

心理的要因に着目した建物火災避難行動的評価 —筑波大学学生宿舎を対象に—

A Simulation Study of Fire Evacuation from Buildings Focused on Psychological Factors: A Case Study of a Residence Hall in the University of Tsukuba

○土方 孝将¹, 香川 涼亮², 成田洋平², 諫山 圭司³, 東小蘭 郁真³, 谷中 峻輔³

Takamasa HIJKATA¹, Ryosuke KAGAWA², Yohei NARITA², Keiji ISAYAMA³,
Ikuma HIGASHIKOZONO³ and Shunsuke YANAKA³

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科博士前期課程

Master's Program, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba.

² 筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程

Doctoral Program, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba.

³ 筑波大学理工学群社会工学類

College of Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba.

This study was intended to evaluate safety of fire evacuation considering three psychological factors: normalcy bias, majority synching bias and altruism. We constructed a simulation model of fire evacuation from a residence hall in University of Tsukuba, and analyzed relationships between changes in the three psychological factors and the number of deaths. Results indicate that decreasing normalcy bias among three factors is most important for safe evacuation. Residents who live upstairs should be encouraged to engage in altruistic behavior such as shouting a warning.

Keywords : fire evacuation, normalcy bias, majority synching bias, altruism, multi agent simulation, residence hall

1. はじめに

我が国の建物火災避難における避難安全性の評価指針の一つに建築基準法避難安全検証法(以下、「避難安全検証」)がある¹⁾。避難安全検証では、歩行速度や避難経路、建物構造と煙の拡散の関係から、火災報知機(以下、「報知機」)鳴動直後に避難開始した場合の避難安全性を検証している。また、火災避難の安全性評価に関して、これまで多くの研究が行われている。

掛川・閑沢²⁾では、大規模建築物での避難安全性に関して、建物内の利用者の特性や建物の空間、火災状況などを踏まえる必要性を挙げ、避難者の特性として、歩行速度、避難経路選択、移動時の介助、群衆行動、避難者の滞留密度などから避難安全性評価を行っている。脇山ら³⁾においては、超高層建物からの火災避難安全性評価について、階段利用のみの避難とエレベータを利用した際の避難安全性を、掛川・閑沢と同様に歩行速度や群衆行動、滞留密度などから評価を行っている。水野ら⁴⁾では、大学の教室を対象に、避難経路が狭まるこことや、教室出口において、避難者の集結に伴い、避難者が生じる状況を踏まえて、避難安全性の評価を行っている。

しかしながら従来の避難安全性評価において、建物構造や歩行速度、密度などは考慮されているものの、避難行動開始意図や、避難行動時の心理的要因が考慮されておらず、心理的側面を踏まえた避難安全性の検討は、十分になされていない。一方で、中野ら⁵⁾のアンケート調査結果によると、避難開始の行動特性は個人差があることが明らかとなっており、さらに、山村⁶⁾の実験によると、火災警報機の鳴動と避難行動について、鳴動と同時に避難行動を開始した人はわずかであったという。これ

らの研究では、行動特性や避難時の行動心理を把握することにとどまっているものの、これらの要因が避難安全性に影響を及ぼすと考えられる。他の災害に目を向けると、近田・原山⁷⁾では、東日本大震災時の津波被災者の行動調査をもとに、正常性バイアス、同調性バイアス、愛他性、家族性などの心理的影響を考慮した津波避難リスク評価を行い、心理的要因が安全な避難に影響を与えるとした。

以上の観点から、火災避難行動時においても、安全性を検討する際に、心理的要因が与える影響について検討する必要性があると考えられる。そこで、本研究では、避難行動者の心理が、安全な避難に与える影響を定量的に明らかにすることで、建物火災における避難安全性検証方法の一助となる知見を得ることを目的とする。

2. 研究方法

2-1. 研究対象施設の選定

研究対象施設は、筑波大学学生が居住する、筑波大学学生宿舎のうちの1棟(以下、「宿舎」)を対象とする。宿舎は昭和49年建築、R造4階建てであり、居室が119室存在する。また、各階には共同の厨房(以下、「補食室」)が2箇所ずつ、ガスコンロが2台ずつ置かれ、居住者は自由に利用することができます。

2-2. 研究方法

実際の宿舎(図1)⁸⁾を再現し、居住者に心理的属性を与えることで、避難行動者の個々の心理が、建物の避難安全性に与える影響を明らかにするため、マルチエージェント・シミュレーション(以下、「MAS」)を行う。MASには、artisoc3.5⁹⁾を用い、兼田¹⁰⁾を参考とする。

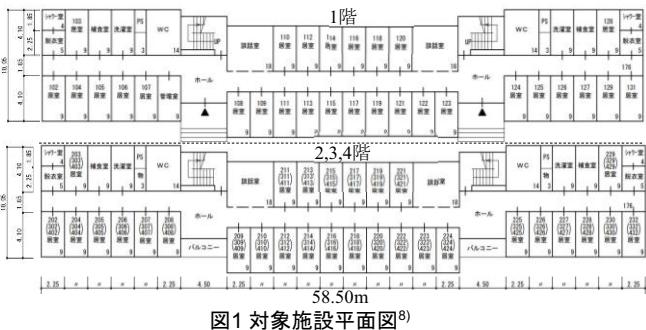


図1 対象施設平面図⁸⁾

まず、避難者エージェントに心理的属性を与えるために、近田・原山⁷⁾を援用し、火災避難に影響を及ぼすと考えられる要因と、それらにもとづく複数のエージェントを設定する。次に、より現実に即した値を用いることが妥当と考え、筑波大学生へのアンケート調査結果⁽¹⁾から、エージェント数のパラメータ値を、基本値として設定し、これらの値を変化させ、MASを実行することで、心理的要因が避難に与える影響を明らかにする。

3. 居住空間と火災発生状況の設定

3-1. 宿舎の再現

図1の宿舎平面図をもとに、MAS上に宿舎を模擬した空間を設定する(図2)。MAS上では格子状に空間を再現し、MAS上に再現した宿舎では、1マス0.75m四方で、1stepで格子1つ移動をする。

宿舎では、1階の居室窓に防犯上の理由から鉄格子がかかっているため、1階住民は自室の窓から避難することはできず、居室を出て避難口に向かうほか無い。さらに、避難経路となる廊下に私物が置かれている場合もあり⁽²⁾、このような状況が恒常化した場合、緊急時に防火扉が閉じない可能性が高いことから、防火扉は閉まらなかつた場合を想定する。

3-2. 火災発生状況と煙の拡散の設定

出火元は1階の左側補食室とし(図2左上▲位置)、これは、ガスコンロが設置され、自由に利用できることから、宿舎内の火元として最適であると考えられる。

本研究においては、避難時の避難行動心理が与える影響を明らかにすることが目的であるため、煙の拡散は速度のみ考慮し、宇佐美¹¹⁾、神¹²⁾を参考に、煙速度は平行方向に0.5m/s、鉛直方向に3.0m/sとする。このとき、平行方向の煙が1進むことを1step進むとし、1stepは0.75mであることから、1stepは1.5秒を表していることになる。また、煙は同一速度で3種類存在し、鳴動とともに拡散され、移動10step分の範囲内の避難者に火災を覚知させる煙Iと、時間10step(15秒)後に拡散が開始され進路変更に影響する煙II、さらに時間10step(30秒)後に拡散が開始され、囲まれた時点で避難不能となる煙IIIである。煙の拡散開始は、報知器鳴動と同時に居住者全員が避難行動をする場合に避難不能者が存在しないことを想定している。

4. 避難者エージェントの設定

4-1. 本研究で用いる心理的要因

本研究では、建物火災避難の避難阻害要因および促進要因について、以下の3つの要因を用いることとする。

(1)正常性バイアス

建物火災避難に限らず、災害時の避難開始行動開始時に最も問題とされる心理的要因の一つが正常性バイアスである。緊急事態においてもそれほど緊急事態ではないと歪曲して認知する心理を持ち、避難開始が遅れる原因

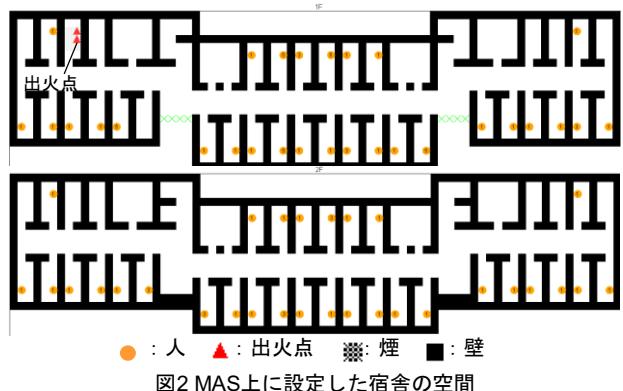


図2 MAS上に設定した宿舎の空間

表1 筑波大学生へのアンケート調査結果から筆者作成

	即時避難	一時停止	居室待機	計
愛他性なし	13人	17人	5人	35人(57.4%)
愛他性あり	6人	18人	2人	26人(42.6%)
計	19人(31.1%)	35人(57.3%)	7人(11.5%)	61人(100%)

となることから¹³⁾、避難阻害要因として考える。

(2)同調性バイアス

同調性バイアスは、周囲と同様の行動をとる性質である⁵⁾。たとえば、避難行動開始の意思決定をする際に、同調性により、周囲の人が避難を行っていなければ、避難行動を開始せず、避難開始が遅れてしまうが、一方で、周りが避難をしていれば、避難行動を行うと考えられることから、避難阻害要因にも促進要因にもなると考える。

(3)愛他性

松井ら¹⁴⁾では、愛他性を、自己犠牲を負いながらも他のために行動をするとし、本研究においてもこれを援用する。本研究では愛他性に伴う、愛他性の行動者の避難リスク上昇を抑制するため、「避難行動をしながら大声を出す」と定義し、避難促進要因として考える。

4-2. 筑波大学生に対するアンケート調査結果

筑波大学生へのアンケート調査結果⁽¹⁾を用いて、筑波大学生の報知機鳴動時行動意図を明らかにし、エージェント数のパラメータの基本値を設定する。

まず、報知機鳴動時の行動意図として、即時避難をすると回答した人が31.1%(19人)、一度廊下に出るがすぐに避難しない(以下、「一時停止」)と回答した人が57.3%(35人)、とりあえず部屋にとどまる(以下、「居室待機」)と回答した人が11.5%(7人)、その他が0%(0人)であった。次に、避難時の愛他的行動について、絶対できる・恐らくできる・多分できる(以下、「愛他性あり」)と回答した人は42.6%(26人)であった。また、即時避難をすると回答した人のうち愛他性ありと回答した人は31.6%(6人)、一時停止と回答した人のうち愛他性ありと回答した人は51.4%(18人)、居室待機と回答した人のうち愛他性ありと回答した人は28.6%(2人)であった(表1)。

4-3. 避難者エージェントの設定と基本パラメータの設定

(1)エージェントの挙動の設定

避難者エージェント数は、実際の宿舎の居住者数である119人とし、歩行速度は国土交通省¹⁵⁾を参考に1.0m/sとして、煙が1stepで1移動することから、1stepで2移動することになる。避難者エージェントの挙動は宇佐美¹¹⁾を参考とし、報知機鳴動とともに、各々に与えられた心理的属性に基づいて居室内から行動し、2箇所ある1階出口のうち、居室から最も近い出口を目的地として避難行動を行う。

(2)エージェントの種類と基本パラメータ値の設定

本研究における避難者エージェントの種類を以下のよ

うに設定する。また、筑波大学生へのアンケート調査結果から、本研究の基本値となるパラメータ値(以下、「基本ケース」)を、MAS上のエージェント数119人に対応させ、次のように設定する。エージェント数は整数値で設定するため、小数第1位を四捨五入した。以下、エージェント名：基本ケースでの値と表記している。

A)即時避難エージェント：37人

a-1)即時避難愛他性なしエージェント：25人

報知機鳴動と同時に避難を開始し、避難以外の行動はせず、これまでの避難安全検証や関連研究に用いられている基本的なエージェントといえる。

a-2)即時避難愛他性エージェント：12人

a-1)に加えて、避難行動時に、周囲広範囲(移動7step分の範囲)のエージェントに対して火災情報の伝達と避難促進行動を行う、愛他性を持つエージェント。

B)一時停止エージェント：68人

b-1)一時停止愛他性なしエージェント：33人

報知機鳴動と同時に居室内から廊下に出るもの、一時停止し、周囲2step以内に他のエージェントが避難行動をしていれば、あるいは愛他性を持つエージェントによる避難促進情報の取得、煙による火災の覚知の場合に避難行動を開始する。

b-2)一時停止愛他性ありエージェント：35人

b-1)に加えて、出口への避難行動中に、a-2)と同様に避難促進行動を行う、同調性と愛他性を持つエージェント。

C)居室待機エージェント：14人

c-1)居室待機愛他性なしエージェント：10人

報知機鳴動後居室内にとどまり、避難行動を開始しない、正常性を持つエージェント。他の愛他性を持つエージェントによる避難促進情報を取得もしくは煙による火災の覚知によって出口への避難行動を開始する。

c-2)居室待機愛他性エージェント：4人

c-1)に加えて、a-2)・b-2)と同様の行動を行う、正常性と愛他性を持つエージェント。

4-3. MAS実行ケースの設定

本研究では、避難不能者となった人数にもとづいて、避難安全性を検討し、このとき、基本ケースに加えて、以下の4つの実行ケースを、試行回数は各300回として実行する⁽³⁾。前述の通り、報知器鳴動と同時に居住者全員が避難行動(全エージェントがa-1))をする場合には避難不能者は存在しない。

基本ケース: アンケート結果から、a-1)25人、a-2)12人、

b-1)33人、b-2)35人、c-1)10人、c-2)4人とする。

ケース1: 基本ケースから愛他性を持つエージェントを発生させず、a-1)37人、a-2)0人、b-1)68人、b-2)0人、c-1)14人、c-2)0人とする。

ケース2: ケース1のb-1)を全エージェント数に対して5%ずつ増減させ、それに伴いa-1)を5%ずつ減増させる。

ケース3: ケース1のc-1)を全エージェント数に対して5%ずつ増減させ、それに伴いa-1)を5%ずつ減増させる。

ケース4: 愛他性ありエージェント数の割合を、基本ケースから5%刻みで増減させる。Aの5%分をa-1)、a-2)について、Bの5%分をb-1)、b-2)について、Cの5%分をc-1)、c-2)について増減させる。

実行ケースを設定した理由は以下の通りである。

第一に、心理的要因の考慮と避難不能者数である。前述の通り、全エージェントが即時避難の場合には避難不能者が発生しない本MASにおいて、基本ケースでの避難不能者の発生数を明らかにする(基本ケース、ケース1)。

表2 基本ケースとケース1の平均避難不能者数

	基本ケース	ケース1	全員即時避難
平均避難不能者数	3.53人	12.18人	0人

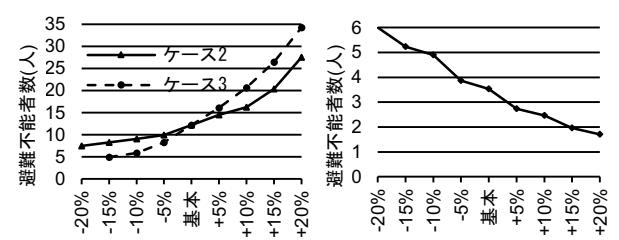


図3 ケース2、ケース3の避難不能者数推移



図4 ケース4の避難不能者数推移

第二に、一時停止エージェント数の変化、ならびに居室待機エージェント数の変化に伴う、避難不能者数の変化である。同調性バイアスと正常性バイアスの避難阻害要因による避難行動開始の遅れが、避難安全性に与える影響を明らかにする(ケース2、ケース3)。

第三に、愛他性を持つエージェント(以下、「愛他的行動者」)数の変化に伴う避難不能者数の変化である。愛他敵行動による避難促進が、避難安全性に与える影響を明らかにする(ケース4)。

5. 分析結果

5-1. 心理的要因を考慮した場合の避難不能者数の増加

表2は基本ケースとケース1の避難不能者数である。今回のMASでは、心理的要因を考慮しなければ避難不能者数は0であるが、アンケート調査で判明した構成比で居住者エージェントに心理的要因を考慮すると避難不能者が発生することが明らかとなった。基本ケースとケース1の違いは愛他性エージェントの有無であるが、基本ケースに比べ、ケース1の避難不能者数が多いことから、愛他性エージェントによる避難不能者数の減少が確認されたことになる。

5-2. 同調性バイアス、正常性バイアスが避難安全性に与える影響

図3は、ケース2、ケース3における避難不能者数の変化である。一時停止エージェント、居室待機エージェントの増加に伴い、避難不能者数が単調増加しているといえる。また、居室待機エージェントの増減に伴う避難不能者数の変化は、一時停止エージェントの増減に伴うそれに比べて、顕著な増減がみられることから、特に居室待機エージェントを減少させることが、避難安全性に重要と考えられる。つまり、正常性バイアスの除去が避難阻害要因としての同調性バイアスに比べて重要であり、このことから、報知機が鳴動した際には、たとえ誤報を感じても、一度居室外に出ることを、重点的に促進する必要があると推察される。

5-3. 愛他的行動者の増減が避難安全性に与える影響

(1) 愛他的行動者数の変化に伴う避難不能者数

図4は、ケース4の避難不能者数の変化である。愛他的行動者数の増加に伴い、避難不能者数の減少が確認され、多くの人が大声を出すなど情報伝達を行いながら避難を行うことで、避難安全性が向上されるといえる。しかしながら、5%(6人)愛他的行動者を増加させた場合にも、避難不能者数は最大1.01人(-15%→-10%への愛他性増加時)の減少で、避難不能者率は0.84%の改善にとどまった。愛他的行動者を増加させることで避難不能者は減るが、その減少の割合は小さいことが明らかとなった。

表3 避難不能者数と階別愛他行動者数の相関係数

	愛他の行動者数			
	1階	2階	3階	4階
避難不能者数	-0.490	-0.525	-0.545	-0.540

表4 避難不能者数と階別愛他的行動者数の重回帰分析結果

	係数	標準誤差	標準化係数	有意確率
(定数)	9.481	0.157	0.000***	
2階愛他的行動者数	-0.116	0.018	-0.165	0.000***
3階愛他的行動者数	-0.172	0.018	-0.248	0.000***
4階愛他的行動者数	-0.165	0.018	-0.237	0.000***
サンプル数	2700	調整済み決定係数	R ² =0.349	***p<0.001

(2)各階別に見た愛他的行動者数の違いによる避難不能者数

表3はMAS1回ごとの結果を1サンプルとし、避難不能者数と階別の愛他的行動者数との相関係数をみたものであり、避難不能者数と3階の愛他性エージェント数に相関の強い傾向があり、次いで4階、2階、1階であった。

表4は同様に、MAS1回ごとの結果を1サンプルとし、避難不能者数を目的変数、1階から4階の階別の愛他的行動者数を説明変数とし、ステップワイズ法(in,outはp<0.05)を用いた重回帰分析結果である。調整済み決定係数R²=0.349で、あてはまりはあまりよく無いが、標準化係数についてみると、3階の愛他的行動者数の影響が最も強く、次いで4階であり、1階の愛他的行動者数は有意にならなかった。つまり、愛他的行動をする人が3階、4階に多いほど、建物全体の避難安全性が高いといえ、これは、愛他的行動者が避難開始の遅れを解消するための働きを持っており、避難距離が長い上層階にいることが、理由と推察される。ここで、3階と4階の標準化係数の差は0.11、相関係数の差は0.005であるが、3階の影響、相関が4階よりも強かった理由として、4階の避難者は最も移動距離が長いことから、愛他的行動者による避難促進行動があった場合でも、避難不能になってしまう可能性が3階に比べて高いことを示唆している。

以上のことから、建物の責任者などリーダーシップを發揮できる人を上層階に居住させる、あるいは、避難時に大声を出す、ドアを叩く等の行動の促進を、特に上層階居住者に行なうことが必要であり、加えて、最上階居住者は、できるだけ早く避難を開始する必要もあると考えられる。

6. まとめ

本研究では、これまで建物火災における避難安全性の検証に、避難行動時の心理的要因が考慮されていないことに着目し、正常性バイアス、同調性バイアス、愛他性の3つの心理的影響を踏まえた避難安全性の検討を行った。本研究の成果として以下の3点が挙げられる。

第一に、避難の安全性に対して、避難行動開始の意思決定や避難時の行動が影響を及ぼしていることから、これらを考慮した検討が必要になる。

第二に、一時停止避難者や居住待機者が減少することで、避難不能者数が減少することが定量的に確認された。これまでも、報知機の鳴動と共に避難を開始する必要性が言われてきたが、これが支持される結果となった。

第三に、愛他的行動者の発生に伴い、避難不能者の減少が確認され、このとき、階別の愛他的行動者数と避難不能者の関係について、上層階ほど愛他的行動者が出現すると避難不能者数の減少が大きいことが確認され、特に上層階居住者への愛他的行動促進が必要といえる。

今後の課題として、まず、一般の集合住宅においても、同様の状況が確認されるか検討が必要である。また、愛

他的行動による避難リスクの上昇や、建物構造による煙の拡散や延焼速度の状況を再現することで、より現実的な避難安全性の検討への発展が期待される。

謝辞

本研究は、筑波大学理工学群社会工学類で平成26年度に開講された「社会工学における戦略的思考：理論、実験および演習」での実習内容を引き継いでいる。実習班員、ならびに筑波大学システム情報系渡邊直樹准教授、秋山英三教授、また、本稿の執筆あたり、筑波大学システム情報系糸井川栄一教授のご指導・ご助力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

補注

- 諫山ら¹⁶⁾によって平成27年2月に実施されたアンケート調査結果に基づき、筆者が再計算を施したもの。
- 平成27年4月14日に筆者が行った調査において、防火扉が設置されている階段入り口付近にダンボールが置かれていた。ただし、3日後の4月17日には撤去されていた。
- 200回～300回実行時に、全ての分析で避難不能者数の平均値の誤差が0.01を超えないため、300回実行とした。

参考文献

- 日本防災研究所:防災計画、性能設計について—避難安全検証—(http://nichiboken.co.jp/plan/root01/index.html,閲覧日2015.5.2).
- 掛川秀史、関沢愛:火災時における建物の避難安全性評価のための避難シミュレーションモデル、日本リスク研究学会誌,23(4),pp241-248,2013.
- 脇山宗也、木村香代子、添川光雄:超高層建物を対象とした火災避難シミュレーションシステムの構築、第51回自動制御連携講演会,pp1008-1011,2008.
- 水野雅之、円谷信一、山田茂、田中啓義、森田昌宏、若松孝旺:建物火災時の避難安全評価シミュレーションプログラムの開発(その2)避難行動モデルの概要ー、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿),pp217-218,2005.
- 中野陽介、海老原学、大宮喜文、佐野友紀、掛川秀史:アンケート調査結果に基づく避難行動特性の違いについて、日本建築学会学術梗概集(近畿),pp235-236,2005.
- 山村武彦:人は皆「自分だけは死がない」と思っている、宝島社,2005.
- 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-IS-126(8),pp1-8,2013.
- 筑波大学施設部:平砂学生宿舎1号棟 棟別平面図 (http://shisetsu.sec.tsukuba.ac.jp:8080/heimenu/nishichiku/pict/3-0408-004-071_073.pdf,閲覧日2015.5.2)
- 構造計画研究所:MASコミュニティーartisoc3.5 (http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd0/index.php?id=11,閲覧日2015.5.4)
- 兼田敏之編:artisocで始める歩行者エージェントシミュレーションー原理、方法論から安全、賑わい空間のデザイン、マネジメントまで、人口社会の可能性03、構造計画研究所,2010.
- 宇佐美一朗:マルチエージェントを用いた火災発生時の避難シミュレーションー大阪市浪速区の個室ビデオ店放火事件の実例に基づいた研究ー、MAS コミュニティー,2008(http://mas.kke.co.jp/modules/mydownloads2/viewcat.php?cid=2&min=90&orderby=dateD&show=30,閲覧日2015.5.2).
- 神忠久:生死を分ける避難の知恵ーその1火災避難時の基礎知識ー、日本照明工業会 (http://www.jlma.or.jp/anzen/pdf/bousai_hinan_tie.pdf,閲覧日2014.2.7)
- 日本リスク研究学会編:リスク学用語小事典,p147,2008,丸善.
- 松井洋、中里至正、石井隆之:愛他性の構造に関する国際比較研究ー米国、中国、韓国、トルコ、日本の中学、高校生を対象としてー、社会心理学研究,13(2),pp133-142,1998.
- 国土交通省:避難シミュレーション報告 (http://www.mlit.go.jp/common/001024824.pdf,閲覧日2015.5.4)
- 諫山圭司、久保大輝、佐藤優希、柴田智香子、東小蘭郁真、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ー、第15回MASコンペティション、構造計画研究所(http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd3/,閲覧日2015.5.7).