島県地震動被害想定調査, 2005. 3) 藤原康寛, 成行義文, 源貴志, 三神厚: Petri Netを用いた津波避難シミュレーション手法の開発と地区避難安全性評価への適用, 土木学会四国支部第15回技術研究発表会, pp51-52, 2009. 4) 加賀谷俊介, 成行義文, 源貴志, 三神厚: 歩行調査画像分析に基づく群集密度-歩行速度関係の導出と津波避難シミュレーションへの適用, 土木学会四国支部第16回技術研究発表会, pp51-52, 2010. 5) 日本建築学会: 建築設計資料集-人間, 丸善, 2003.

表-1 本研究で求めた歩行速度と基本歩行速度<sup>5)</sup>

年齢(歳)	男性の速度(m/s)		女性の速度(m/s)	
	既往	本研究	既往	本研究
0~4	0.90	0.37	0.90	0.39
5~9	1.00	0.99	1.00	0.97
10~14	1.20	1.33	1.20	1.29
15~34	1.50	1.47	1.30	1.44
35~44	1.40	1.39	1.26	1.36
45~54	1.30	1.39	1.17	1.38
55~64	1.20	1.41	1.08	1.46
65~74	1.00	1.32	0.90	1.48
75~84	0.90	1.04	0.81	1.32
85~	0.80	0.39	0.80	0.62



図-3 対象地区の道路ネットワーク

表-2 各条件適用が対象地区全体の避難完了時間に及ぼす影響

適用条件	避難完了時間(地震発生時から)	時間差
既往の結果 <sup>4)</sup>	28分26秒	-5分43秒
年齢制限を考慮した単独歩行速度推定式	22分43秒	