

同時多発火災における最適消火割当方法に関する研究

北海道大学 経済学部 経済学科 新淵 恵介

第1章 はじめに

自然災害である地震は未然に防ぐことはできない。我々ができることは、地震が発生した場合に、その被害を最小限に抑える努力をすることである。そこで、著者は、ある地域に複数の火災が同時期に発生した場合、消防隊にどのような方法を用いて火災を割当てれば効率的な消火ができるか検討する。その方法として、KK-MAS と JAVA を組み合わせた同時多発火災シミュレーションシステムを構築し、実験を行う。

第2章 最適消火割当問題

“消火割当”とは幾つかの火災を各消防隊にある順序で消火作業に向かうように割当てるという意味である。図 2-1 の例では、 f_1 の消防隊に火災 1、火災 2、火災 3、火災 5 という火災集合が、火災 3 火災 2 火災 5 火災 1 の順序で割当てられている。そして、“消火割当方法”とは消火割当を決定する手段・方法のことである。消火割当方法の違いによって各消防隊に振り分けられる火災集合と消火順序が変化するため、全火災を消火するまでの時間や被害が変化すると考えられる。

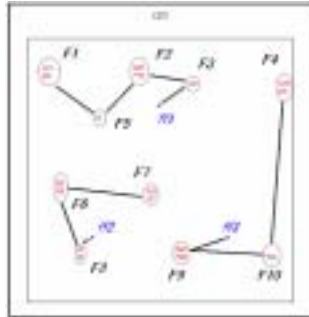


図 2 - 1 同時多発火災時の消火割当例

第3章 同時多発火災モデル

3.1 火災の拡大過程モデルと延焼過程モデル

火災の拡大・延焼過程モデルは、過去、様々な研究が行われ、多くの延焼過程モデルが考案されてきた¹。様々なモデルを比較し、和田・宮永・正木の延焼モデル²を参考にして本研究で使用するモデルを検討した。本研究のモデルでは、建物の構造別に戸内温度関数を作成し、構造によって火災の拡大に差異を設けた(図 3-1)。また、延焼は火災建物が発する輻射熱により起こる。参考にしたモデルでは、木造建物の戸内温度の最高温度(1100)を発生熱量 100 として発熱関数を作成した。本研究でも、裸木造建物の戸内温度の最高温度を発生熱量 100 として発熱関数を導きだした(図 3-2 参照)。

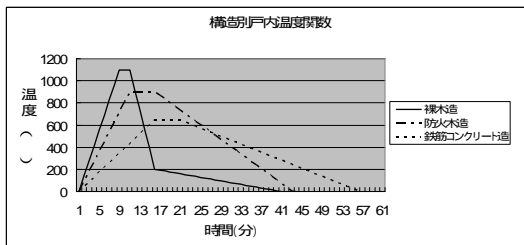


図 3 - 1 構造別戸内温度関数

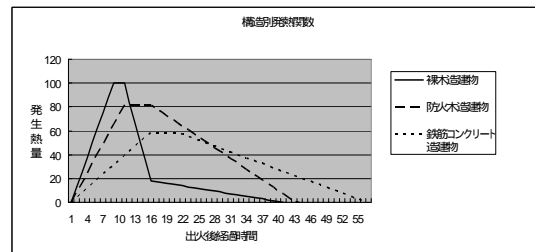


図 3 - 2 構造別発熱関数

¹ 日本火災学会、火災便覧 第3版、共立出版、1997

² ミクロモデルに基づく地震時火災延焼シミュレーションに関する研究

この構造別発熱関数にしたがって火元建物は、隣棟へ輻射熱を発生する。隣棟建物は、輻射熱を蓄積し、輻射受熱量（蓄積した輻射熱の総量）がある熱量に達したとき出火に至るとする。参考モデルでは、どの構造でも輻射受熱量が38となった時出火に至るように設計されており、本研究の延焼過程モデルでも同じように設計した。

また、輻射現象の特徴として発熱体と受熱体との距離が大きくなると、受熱体の輻射受熱量が距離の二乗に反比例して減少する。風下方向には風による延焼拡大を考慮し、20×風速(m/s)%多く輻射すると仮定する。図3-3に輻射熱距離減衰関数を示す。

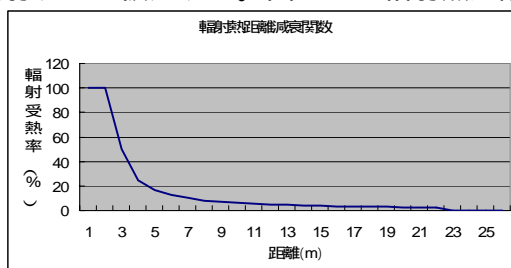


図 3 - 3 輻射熱距離減衰関数

3.2 消防隊エージェントの必要消火時間

消防隊が放水を行う平均消火時間は、既往の研究³による値、札幌市消防局の平成5年～9年のデータ⁴による値のどちらも約20分である。表3-1は、札幌市消防局の出動から火災現場に到着するまでの時間の5年分のデータで、平均現場到着時間を約7分であることが確認できる。平均現場到着時間が7分で、平均消火時間が20分であれば、約7分で火災現場に到着すれば約20分で消火可能と仮定することができる。火災発生後7分経過したときの戸内温度は、出火後7分の木造で966、防火木造で630、鉄筋コンクリート造で301である。平成10年の住宅・土地統計調査⁵から裸木造、防火木造、鉄筋コンクリート造の比率は約1:1:1であることから、全構造平均で出火後7分の戸内温度は平均630であるとする⁶。よって、戸内温度が630を超えた時点の消火時間を20分と仮定し、この条件を基にして導いた構造別消火時間関数を図3-4に示す。

表 3 - 1 平均現場到着時間

		平成5年	平成6年	平成7年	平成8年	平成9年	平均
出動～ 到着	最先着	4.9	4.7	4.4	4.5	4.9	4.68
	最後着	9	10	9	9	10	9.4
	平均	6.95	7.35	6.7	6.75	7.45	7.04

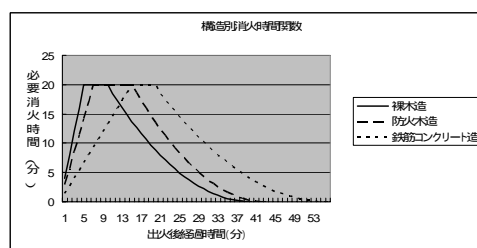


図 3 - 4 構造別消火関数

第4章 消火割当方法

各消防隊に割当てられる火災は、火元建物 f_j から延焼した火災グループ F_j が割当てられる。図2-1は、消防隊の初期配置と火災グループの配置例を表している。

4.1 最近火災優先消火割当方法

³ 独立行政法人消防研究所：消防支援システムの開発に関する研究報告書、pp131-198,2003

⁴ 札幌市教育委員会編：札幌文庫86 災害と消防、北海道新聞社、1998

⁵ 財務省統計局：平成10年住宅・土地統計調査 確報集計結果（全国編）統計表

⁶ $(966 \times 1 + 630 \times 1 + 301 \times 1) \div 3 = 630$

最近火災優先消火割当方法とは、消防隊は消防隊自身から一番近い火災を優先的に消火していく割当方法である。この割当方法は、一般的な火災（巨大地震時や緊急時ではない火災）の割当方法として現実に用いられている割当方法である⁷。

4.2 総距離最小化消火割当方法

総移動距離最小化消火割当方法とは、3つの消防隊が火災グループ F_j 間を移動する距離の総和を最小化する消火割当方法である。

4.3 延焼地域優先消火割当方法

延焼地域優先消火割当方法を使った場合の消火割当は、ある消火割当 $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ に対して、その消火割当の延焼抑止効果による総効用を $U_{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)}$ 、3つの消防隊の総移動距離を $D_{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)}$ としたときの評価関数 $f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = (1 - \alpha)D_{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)} - \alpha U_{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)}$ を最小化する消火割当 $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ に決まる。 $f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ を最小化すると、移動距離が短かつ延焼抑止効果の高い消火割当が求まる。 $(0 \leq \alpha \leq 1)$ は、評価関数の中で $U_{(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)}$ の割合を示しており、 α が1に近いほど延焼地域を優先する。そこで、3つの α の値(0.25, 0.50, 0.75)ごとにシミュレーション実験を行い、全焼棟数・延焼棟数を比較し α の値を $\alpha = 0.25$ に決定した。

4.4 トリアージ消火割当方法

トリアージ (triage) とは、大震災時など医療機能が制約される中で、一人でも多くの傷病者に対して最善の治療を行うため、傷病者の緊急度や重症度によって治療や後方搬送の優先順位を決めることをいう⁸。

トリアージ消火割当方法は、この災害時の救急医療現場に倣って火災に消火優先順位を設ける。最優先される火災 f_j は延焼能力をもつ火災で、延焼能力をもたない火災は後回しにされる。

トリアージ消火割当方法は、延焼被害を防ぐことを目的としているので、延焼地域優先消火割当方法と同じ消火割当が行われるとする。

第5章 消火割当方法別シミュレーション実験

本研究では、シミュレーション実験を行うために、KK-MAS と Java を組み合わせた同時多発火災シミュレーションシステムを開発した。それは、KK-MAS のファイル入出力機能に着目し、Java を各消火割当方法別の消火割当を求めるためのツールとして利用して、KK-MAS がそのデータを読み取ってシミュレーションを行うシステムである。わざわざ分業するのは、KK-MAS のファイル入出力機能を活用するためだけではなく、消火割当を求める計算が初期火災発生件数によっては、数億通りの計算を要するため、シミュレータである MAS よりも、Java で計算させた方が効率的であるからである。このシステムを用いて、計36回のシミュレーション実験を行った。

5.1 消火割当方法別シミュレーション結果

表 5 - 1 シミュレーション実験結果

⁷ 京都市消防局消防指令システム,
<http://www.city.kyoto.jp/html/shobo/newsys/contents.html>

⁸ 辺見 弘, “救急・災害現場のトリアージ”, 東京救急協会, 2001

初期火災発生件数	6						7						8					
実験番号	1回目		2回目		3回目		1回目		2回目		3回目		1回目		2回目		3回目	
全焼棟数 延焼棟数	全	延	全	延	全	延	全	延	全	延	全	延	全	延	全	延	全	延
最近火災優先	18	39	36	64	29	72	19	46	37	76	38	66	24	99	21	52	39	83
総距離最小化	17	31	36	67	25	65	20	46	25	54	32	64	34	98	21	53	40	70
延焼地域優先	10	30	22	59	25	66	17	49	27	61	29	64	34	79	23	56	38	82
トリアージ	11	29	30	57	21	43	17	43	25	54	37	57	31	70	27	43	45	66

(“全”は全焼棟数を表し、“延”は延焼棟数を表す。)

延焼棟数の最小化は、都市で発生した火災による延焼建物総数が最小であることを意味する。シミュレーション結果から、すべての実験で最小値をとるトリアージ消火割当方法は、火災の延焼被害を最小限に食い止めることができ、同時多発火災時に有効な消火割当方法であると考えられる。

5.2 同時多発火災における最適消火割当方法

巨大地震などにより引き起こされる同時多発火災時には、都市全体で発生している被害をいかに最小限にするかが最優先事項である。なぜなら、被害を受けているのは、個々の火災建物と言うより、それを含む都市全体だからである。

その結果、同時多発火災時に都市全体の被害を最小化することのできる最適消火割当方法は、延焼棟数を最も多く最小化できたトリアージ消火割当方法であることがわかった。

第6章 結論

本研究では4つの消火割当方法ごとにシミュレーションを行い、同時多発火災時の最適消火割当方法は、トリアージ消火割当方法であることが確認できた。同時多発火災時の消火活動にもトリアージの概念を導入し、出来る限り多くの延焼被害を受けない建物を確保するべきであると考えられる。ただし、トリアージは倫理的問題を抜きにして考えることはできず、医療現場では詳細な規定のもと患者に優先順位をつけている。トリアージ消火割当方法を実現するには、厳格な建物優先順位付けの規定の作成が待たれる。今後研究していきたいテーマである。

本研究では、風向・風速が決まった状態でシミュレーションを行ったが、今後、それらを自由に変更可能にし、実際の地図データからシミュレーションを行いたい。

参考文献

- [1] 山影 進, 服部 正太, “コンピュータのなかの人工社会 - マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系 -”, 共立出版, 2002
- [2] 札幌市教育委員会, “さっぽろ文庫 86 災害と消防”, 北海道新聞社, 1998
- [3] 柳浦 睦憲, 茨木 俊秀, “組合せ最適化 - メタ戦略を中心として -”, 朝倉書店, 2002
- [4] 日本火災学会, “火災と建築”, 共立出版, 2002
- [5] 日本建築学会, “建築物の火災安全設計指針”, 日本建築学会, 2002
- [6] 和田 麻理子, 宮永 良一, 正木 和明, “マイクロモデルに基づく地震時火災延焼シミュレーションに関する研究”, 愛知工業大学研究報告第36号B, 2001
- [7] 郷内 吉瑞, “CAによる延焼モデルの改良と消防力を考慮したシミュレーションシステム 防災まちづくり支援ツールとして”, 大貝彰都市地域計画研究室, 2004
- [8] 中田 金市, “火災”, 共立出版, 1969
- [9] 浜田 稔, “火災の延焼速度について”, 火災の研究, 第1巻, 相模書房, 昭和26年