

マルチエージェントモデルによる火災時避難安全性能評価技術の開発

吉野 攝津子 山口 純一
村岡 宏

Development of Fire Safety Evaluation System with a Multi-Agent based Simulation

Setsuko Yoshino Junichi Yamaguchi
Ko Muraoka

Abstract

This study compared the results of a smoke diffusion and multi agent simulation model (SD-MAS) with those of the evacuation experiments and of the present calculation method. A case study revealed the following results: 1) The evacuation time of the SD-MAS was 20%-30% shorter if a fire-origin was located on the opposite side of the exit and an agent could obtain evacuation directions from other agents. 2) If the fire-origin was located near the exit, the evacuation time of the SD-MAS was shorter than that of the present calculation method, whereas it was almost the same when the fire-origin was located opposite side of the exit. It is suggested that the SD-MAS could evaluate the evacuation feature that present calculation methods could not evaluated.

概要

火災発生から避難完了までの避難行動の予測に必要な技術として煙拡散・避難シミュレーションモデル(SD-MAS: Smoke Diffusion and Multi Agent Simulation Model)を開発した。本報では、MAS単独モデルと既往の避難実験や避難計算法による結果との比較により、モデルの妥当性を確認した上で、SD-MASを用いて、各避難者エージェントに煙が到達した時間を避難開始時間とした居室避難のケーススタディを行った。ケーススタディの結果、火源位置と出口の離隔距離によってSD-MASによる計算結果は大きく異なり、特に火源が出口から遠い場合は避難開始のきっかけとして情報伝達を考慮することで避難時間が2~3割短くなった。これらの結果から、避難開始時間として煙到達時間や情報伝達を考したSD-MASが、従来の計算法では評価ができなかった事象の評価や、より適切で合理的な避難安全設計に役立つことが示された。

1. はじめに

近年、マルチエージェントモデルを用いた避難シミュレーション(以後、MAS)の開発が盛んに行われている。MASでは、計算機上で自律的に行動する多数の避難者エージェント達の相互作用として、群衆流や避難性状を再現できる。このため、在館者が多く、複雑な合流が発生することが懸念される空間や、複雑な避難経路を有する建築物の火災時の避難安全計画を評価するツールとして期待されている。しかし、MASの避難安全性能評価(ルートC)への適用は進んでいないのが実情である。その一因として、MASでは一般的に、避難安全検証法(平成12年建設省告示第1441号)の避難行動時間(歩行時間 t_{travel} と扉の通過時間 t_{queue} の合計)より危険側の結果が得られることが多いこと、また、建築物の避難計画の評価でMASを利用する際の避難行動モデルや避難シナリオ、判断指標が標準化されていないために、アウトプットの妥当性が判断できないこと等が挙げられる。

建築物の避難計画の評価におけるMASの利用目的は、建築計画上の工夫で避難安全性が向上することを評価し、建築設計に反映させることと考えられる。その達成に向けては、設計用の避難行動モデルや避難シナリオ、判断指標の明確化、そして、ベンチマークとなる避難計算法

とMASの結果の関係性を把握することが重要である。そこで、MASのルートCでの適用に向け、その技術的根拠を整備することを目的として、火災の発生から避難が完了するまでの一連の避難行動に着目し、その予測に必要な技術として煙拡散・避難シミュレーションモデル(SD-MAS: Smoke Diffusion and Multi Agent Simulation Model)を開発した。

本報では、まず開発したモデル(MAS単独モデル)と既往の避難実験や避難計算法による結果との比較によりモデルの妥当性を確認し、次にそのモデルと煙拡散モデルを組み込んだSD-MASを用いて、各避難者エージェントに拡散した煙が到達した時間を避難開始時間とした避難シナリオに基づく居室避難のケーススタディの結果について報告する。

2. 避難シミュレーションモデルの概要

2.1 MAS単独モデルの構成要素

本モデルは、「エージェント」とエージェントが行動する「空間」で構成される。

2.1.1 空間 本モデルで用いる空間は、実数的な二次元座標空間であるが、空間情報を定義するにあたり、便宜的に各セルに属性値とポテンシャル値を定義したセル

型空間を用いている。Fig. 1 に示すように、属性値には壁や障害物等のレイアウト情報を設定し、ポテンシャル値には任意の地点までの距離を設定している。エージェントは避難シナリオに沿って目的地までのポテンシャルマップが与えられる。

2.1.2 エージェント エージェント(以後、Agt)とは、自立的な行動主体を指し、避難者Agtとは、意思決定基準や歩行速度等の行動特性に関して個別のパラメータ値を与えられた自律的な判断を行う避難者モデルを意味する。

(1) 行動ルール Agtは目的地までの最短経路を選択し、現在の自身の位置、進行方向と速度、他Agtや障害物の位置との関係から次ステップの自身の位置を決める。各ステップのAgtの行動ルールをFig. 2 に示す。ステップごとにAgtは、まず、周囲で最小のポテンシャル値を持つセルに向きを定める。次に、他Agt、障害物の位置と自身の位置と速度から移動後に任意の他Agtとのパーソナルスペース(以後、ps)、及び障害物との距離(以後、ws)を確保できるか判定する。移動後にpsとwsを確保できる場合は移動し、確保できない場合は、初期の進行方向を0度として、±90度の範囲を45度ずつ変えて再び移動可否判定を繰り返す。全ての角度で移動不可と判定され

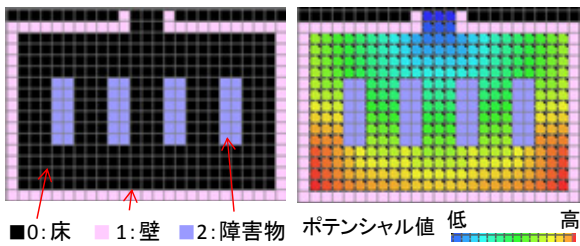


Fig. 1 属性値(左)とポテンシャル値(右)の設定例
Example of Property(Left) and Potential(Right)

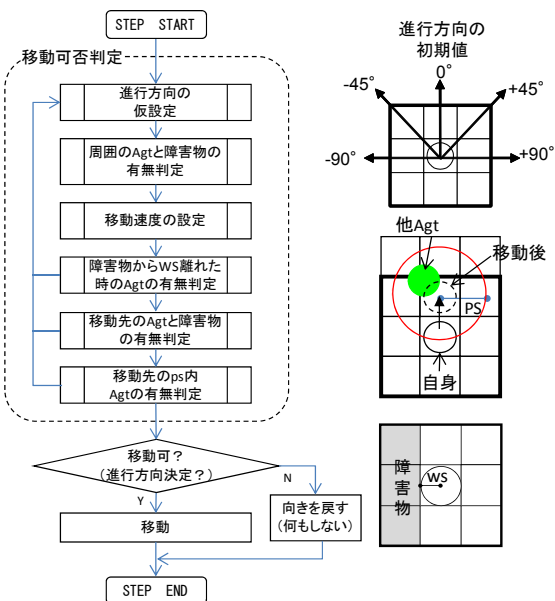


Fig. 2 ステップごとのエージェントの行動ルール
Agents' Behavior Rule of Each Step

た場合は、そのステップは停止し、次のステップで移動先を再探索する。

(2) 移動速度 Agtの移動速度は、戸川の密度-速度の近似式¹⁾にならない、単位幅及び単位時間当たりの通過人数である流動係数 N (人/㎡・s)、すなわち速度 v (m/s)と密度 ρ (人/㎡)の積が一定となるようにした。また、速度 v には任意の上限値 v_{max} を設定できるようにし、密度が流動係数以下の場合でも上限値 v_{max} を超えないようにした。

$$\begin{aligned} \rho < N \text{ の場合, } & v = v_{max} \\ \rho \geq N \text{ の場合, } & v = N/\rho \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 避難シミュレーションモデルの妥当性検証

本モデルの妥当性を検証するため、居室と廊下を模した実大規模実験区画における被験者実験²⁾の結果と比較し、基本的な流動性状の再現性を確認した。

2.2.1 対象空間の概要 検証対象とした空間をFig. 3 に示す。空間は、実験区画と同様にW2700×D5400mm×3室及びW1600mm(またはW1200mm)の廊下とした。

2.2.2 検証ケース 検証ケースの概要をTable 1 に示す。有効廊下面積、居室の扉幅、廊下幅、在館者数が異なる13ケースについて、他室からの合流、扉の選択、廊下の有無を変化させた条件の流動性状を比較した。

2.2.3 計算条件 Agtの移動速度 v は、比較対象とした実験値の流動係数 N が2.0前後であったことから²⁾、流動係数 $N=2.0$ となるように設定し、移動速度の上限値 v_{max} は1.0 m/sとした。また、Agtの初期配置はランダムとした。

2.2.4 結果 廊下出口と居室扉通過時間の実験値及び本モデルによる計算結果をFig. 4, Table 1に示す。廊下出口及び居室扉通過時間共に、実験値に対して本モデルの計算結果は比較的高い再現性を示した。滞留可能な有効廊下面積が異なるケースA1~A4をみると、実験値は、滞留面積が大きくなるほど扉通過時間が短くなる傾向を示したが、本モデルでも同様の傾向が再現された。2室の扉から流出した歩行者が廊下で合流するケースB1~B4では、実験値は、滞留面積が狭いA室歩行者のA扉通過時間が長くなる傾向を示したが、本モデルでも同様の傾向が再現された。また、実験値で示された扉幅が大きな条件

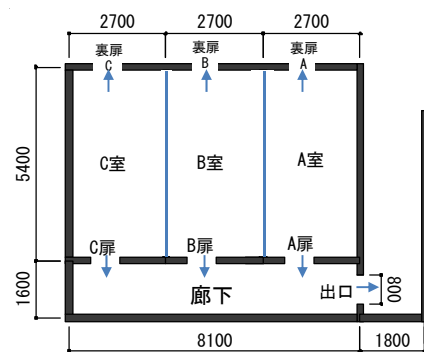


Fig. 3 対象空間の平面形状(単位:mm)
Plan of Target Space (Unit: mm)

Table 1 検証ケースの概要及び結果
Outline of Verification Cases and Results

ケース名	実験条件 ^{*1}					実験結果 ^{*2}								
	使用室	使用扉	居室面積 (㎡)	扉幅 (m)	有効廊下面積 (㎡)	配置人数 (人)	通過時間 (s)				標準偏差			
							居室扉		廊下出口		居室扉		廊下出口	
実験	MAS	実験	MAS	実験	MAS	実験	MAS	実験	MAS	実験	MAS	実験	MAS	
A1	A+B	扉A	19.44	1.6	2.88	56	30.3	36.7	35.7	41.8	1.9	0.9	1.7	0.8
A2	A+B	扉B	19.44	1.6	7.20	56	22.7	30.5	36.0	42.2	0.5	0.6	0.8	0.9
A3	B+C	扉C	19.44	1.6	11.52	56	19.7	30.1	37.7	45.5	0.5	0.8	1.2	0.7
A4	A+B	扉B	19.44	1.6	5.40	56	30.7	35.9	38.7	50.4	1.2	1.3	0.9	0.6
B1	A	扉A	9.72	0.8	7.20	28	32.3	41.1	36.3	44.4	1.2	1.3	1.2	1.1
	B	扉B	9.72	0.8	7.20	28	19.7	27.6			0.5	1.0		
B2	A	扉A	9.72	0.8	7.20	28	31.7	40.5	34.7	43.2	2.1	0.7	0.9	0.7
	B	扉B	9.72	1.6	7.20	28	12.0	17.9			0.8	1.3		
B3	A	扉A	9.72	1.6	7.20	28	17.7	23.3	34.4	39.6	0.5	1.1	2.1	0.5
	B	扉B	9.72	0.8	7.20	28	21.3	28.1			1.9	1.1		
B4	A	扉A	9.72	0.8	5.40	28	36.0	41.0	38.7	44.2	0.8	1.1	0.9	1.0
	B	扉B	9.72	0.8	5.40	28	21.7	24.9			0.5	1.1		
D1	A+B+C	扉A	43.74	0.8	11.52	56	30.0	36.8	35.3	41.0	2.8	1.2	2.1	0.9
		扉B		0.8	11.52		18.0	24.1			1.6	1.2		
		扉C		0.8	11.52		9.9	14.2			0.5	0.9		
D2	A+B+C	裏扉A	43.74	0.8		56	12.9	13.1			0.8	0.6		
		裏扉B		0.8			12.8	12.6			0.5	0.6		
		裏扉C		0.8			13.1	13.5			1.6	0.9		
D3	A+B+C	裏扉B	43.74	0.8		42	26.9	29.2			1.4	1.2		
D4	A+B+C	裏扉A	43.74	0.8		42	25.7	29.0			1.6	0.8		
D5	A+B+C	扉A	43.74	0.8	8.64	56	33.7	36.7	38.3	49.1	1.2	1.5	0.5	1.1
		扉B		0.8	8.64		23.3	27.8			2.4	0.7		
		扉C		0.8	8.64		12.3	15.6			1.9	0.5		

*1 初期条件として廊下に滞留が生じているケースは検討対象から除外した。
*2 実験値は各ケース3回繰り返した平均値、MASの結果は各ケース10回試行した平均値。

で扉通過時間が短くなる傾向も本モデルで再現された。さらに、廊下を経由しない(廊下での滞留の影響を受けない)ケースD2~D4では、実験値に対して本モデルの結果はほぼ同等の値を示した。以上より、本モデルによる流動性状の再現性は概ね妥当であることが確認された。

2.3 既往の避難計算法との比較

ここでは、避難開始時間を考慮しない避難行動時間について、平成12年建設省告示第1441号(以後、告示法)及び防災計画指針³⁾(以後、指針法)の考え方に基づく計算法と本モデルの結果を比較した。なお、以後のTable及び式中の記号の説明は本文末に示す。

2.3.1 対象空間の概要 室の平面形状はFig. 5 に示すアスペクト比4の矩形で室面積64m²から2304m²の6ケースとし、出口は左下隅1箇所、在館者密度 ρ は0.5人/m²とした。対象空間の条件をTable 2 に示す。

2.3.2 計算条件及び計算結果 比較した計算法の諸条件をTable 3 に、計算結果をTable 4, Fig. 6 に示す。本モデルの避難行動時間は、全ての条件で告示法ベースと指針法ベースの間の値となり、告示法ベースの結果よりも危険側の結果が得られた。これは、告示法ベースでは、避難行動時間 t_{move} を歩行時間 t_{travel} と出口通過時間 t_{queue} の合計とするのに対し、本モデルでは、居室内にランダムに配置されたAgtの出口への集結と、出口通過が同時に行われるため、歩行時間が相殺されたことによる。一方、床面積と避難行動時間の関係をみると、避難行動時間 t_{move} を歩行時間 t_{travel} と出口通過時間 t_{queue} の最大値をとする指針法ベースの結果に近い傾向を示した。

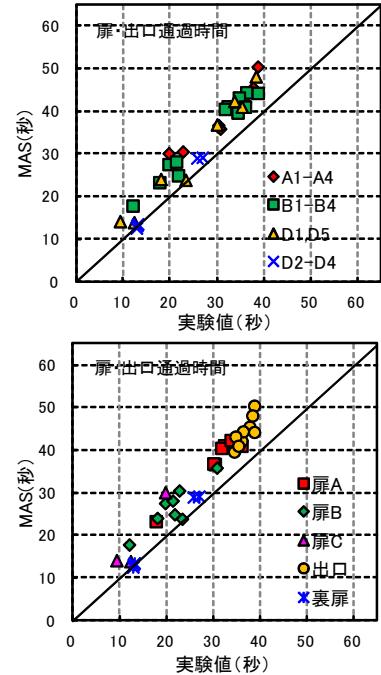


Fig. 4 扉通過時間(上：扉別，下：条件別)
Completion Time of Door Pass
(Upper: Cases, Lower: Doors)

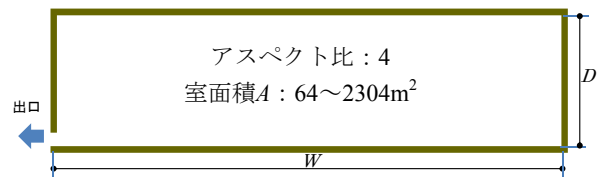


Fig. 5 対象空間の平面形状
Plan of Target Space

Table 2 対象空間の条件
Conditions of Target Space

室面積 A (m ²)	空間サイズ		在館者数 P (人)	出口幅 B (m)	1人当り出口幅(mm/人)
	W (m)	D (m)			
64	16	4	32	0.8	25.00
256	32	8	128	0.8	6.25
576	48	12	288	1.6	5.56
1024	64	16	512	3.2	6.25
1600	80	20	800	4.8	6.00
2304	96	24	1152	7.2	6.25

Table 3 比較した計算法の諸条件
Calculation Condition

	告示法ベース	指針法ベース
歩行速度 v (m/s)	1.0	1.0
流動係数 N (人/m ² ・s)	1.5	1.5
避難開始時間 t_{start} (s)	0	0
歩行時間 t_{travel} (s)	L_{max}/v	L_{max}/v
出口通過時間 t_{queue} (s)	$\rho_0 A/NB$	$\rho_0 A/NB$
避難行動時間 t_{move} (s)	$t_{travel} + t_{queue}$	$\max(t_{travel}, t_{queue})$

Table 4 計算条件及び計算結果
Calculation Conditions and Results

室面積 A (m ²)	歩行距離 L_{max} (m)	歩行時間 t_{travel} (s)	出口通過時間 t_{queue} (s)	避難行動時間 t_{move} (s)		
				告示法ベース	指針法ベース	MAS
64	20.0	20.0	26.7	46.7	26.7	29.4
256	40.0	40.0	106.7	146.7	106.7	108.8
576	60.0	60.0	120.0	180.0	120.0	128.0
1024	80.0	80.0	106.7	186.7	106.7	115.1
1600	100.0	100.0	111.1	211.1	111.1	126.5
2304	120.0	120.0	106.7	226.7	120.0	126.3

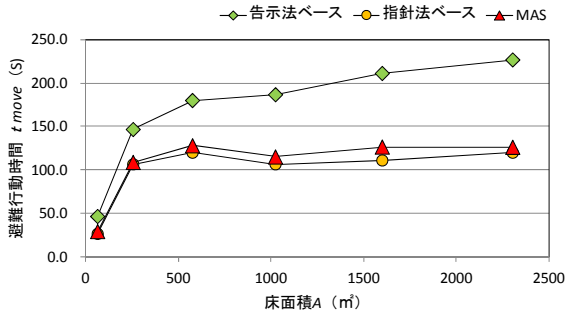


Fig. 6 避難行動時間 t_{move} の比較
Comparison of Time of Evacuation Behavior

3. 煙拡散モデルの概要

ここでは、室内で拡散した煙が避難者Agtに到達した時間を避難開始時間とするMASモデルを構築するために用いた、室形状を考慮した煙拡散時間簡易予測モデル⁴⁾の概略を示す。

現在一般に使われている二層ゾーンモデル⁵⁾は現行の避難安全検証法の煙降下時間の計算式にも使用されているが、二層ゾーンモデルには、室形状(視認性など)の評価を行う際に重要となる、火災初期の煙の水平伝播性状のモデルが組み込まれていないため、室形状が複雑となる空間への適用性に課題がある。そこで、田中により提案されている煙降下時間の簡易予測式⁵⁾をベースに煙拡散モデルを検討した。

Fig. 7 に示すように、火災初期の煙はある厚さ Z_s の熱気流(以後、天井流)が天井面下を水平に移動するが、天井流が火災室全体に拡散する時間と二層ゾーンモデルにおいて煙層が所定の厚さ(≒天井流厚さ Z_s)になる時間は等しいと考えた。床面積は同じであっても、室形状が複雑になると煙の流動性は低下し、そのため煙が室全体に拡散する時間は長くなることが予想される。田中の簡易予測式では室形状を考慮することはできないので、煙の拡散の遅れを仮想的に床面積の大きな室とみなした。煙の拡散時間は壁周長に大きく依存することが明らかになっているので⁵⁾、Fig. 8 に示すように、正方形以外の平面形状を有する室においては、壁周長 L_w が等しい正方形



Fig. 7 煙拡散の概念図
Conceptual Diagram of Smoke Diffusion

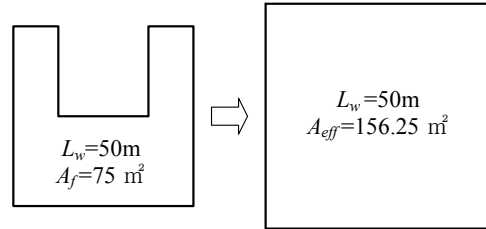


Fig. 8 煙拡散実効面積 A_{eff} の算定例
Calculation Example of Effective Area of Smoke Diffusion

の室に読み替え、その床面積を煙拡散実効面積 A_{eff} と定義した。

$$A_{eff} = (L_w/4)^2 \quad (2)$$

煙拡散実効面積 A_{eff} を採用することによって、天井流は周壁の影響の少ない空間と同等と考えられる。また、本検討において、天井流の厚さ Z_s は一律に天井高さ H_f の10%として設定した⁵⁾。

$$Z_s = 0.1H_f \quad (3)$$

以上より煙拡散時間 t_{smoke} の予測式は次式となる。

$$t_{smoke} = \left\{ \frac{n+3}{2} \cdot \frac{\rho_\infty A_{eff}}{C_m \alpha^{1/3}} \left(\frac{1}{(H_f - Z_s)^{2/3}} - \frac{1}{H_f^{2/3}} \right) \right\}^{\frac{3}{n+3}} \quad (4)$$

$$= \left\{ \frac{n+3}{32} \cdot \frac{\rho_\infty L_w^2}{C_m \alpha^{1/3}} \left(\frac{1}{(0.9H_f)^{2/3}} - \frac{1}{H_f^{2/3}} \right) \right\}^{\frac{3}{n+3}}$$

4. 避難時間の評価

2章に示した避難シミュレーションモデルに3章に示した煙拡散モデルを付加し、拡散した煙が避難者Agtに到達した時間を避難開始時間とする煙拡散・避難シミュレーションモデル(以後、SD-MAS)を用いて居室避難の避難時間に関するケーススタディを行った。また、同じ条件で建築基準法の告示や防災計画指針に基づいた避難計算法により避難開始時間、及び居室避難時間を算出し、計算結果を比較した。

4.1 ケーススタディの実施条件

検討対象空間は、2.3節において避難シミュレーション

モデルと既往の避難計算法の結果を比較した際と同様のアスペクト比が4の矩形とし、室面積を6段階に変え実施した(Table 2 参照)。室の出口はFig. 9 に示すように避難安全上、最も不利な条件として左下隅1ヶ所のみとし、出口幅B(m)は避難者一人当たりの幅が6mmになるように設定した(室面積A=64m²のケースのみ25mm/人)。火源の位置は出口に近い条件aと出口から遠い条件bの2種類を設定し、室の火災成長率については $\alpha=0.08\text{kW/s}^2$ とした。また、初期状態として室の在館者密度 $\rho=0.5\text{人/m}^2$ となるようにAgtをランダムに配置し、Agtの歩行速度は上限値 $v_{\max}=1.0\text{m/s}$ 、流動係数 $N=1.5\text{人/m}\cdot\text{s}$ となるように設定した。

SD-MASにおける各Agtの避難開始時間 $t_{\text{start,agt}}$ は以下の2つの条件で計算を行った。

- 1) 任意のAgtの位置に煙が到達した時点。

$$t_{\text{start,agt}} = t_{\text{smoke,agt}} \quad (5)$$

- 2) 任意のAgtの位置に煙が到達した時点、あるいはすでに避難を開始した他のAgtが接近して情報伝達を受ける時点のどちらか早い方。

$$t_{\text{start,agt}} = \min(t_{\text{smoke,agt}}, t_{\text{inform,agt}}) \quad (6)$$

条件1)における $t_{\text{smoke,agt}}$ の算出方法は3章の式(4)に従う。また、条件2)において他のAgtから情報を受けることができる離隔距離(情報伝達距離 r_i)は本ケーススタディでは0.5mとした

次に比較のために実施した避難計算法の諸条件をTable 5 に整理する。計算法(イ)は防災計画指針³⁾に基づく方法で、避難開始時間に歩行時間と出口滞留時間のどちらか大きい方を加えたものを居室避難時間としている。但し、避難開始時間は3章の式(4)で算出される t_{smoke} とした。計算法(ロ)は平成12年建設省告示第1441号に基づく方法とした。

4.2 ケーススタディの結果及び考察

4.2.1 居室避難時間の比較

居室避難時間と室面積の関係について、火源位置aをFig. 10に、火源位置bをFig. 11に示す。また、シミュレーション開始から100秒後の避難性状をFig. 12 に示す。SD-MASによる居室避難時間は火源位置a(出口に近い)の場合、室面積が64m²~1600m²の場合に計算法(イ)、(ロ)よりも短くなった。煙の認識によって避難を開始するSD-MASの場合、火源に近い、つまり出口に近い在室者から避難を開始することになり、結果的に出口付近での滞留が生じにくくなるためと考えられる。一方、歩行時間が滞留時間を卓越する室面積が2000m²以上では(Table 4参照)、計算法(イ)、(ロ)の間の値となった。これは、避難開始時間を室面積の関数とする計算法(ロ)では、本ケーススタディで対象としたような壁周長が長い室形状では、歩行時間が滞留時間を卓越するような場合に、避難開始時間が計算法(イ)(=SD-MASの最大値)と比較して短めに算出される傾向を示すものと考えられる。なお、火源が出口に近い本

ケースでは情報伝達の有無は避難時間に影響を与えないことがわかる(Fig.10参照)。

火源位置b(出口から遠い)の場合、SD-MASでは出口から遠い入室者から避難を開始するため、出口付近での滞留の度合いが大きくなる。特に、情報伝達がない場合の居室避難時間は、室面積が1600m²を超えると計算法(イ)、(ロ)の間の値となった。一方、情報伝達がある場合は出口付近の滞留の度合いが小さくなり、室面積が500m²を超えると情報伝達がない場合、及び計算法(イ)、(ロ)と比較して居室避難時間は2~3割短くなった(Fig. 11参照)。

4.2.2 避難開始要因の考察

Fig. 13 はSD-MASにおける居室面積1024m²の避難開始人数の時間的推移である。火源の位置aは、出口に近いので避難を開始するきっかけが煙の到達である割合が高かった。一方、火源位置bは、出口から遠いので、避難を開始するきっかけが情報伝達である割合が各時間帯において高くなった。なお、火源位置bの情報伝達がない条件では、Agtは自身の位置まで煙が到達するまでは、すでに避難を開始した他Agtが脇を通過しても避難を開始しないため、避難開始した他Agtの進行を妨害し、滞留させる不自然な状況が全ケースでみられた(Fig. 12 参照)。火源位置bのように煙の到達時間 t_{smoke} よりも他者から情報伝達時間 t_{inform} が短くなることが想定されるケースでは、式(6)に基づく避難開始時間を用いた方が、適切に避難性状が再現されることが示された。

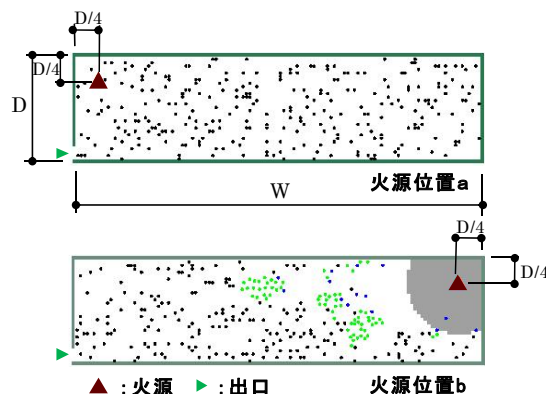


Fig. 9 想定した室形状と火源位置
Shape of Room and Fire-Origin Location

Table 5 比較対象とした避難計算法の諸条件
Calculation Conditions of Evacuation Time

	計算法(イ)	計算法(ロ)
歩行速度最大値 v_{\max} (m/s)	1.0	1.0
流動係数 N (人/m \cdot s)	1.5	1.5
避難開始時間 t_{start} (s)	t_{smoke}^{*1}	$2\sqrt{A}$
歩行時間 t_{travel} (s)	L_{\max}/v	L_{\max}/v
出口通過時間 t_{queue} (s)	$\rho_0 A/NB$	$\rho_0 A/NB^{*2}$
避難行動時間 t_{move} (s)	$\max(t_{\text{travel}}, t_{\text{queue}})$	$t_{\text{travel}} + t_{\text{queue}}$
居室避難時間 t_{escape} (s)	$t_{\text{start}} + \max(t_{\text{travel}}, t_{\text{queue}})$	$t_{\text{start}} + t_{\text{travel}} + t_{\text{queue}}$

*1 t_{smoke} の算出方法は式(4)を参照。

*2 出口付近で出火した場合の B_{eff} は考慮していない。

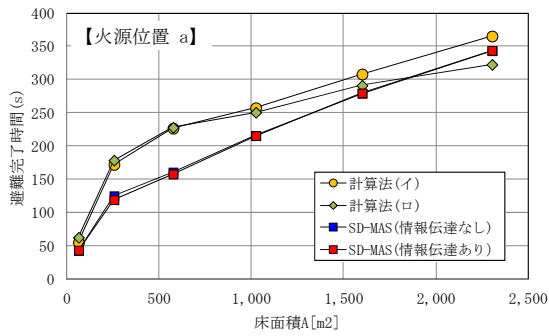


Fig. 10 居室避難時間と面積の関係(火源位置a)
Room Evacuation Time and Area (Fire Location a)

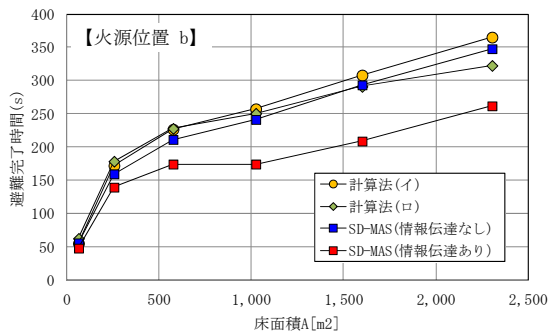


Fig. 11 居室避難時間と面積の関係(火源位置b)
Room Evacuation Time and Area (Fire Location b)

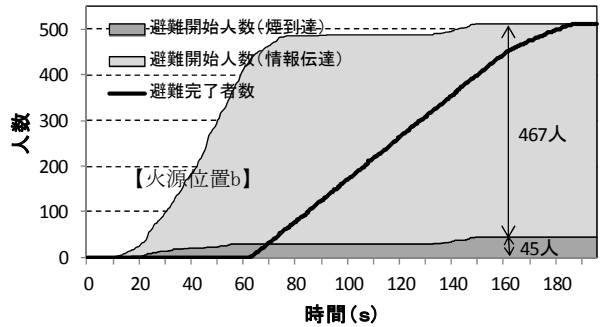
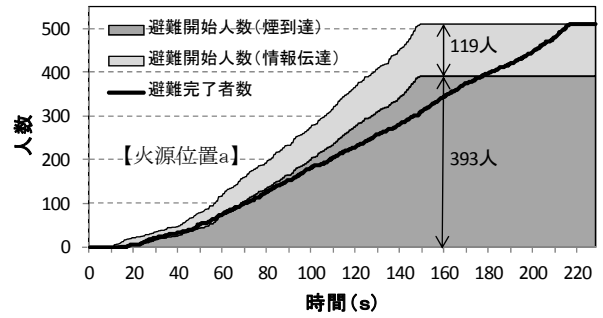


Fig. 13 SD-MASにおける避難開始人数の時間的推移
(A=1024m², 情報伝達あり)
Number of People Started Evacuation
(A=1024 m², Information Transfer Available)

5. まとめ

火災が発生してから避難が完了するまでの一連の避難行動に着目し、その予測に必要な技術として煙拡散・避難シミュレーションモデル(SD-MAS)を開発した。MAS単独モデルと既往の避難実験結果との比較では、モデルによる流動性状の再現性が妥当であることを確認した。また、既往の避難計算法との比較では、指針法ベースの結果に近い傾向を示すことがわかった。

次に、複雑な室形状を考慮した煙拡散モデルを取り入れたSD-MASを用いて、各避難者エージェントに煙が到達した時間を避難開始時間とした避難シナリオに基づく居室避難のケーススタディを行った。ケーススタディの結果、火源位置と出口の離隔距離によってSD-MASによる居室避難時間の計算結果は大きく異なり、特に火源が出口から遠い場合は避難開始のきっかけとして情報伝達を考慮することで避難時間が2~3割短くなる傾向が示された。これらの結果から、避難開始時間として煙到達時間や情報伝達を考慮した避難シナリオを付加したSD-MASが、従来の計算法では評価ができなかった事象の評価や、より適切で合理的な避難安全設計に役立つことが示された。

今後は、避難行動に影響を与える要因を精査し、避難行動モデルの更なる高度化を進め、在館者数の多い空間、複雑な合流の発生が予想される空間や複雑な避難経路等の建築物の避難計画の評価に供する技術として発展させる予定である。

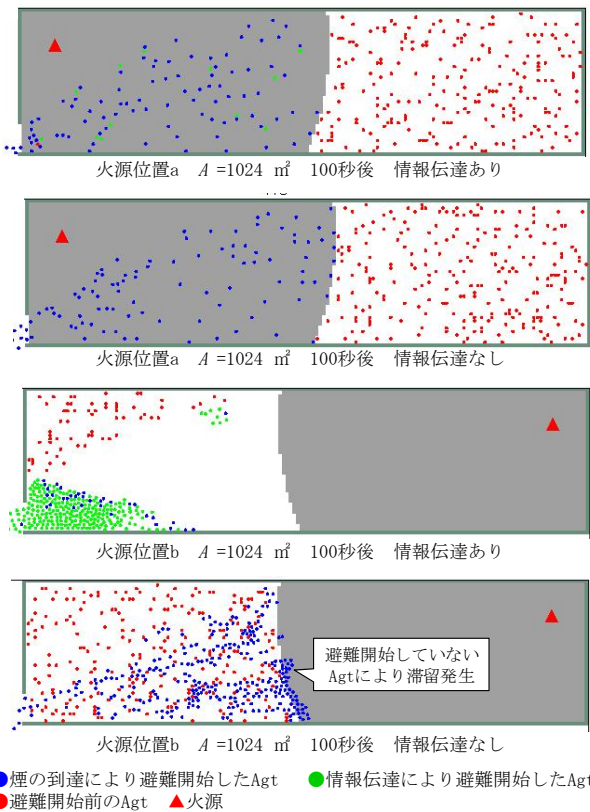


Fig. 12 SD-MASにおけるシミュレーション結果の例
Example Outputs of SD-MAS

【凡例】 t_{start} : 避難開始時間[s], t_{move} : 避難行動時間[s], L_{max} : 最大歩行距離[m], t_{travel} : 歩行時間[s], t_{queue} : 出口通過時間[s], N : 流動係数[人/m・s], ρ : 滞留密度[人/m²], v : 速度[m/s], A_{area} : 床面積[m²], B : 出口幅[m], ρ_0 : 在館者密度[人/m²], P : 在館者数[人], A_f : 床面積[m²], A_{eff} : 煙拡散実効面積[m²], C_m : 巻き込み係数(=0.076) [kg/kJ^{1/3}・m^{5/3}・s^{2/3}], H_f : 天井高さ[m], L_w : 壁周長[m], Q_f : 発熱速度[kW], t_{smoke} : 煙拡散時間[s], Z_s : 天井流厚さ[m], α : 火災成長率[kW/sⁿ], ρ_∞ : 煙層密度(=1.0) [kg/m³], n : 火源発熱速度のべき乗数[-]

参考文献

- 1) 戸川喜久二: 群集流の観測に基づく避難施設の研究, 建築研究所報告, p. 16, (1955)
- 2) 佐野友紀, 他: 避難安全検証における滞留解消時間に関する検討(その1)～(その5), 平成23年度日本火災学会研究発表概要集, pp. 140-149, (2011)
- 3) 日本建築センター: 新・建築防災計画指針, p. 332, (1995)
- 4) 山口純一, 他: 室形状を考慮した煙流動性状に関する検討, 平成23年度日本火災学会研究発表概要集, pp. 130-131, (2011)
- 5) BRI2002 二層ゾーン建物内煙流動モデルと予測計算プログラム, 社団法人建築研究振興協会