

What is the important thing to encourage early evacuation?

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-07-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渡辺, 知規 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://mu.repo.nii.ac.jp/records/1300">https://mu.repo.nii.ac.jp/records/1300</a>

# 建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには

## 何が大切なのか？

### — 建物火災の場合 —

What is the important thing to encourage early evacuation?

渡辺 知規<sup>1</sup>

Tomonori Watanabe

#### 概要

本研究では、建物火災時に避難行動に影響を及ぼす心理的要因を考慮に入れた避難者の行動をマルチエージェントシミュレーションにより解析をした。特に、なんらかの理由で呼びかけに即座に応じることができず効果的な避難の大きな阻害要因のひとつとなる居残りの状況を、居残り確率を導入することでモデル化し、非常ベル鳴動後にも建物内に居残る居住者を早期避難に導く手立てについて考察を行った。主たる結果として、建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すために大切なことは、リーダーを中心とした居住者同士の協力にあることが明らかとなった。

#### 1 諸言

火災が発生しているにもかかわらず、建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには何が大切なのか？ これまで、そのような居残りの原因のひとつとして認知的不協和などに起因する心理的バイアスが働いていることが指摘され、心理的要因が避難行動に及ぼす影響についての研究がなされてきている[1-6]。前報[1]では、まず、居残りをもたらす心理的要因を明らかにし、つぎに、居残りは、効果的な避難の阻害要因であること、居残りに迅速な避難を促すためには、リーダーを養成し、建物内にリーダーを配置することが有効であることなどを明らかにした。この結果に従うと、当然、災害時には居住者全員がリーダーと同様に振舞うことが望ましいが、これは現実的ではない。実際に、リーダーの人数や配置、避難経路も状況に応じて適切なものが選ばれるべきではあるが、配置の実現性やリーダーの負担などを考慮すると効果的な避難との間にはトレードオフが存在することも否めない。さらに、居残りも、一度の呼びかけですぐに避難行動に移移できるとは限らず、気が付かなかったり、判断を誤ったり、また、動けなかつ

---

<sup>1</sup> 武蔵野大学数理工学センター員/武蔵野大学工学部数理工学科教授

たりするなど、なんらかの理由で避難が遅れが生じることもより現実に即したこととして想定される。

そこで、本研究では、建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには何が大切なのかを明らかにするために、建物火災時に避難行動に影響を及ぼす心理的要因を考慮に入れた避難者の行動をマルチエージェントシミュレーションにより数理的に解析をした。特に、より現実的な状況を想定し、なんらかの理由で呼びかけに即座に応じることができない居残りの状況を、居残り確率を導入することでモデル化し、非常ベル鳴動後にも建物内に居残る居住者を早期避難に導く手立てについて考察を行った。

## 2 数値シミュレーション

### 2.1 シミュレーション方法

本研究での数値シミュレーションにおける方法等は前報[1]と同様とした。すなわち、マルチエージェントシミュレーションには、artisoc 4.0 standard ((株) 構造計画研究所) を用い、数値シミュレーションにおける空間と時間は離散的なものとして、空間は一辺が 0.75m の正方格子の格子点上を対象とし、時間は 1 ステップが 1.5s に対応するものとした。

### 2.2 シミュレーション条件

#### 2.2.1 対象とした建物と居住者

本研究にて対象とする建物は、前報[1]と同様に、地上 4 階建ての共同住宅とした (図 1)。すなわち、各階には、階段と共有スペース、ならびに、ひとつが 3.75m×1.50m の広さの一人用の居室が幅 2.25m の廊下を挟んで並んで配置され、建物出口は 1 階に二箇所あるものとした。居住者は、各階に 30 人ずつ、合計 120 人とした。居住者は、通常 1 ステップに 1.50m 移動できるものとした。

#### 2.2.2 火災発生と煙の拡散

火災発生と煙の拡散についての条件も前報[1]に従った。すなわち、火災は、第ゼロステップ目に発生するものとし、発生場所は、1 階左側上 (図 1 中の赤三角印) とした。火は 1 ステップあたり、10%の確率で周囲に燃え広がるとした。火からは煙が発生し、煙は 1 ステップあたり 0.75m の速さで周囲に拡散するものとする。煙には、白煙と黒煙の二種類があるものとし、まず白煙が出火場所から発生し、発生後 30 ステップ経過した白煙から順次黒煙に変化するものとした。居住者は、火および黒煙の中を通過することはできず、火と黒煙および壁に囲まれることによって避難不能者になるものとした。

#### 2.2.3 避難行動に影響を及ぼす心理的要因に基づく居住者の振舞い

火災発生後、リーダーを除く居住者は、避難行動に影響を及ぼす心理的要因に基づいて、通常避難、正常性、同調性、および、愛他性の 4 種類のいずれかの振舞いをするものとする。

建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには何が大切なのか？（渡辺）

通常避難の振舞いは、火災発生時に、1階の建物出口を目指して避難行動をとるものとする。当初は自らがいる位置からもっとも近い建物出口を目標とするが、行く手をはばむ火や黒煙を感知した場合、別の建物出口に目標を変更する。なお、火や黒煙の感知については、前報[1]と同一条件として、組み込み関数の変数「視野」を用いて、火は視野1、黒煙は視野2で感知するものとした。

正常性の振舞いは、火災発生と同時に非常ベルが鳴動しても、避難行動を起こさず居室に居残る。正常性は、自らの近くに白煙もしくは愛他性の存在を感知することによって、避難行動を開始し、通常避難と同様の振舞いに変化する。なお、視野については、前報[1]と同一条件として、白煙は視野10、愛他性の存在は視野7で感知するものとした。

同調性の振舞いは、火災発生と同時に非常ベルが鳴動すると、居室からはすみやかに出るが廊下にて居残る。同調性は、自らの近くに白煙、通常避難、および、愛他性の存在を感知することによって、避難行動を開始し、通常避難と同様の振舞いに変化する。なお、視野については、前報[1]と同一条件として、白煙は視野10、通常避難の存在は視野2、および、愛他性の存在は視野7で感知するものとした。

愛他性の振舞いは、火災発生と同時に非常ベルが鳴動すると、すみやかに避難行動を開始し、通常避難と同様の振舞いを行う。これに加えて、愛他性は、周囲に火災発生を大声で知らせながら（視野7で周囲に存在を知らせながら）避難を行う。

なお、数値シミュレーションでは、通常避難、正常性、同調性、および、愛他性の4種類は、あらかじめ定めた正常性確率、同調性確率、および、愛他性確率によって、居住者の中から割り当てるものとした。

#### 2.2.4 避難過程

建物では、第ゼロステップ目に、火災が発生し、同時に非常ベルが鳴動する。このとき、リーダーを除く居住者は以下に従い各自の振舞いを開始するものとする。まず、あらかじめ定められた正常性確率によって、リーダーを除く居住者の中から正常性が割り当てられる。つぎに、正常性とならなかったものは廊下に出るが、第4ステップ目に、あらかじめ定められた同調性確率と愛他性確率によって、同調性、愛他性および通常避難が割り当てられ、それぞれの振舞いを開始する。数値シミュレーションでは、居住者の全員に対して、1階の出口に到達したか、もしくは、避難不能者になったかのいずれかが判明した時点で1回のシミュレーションを終えるものとした。

#### 2.3 リーダーの配置と避難経路

リーダーは、居住場所と火災発生時の居住階における避難経路、および、この二つの条件を除いて他は愛他性と同様に振舞うことが事前教育によって定められているものとする。したがって、リーダーは、愛他性と同じ視野7で周囲に感知されるものとする。リーダーの具体的な配置と避難経路としては、本論文では、前報[1]の結果を参考にして、居残りが効果的な避難に及ぼす影響が大きかったタイプ2を採用するものとした。すな

わち、図2に示すとおり、ひとつの階にリーダーを2人配置し、リーダーは、避難をする際に同一階で前を通過しない居室が一部存在する経路をたどるものとした。

## 2.4 居残り確率を導入した場合の避難行動の解析

前報[1]では、正常性と同調性が建物内への居残りを発生する要因であることが明らかとなった。本研究では、非常ベル鳴動後も建物内への居残りを助長する作用を居残り確率として新たに導入した。すなわち、なんらかの理由で呼びかけに即座に応じることができない居残りの状況を居残り確率を用いてモデル化し、一度の呼びかけに対する避難行動への遷移は居残り確率に従ってもたらされるものとした。具体的には、正常性については、たとえリーダーや愛他性を感知したとしても即座に避難行動に移るのではなく、あらかじめ設定をした居残り確率に従って避難行動に移るものとした。また同様に、同調性についても、周囲にリーダーや愛他性、通常避難を感知した場合には、居残り確率に従って避難行動に移るものとした。

シミュレーションでは、正常性確率、同調性確率、愛他性確率、ならびに、居残り確率のそれぞれを固定したひとつの組みをひとつの条件とし、各確率を変えたいくつかの組み合わせに対して、シミュレーションが終了したときの終了ステップ数と避難不能者数を測定した。シミュレーションは、ひとつの条件下で100回行い、その平均を計算することにより、平均終了ステップ数と平均避難不能者数を算出した。

## 3 結果と考察

本章では、非常ベル鳴動後にも建物内に居残る居住者に迅速な避難行動を促すために大切なことについて明らかにする。正常性確率を30%、同調性確率を40%と固定し、愛他性確率を0%、20%、80%、ならびに、居残り確率を0%、20%、80%と変化させた場合のそれぞれについてシミュレーションを行った時の平均終了ステップ数の結果を図3に、平均避難不能者数の結果を図4に示す。

まず、居残り確率の違いが結果に及ぼす影響について比較を行う。図3と図4から、愛他性確率が同じ場合には、平均終了ステップ数および平均避難不能者数はともに、居残り確率が大きくなるほど大きくなるのがわかる。これは、居残り確率が大きくなることにより建物内に居残る居住者による避難の遅れが顕著になることに起因する。

つぎに、愛他性確率の影響に着目をする。図3と図4から、同じ居残り確率の場合には、平均終了ステップ数および平均避難不能者数はともに、愛他性確率が大きくなるほど小さくなる。これは、たとえ建物内に居残る居住者がいたとしても、より多くの愛他性を発生させ、避難を促す機会を増やすことが、効果的な避難につながることを意味している。

最後に、居残り確率と愛他性確率の互いの影響に注目すると、特筆すべきは、愛他性確率を大きくすることには、居残り確率が大きくなることに伴う平均終了ステップ数ならびに平均避難不能者数の増加を抑制する働きがあるということである。たとえば、居残り確率が0%、愛他性確率も0%の場合の平均終了ステップ数は69.87ステップである

建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには何が大切なのか？（渡辺）

が、居残り確率が80%になると、同じ愛他性確率0%では、平均終了ステップ数は80.54ステップにまで増加する。しかし、居残り確率が80%であっても愛他性確率も80%になると、平均終了ステップ数は73.38ステップとなり、居残り確率が0%から80%にまで大きくなったことに伴うステップ数の増加が愛他性確率を大きくすることで抑制されていることがわかる。同様のことは、平均避難不能者数の結果についても言うことができる。

この愛他性による働きは、愛他性避難者の数が増えることにより、居残りへの呼びかけの機会が増えることに起因している。このことは、たとえ、一回の呼びかけが即座に居残りの避難行動に結びつくとは限らなくても、その上さらに、一回の呼びかけでは避難するとは限らない居残りの数そのものが増えたとしても、複数の愛他性避難者の複数回の呼びかけによって避難行動が誘起されやすくなるということを意味している。

リーダーは、役割上、確実に居住者に避難を促す。しかし、リーダーの数や配置、避難経路などには限界がある。一方、リーダーと同様に愛他性によっても居住者への避難は促されるが、確実に遂行されることを期待はできない。なぜなら、愛他性の発生には不確実性が伴うからである。このようにリーダーと愛他性にはそれぞれの特徴があるが、上記の結果を踏まえると、それらは相補的關係にあることがわかる。

たとえば、火災時に、居残りの発生位置を把握し、適切に複数回呼びかけることをリーダーのみに期待することは現実的ではない。また、リーダーの避難経路上に居残りが発生したとしても、その発生場所をリーダーが通過して居残りに感知されるまでには時間を要し、早期の避難につながらないことも想定される。このような場合、複数の愛他性避難者が自らの近くに発生した居残りにすみやかに呼びかけること、すなわち、リーダーのみに任せるのではなく居住者同士が協力をすることが早期避難につながるものと考えられる。だが一方で、愛他性は発生が不確実であるため確実な避難行動の誘起を愛他性に期待することはできない。しかし、この点においては完全ではないにしても、確実に任務を遂行するリーダーを存在させることで補うことができるものと考えられる。このようにリーダーと愛他性は相補的關係にあり、この相補的關係を強化することが、リーダーのみ、もしくは、愛他性のみの働きかけに依存する場合よりもより大きな相乗効果を得ることができ、効果的な避難の実現につながると考えられる。

以上をまとめると、建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すために大切なことは、リーダーを中心とした居住者同士の協力にあるとすることができる。特に、リーダーと愛他性の間には、相補的關係があり、より大きな相乗効果を得るために相補的關係を強化することで、居残りの避難が促進し、効果的な避難につながる。重要なことは、避難を呼びかける機会を増やすこと。そのために、たとえ、自らの身を危険にさらすほどの大きな働きかけではなかったとしても、より多くの居住者が愛他性をもち呼びかけを行うこと、災害時にこのような行動をとれるような意識づけを平時から行うこと、すなわち、このような愛他性の養成がリーダーの養成に加えて肝要であると考えられる。

## 4 結言

本研究では、建物火災時に避難行動に影響を及ぼす心理的要因を考慮に入れた避難者の行動をマルチエージェントシミュレーションにより解析をした。特に、より現実的な状況を想定し、なんらかの理由で呼びかけに即座に応じることができない居残りの状況を、居残り確率を導入することでモデル化し、非常ベル鳴動後にも建物内に居残る居住者を早期避難に導く手立てについて考察を行った。以下に得られた主たる結果を示す。

- (1) 愛他性避難者の数が増えることには、居残り確率が大きくなることに伴う平均終了ステップ数ならびに平均避難不能者数の増加を抑制する働きがある。
- (2) 効果的な避難の実現において重要なことは、より多くの居住者が愛他性をもち呼びかけを行うこと、すなわち、避難を呼びかける機会を増やすことである。
- (3) リーダーと愛他性は相補的關係にある。この相補的關係を強化することが、リーダーのみ、もしくは、愛他性のみ依存する場合よりもより大きな相乗効果を得ることができ、効果的な避難の実現につながる。

建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すために大切なことは、リーダーを中心とした居住者同士の協力にある。災害時には、より多くの居住者が愛他性をもち、リーダーとともに呼びかけを行うことができるように、平時からの意識づけを行うことが実効性のある避難を実現するための有効な手立てとなる。

## 謝辞

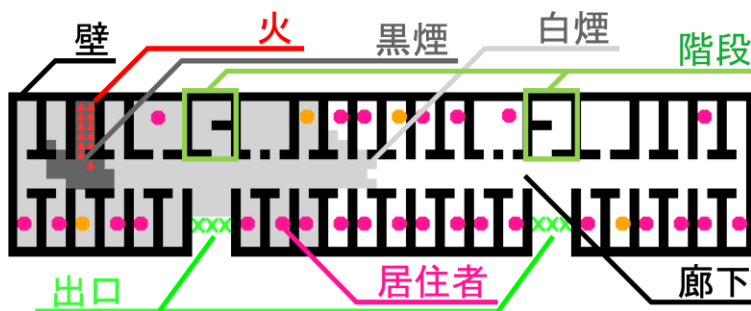
本研究の遂行にあたっては武蔵野大学工学部数理工学科の井上直音氏の協力を得た。感謝の意を表す。また、本研究は JSPS 科研費 JP17K06951 の助成を受けたものである。深謝の意を表す。

## 参考文献

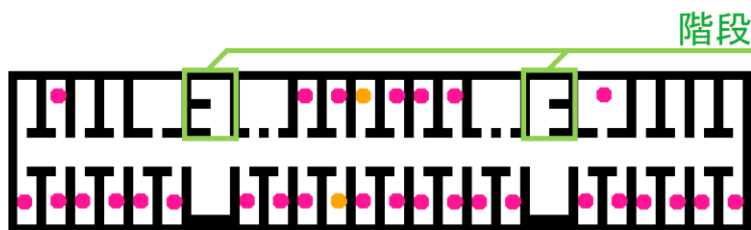
- [1] 青山 広輝, 須川 栞, 渡辺 知規, “災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか? — 建物火災の場合 —”, 武蔵野大学数理工学センター紀要, 4号, (2019), pp.1-16.
- [2] 近田洋輔, 原山美知子, “被災者の心理に基づく津波避難シミュレーション”, 情報処理学会研究報告—情報システムと社会環境研究報告, (2013), pp.1-8.
- [3] 皆川勝, 中村遼太, 高橋翔天, “極低頻度の災害に対する避難行動の社会心理学的な考察”, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol.71, No.2, (2015), pp.I\_191-I\_198.
- [4] 土方孝将, 香川涼亮, 成田洋平, 諫山圭司, 東小菌郁真, 谷中峻輔, “心理的要因に着目した建物火災避難動的の評価—筑波大学学生宿舎を対象に—”, 地域安全学会概要集, No.36, (2015), pp.157-160.
- [5] 諫早圭司, 久保大輝, 佐藤優希, 柴田智香子, 東小菌郁真, 谷中峻輔, 香川涼亮, 成田洋平, 土方孝将, “建物火災時の避難行動に心理的要因が与える影響—正常性バイアス, 集団同調性, 愛他的行動に着目して—”, MAS コミュニティ, MAS カンフ

- 建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには何が大切なのか？（渡辺  
アレンス 2015 第 15 回 MAS コンペティション（2019 年 12 月 12 日現在，  
<https://mas.kke.co.jp>）.
- [6] 神忠久，“生死を分ける避難の知恵－その 1 火災避難時の基礎知識－”，日本照明工  
業会照明工業会報 No8，(2014)，pp.65-69.

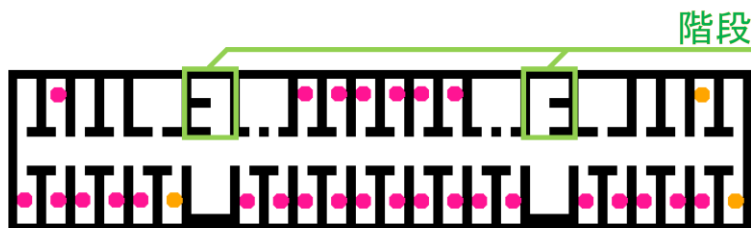




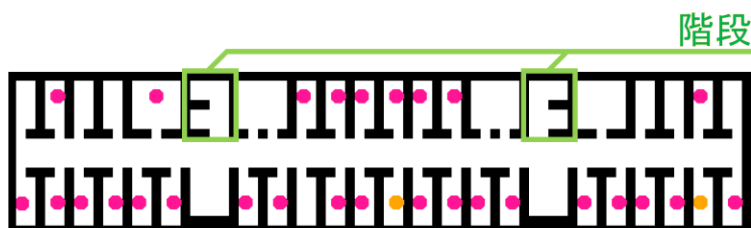
(a) 1階



(b) 2階



(c) 3階



(d) 4階

図1 建物平面図と居住者の初期配置ならびに火災発生場所

建物内に居残る居住者に迅速な避難を促すためには何が大切なのか？（渡辺）

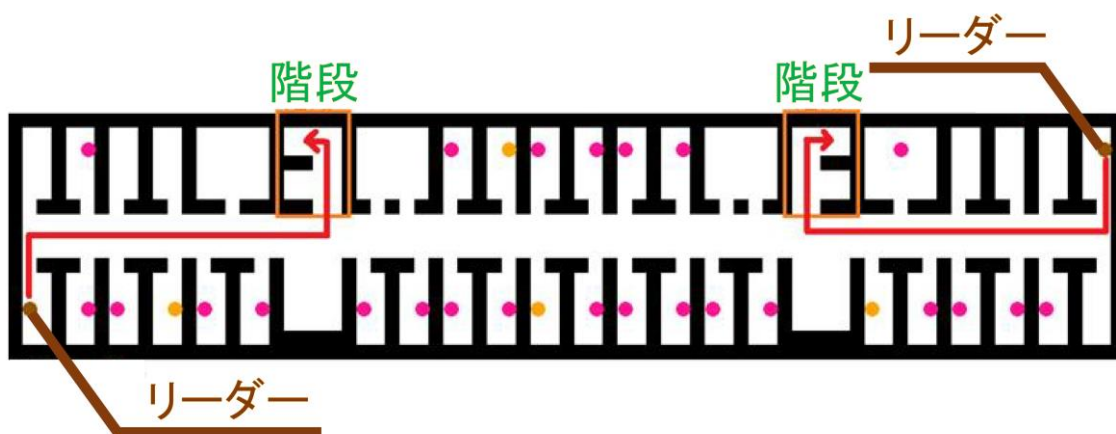


図2 リーダーの配置と避難経路（タイプ2[1]）

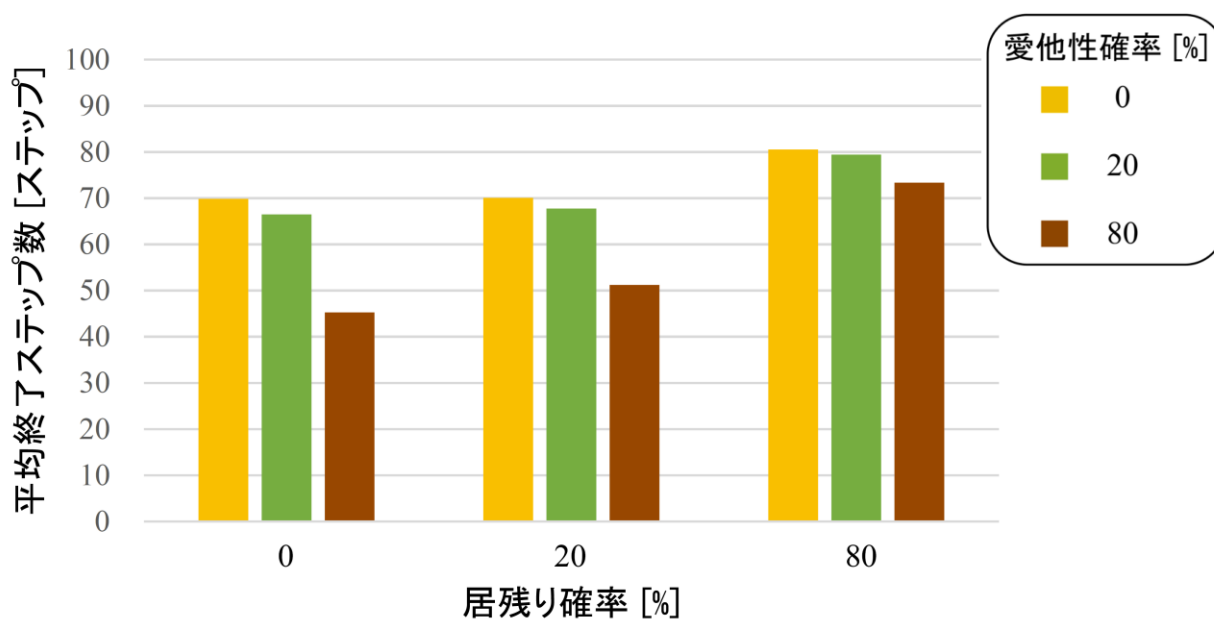


図3 平均終了ステップ数.  
正常性確率：30%，同調性確率：40%，

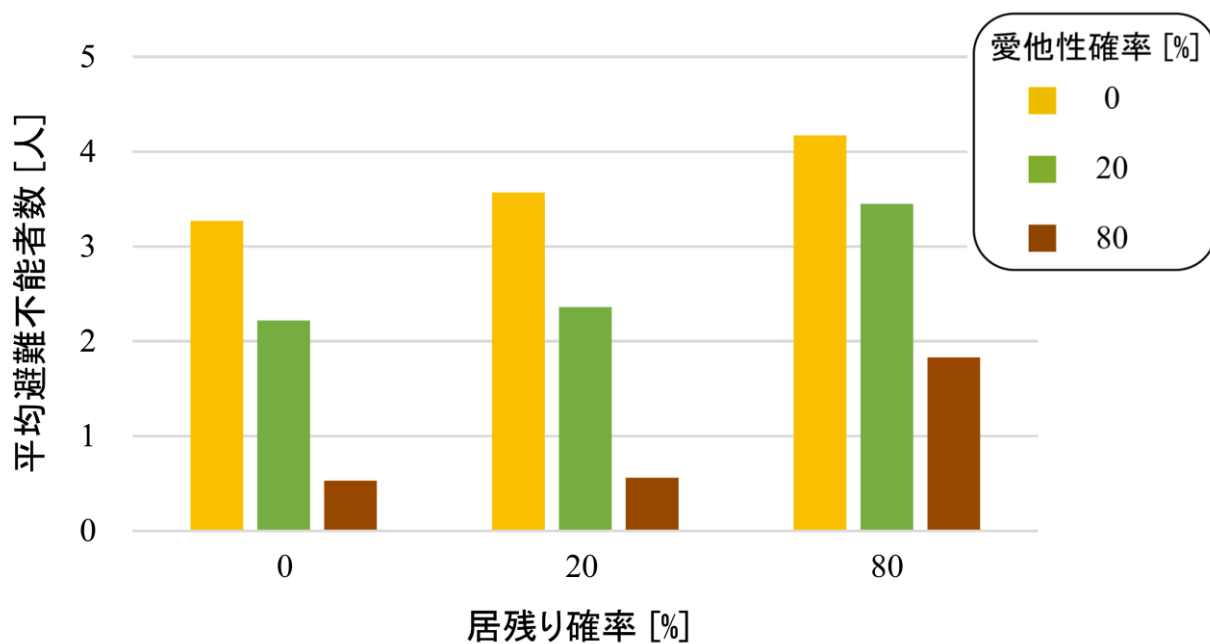


図4 平均避難不能者数.  
正常性確率 : 30%, 同調性確率 : 40%,

(原稿提出: 2019年12月24日; 修正稿提出: 2020年2月4日)