

2

齊藤 庸平 兵庫県立大学 名誉教授

Yohei SAITO (Emeritus professor of University of Hyogo)

はじめに

関東大震災から百年の節目を迎えたが、全国で震度5～6の地震が多発している。南海トラフの大地震、首都圏直下地震も現実味を帯び緊張感を持って備えることが問われている。それは防災公園も同様である。

本稿では、過去の大震災で二次災害として最も被害が深刻な都市火災に絞り、関東大震災及び阪神・淡路大震災からどのような知見や技術を得て今日の防災公園に反映したか振り返ってみたい。

まず、一般的な火災拡大パターンについて整理しておく。発火源から直近の家具などの着火物に広がり、その後室内火災、建物単体火災、隣棟建物火災、そして街区全体の市街地火災へと拡大していく。さらに街路を超え市街地火災が合流することで都市大火へ至る。関東大震災はこの最悪の都市大火まで、阪神・淡路大震災は市街地火災まで至った。

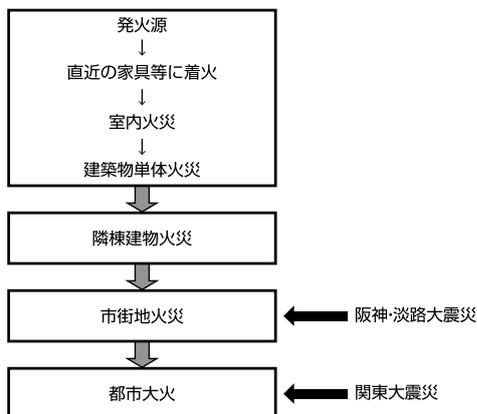


図1 火災拡大パターン模式図

1. 関東大震災の教訓

(1) 命を守る広域避難地

関東大震災の火災による焼失面積は3,795haで、

阪神・淡路大震災62haや安政江戸地震201haに比べると極端に大きく壊滅的被害をもたらしたことが分かる¹⁾。

なぜこのような事態が起こったのか。一つは、発生が昼時と火気の使用頻度が高い時間で火災が多発したことが指摘できる。もう一つは震災前日から当日にかけて台風が震災地北方を通過したため、地震当日から翌日にかけて風速12.3m/s～最大22m/sの強風となった²⁾。それらのため拡大したと考えられている。

都市大火では、地震発生当初、小公園、校庭、駅前広場等へ避難していた住民たちが都市大火の輻射熱から身を守るため、より大きな避難場所（以下広域避難地と記す）を求めて逃げ回ることを強いられた。その過程で逃げ後れたり追い詰められた避難者が多数焼死した³⁾。逃げ回る避難者の受け皿となる広域避難地の必要性が強く認識されたのである。

震災予防調査会を始め様々な震災の避難状況調査から広域避難地は、一応10ha以上なら安全、以下は危険という基準が明らかになった。この基準は経験則であったが、1960年代後半に人体の許容輻射熱2,050 kcal/m²h以下を判断基準に、浜田を中心に実施した東京における大震災時の避難場所の安全評価の研究により、安全な避難地の面積10haの妥当性が理論的に裏付けられ⁴⁾、それ以降広域避難地は、10ha以上を最低規模とし、標準で25ha、理想として50haという基準が確立した。それ以降、現在も踏襲されている。

その後、実現化に向けて都市防災構造化事業化計画等により広域避難地計画が推進されていった。しかし木造密集地近傍（2km以内）に10haの用地を確保することは困難であった10ha未満や変形土地等でも安全性能を確認できる精緻した評価法開発が課題として残された。

(2) 市街地火災を局限化する都市防火区画

第二の教訓として、市街地火災が街路を超え都市大火に至らないように火災を局限化する延焼遮断帯網(都市防火区画)を備えることの必要性が認識された。

それを受け昭和52年～57年に建設省総合技術開発プロジェクト「都市防火対策手法の開発」(以下都市防火総プロと記す)が実施された。同プロジェクトの目的は市街地火災を局限化する都市防火区画実現の技術大系を開発するものがあった。この延焼遮断判定法は、浜田、藤田等の先行研究を基に火災実験、シミュレーション等の検討を加え精緻化を図り、それまでの研究を集大成したものである。さらに1995年に発生した阪神淡路大震災の火災現象も適切に算定されることも判明し⁵⁾、21世紀の現在でも各地の被害想定調査や火災研究に用いられる評価法の基礎となっている。

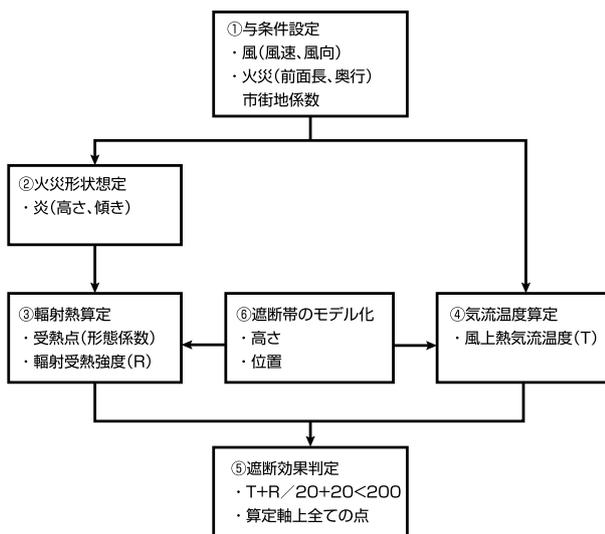


図2 延焼遮断判定法の概要
(都市防火総プロ概要報告書の図を基に作成)

上図のとおりであるとおり、

- ①風速風向、同時延焼領域、市街地係数を設定
 - ②炎の高さと傾きを想定
 - ③では同時炎上奥行、市街地係数、風向風速から輻射熱を算定
 - ④風下での気流温度を算定
 - ⑤最後に輻射熱による温度上昇と熱気流温度を合算して木材の着火危険温度200℃になるか否かを判定
 - ⑥遮断帯を設置する場合、空地による延焼遮断帯なら空地幅、立体構造物なら壁と見なし、高さ、幅と位置を設定
- というものである⁶⁾。

なお、同判定法は、広域避難地の外周に遮断帯を設置する際にも安全基準を人体とすれば遮断帯の高さ、奥行等の定量的評価に応用可能となる優れたものである。

(3) 延焼遮断帯としての樹林帯

第三の教訓として、樹木や樹林が防火に役立つことが改めて確認された。しかし延焼遮断帯としての活用に際して、第一は耐火力に限度があること、第二に形が不特定で枝葉の細かい隙間や枝下に隙間が存在することの性能評価が課題であった。この課題について中村の研究⁷⁾、岩河の研究⁸⁾を中心に多くの実験研究が取りまとめ樹木樹林の耐火力や遮蔽力が科学的に解明された。それ以降、樹林を延焼遮断帯に活用する上で耐火力や遮蔽力を定量的に予測できるようになった。

しかし密集市街地全体を街路でグリット化することは極めて困難な課題として残った。

1) 樹木の耐火力

樹木の耐火力について岩河は、実大の樹木燃焼実験を実施し、表1にあるとおり木造建物の3倍、人の6倍となることを明らかにした。このことで延焼遮断帯としての活用が大きく前進した。なお、樹冠が火災側の炎に直接包まれてしまうと、炎に包まれた部位はほぼ延焼することが実大実験で確認されており、接炎伝達を避ける位置に設置する必要があることを付け加えておく。

表1 樹木耐火力(岩河 1980)

種別	(kcal/ m ²)		
	常緑広葉樹	落葉広葉樹	針葉樹
発火限界輻射熱	13,400	13,900	12,000
木造建物 人	約4,000 2,050(耐火限界)		

樹木は組成的には可燃物であるが、体内の水分に強い耐火力を有している。水分は潜熱により温度上昇を防ぎ(燃焼のエネルギー条件の阻害)、放出された水蒸気は空気と可燃ガスの化学反応も妨害する(燃焼の組成条件の阻害)ことが知られている。「樹葉の含水率が高いと、樹葉は引火することもなく、樹葉は高い水蒸気放出能力を有し防火機能を発揮する。」で、その限界値は概ね20%とされている⁹⁾。この含水率20%については、筆者らが実施した落葉の燃焼実験¹⁰⁾で同

様であることを確認している。つまり初期含水率から20%になるまでが樹木の耐火力となる。ただし、植物の初期含水率は、樹種で異なると共に、同一樹種でも個体、樹齢、部位、季節、時間、環境変化、生育状態で変動するので扱いが難しい。一般的には、高い含水率、高い水分保持能力、季節変動が小さい樹種が高い耐火性をもつものといえるが、筆者が長年関わった調査や実験の経験からいうなら当該地域の生育環境に適する在来種等を選び、適切に管理することが重要と指摘しておきたい。

さらに樹木体内の水分がなくなった後、一気に燃え上がってしまえば延焼遮断帯として活用することはできない。岩河は様々な実大樹木の燃焼実験を重ね、着火しても樹木全体が燃え上がることはなく、部分的な枝葉の燃焼で立ち消える現象を突き止めている¹¹⁾。つまり一気に樹木全体が燃え上がることはほとんどないのである。ただし針葉樹等一部の樹種は、一気に燃える可能性が指摘されている。この要因については、樹木の体内に揮発性有機物質(含油成分)や枝葉の形状等による可能性が指摘されている。しかし証明する科学的根拠は希薄であり、今後の研究に期待したい。

2) 樹木、樹林の遮蔽率

樹木や樹林の遮蔽率は、通過する輻射熱を遮る割合で表せる。しかし樹冠や樹形は同一種でも個体によってさまざまである。これらの高さ、葉張、枝下、樹冠形、樹冠の空隙率を測定し、個々の樹木が空間を遮る割合を算定し、それらを総合して樹林帯の空隙率を算定することは、膨大な労力と時間を要することとなり、事実上は不可能に近い。

そこで岩河らは樹木形状実測調査や実大樹木による輻射熱遮断効果測定実験等を繰り返し実施し、類型化手法を取り入れた樹林の防火効果算定法を開発した。要点は樹林の遮蔽率の算定で、樹林密度、樹種別比率、樹木1本の遮蔽率、配列数、配列状況を求める。樹木1本の遮蔽率は、樹冠の形状に起因する隙間率を樹冠比(4類型)、枝下に起因する隙間率を枝下比(3類型)、枝張りに起因する空隙率(3類型)の組合わせで求める。配列状況は配植状況の違いを考慮した係数で本算定法では正列と交互列の2分類で与えられる。この算定法を組み込めば耐火建築物等の遮蔽帯と同じように延焼遮断効果算定法で性能評価ができるようになった¹²⁾。

2. 阪神・淡路大震災の教訓

(1) 都市防火区画の有効性を確認

阪神・淡路大震災でも神戸市西部地域を中心に地震に伴う同時多発発生火災が発生した。それらの一部は市街地火災として拡大し約66haを焼失した。しかし、街区内の市街地火災で収まり、都市大火に拡大することはなかった。焼け止まり要因を整理すると道路・鉄道等で焼け止まったのが4割、耐火建築物によるものが3割、空地等が2割でほとんどを占めていた。つまり都市防火区画で延焼遮断帯と想定していた広幅員道路、鉄道線路を軸に、沿道の公園、耐火建築物群等が焼け止まりに寄与したと考えられる。つまり、都市防火区画の有効性が実証されたといえるのである^{13) 14)}。たしかに阪神・淡路大震災は平均2.6m/s、最大6.8m/sという弱風であったが、それだけで市街地火災が収まったとはいえない。やはりこのグリットパターンの街並みに効果があったと考えるのが妥当と思う。ではこの神戸市西部地域のグリットパターンは、いかに形成されたか調べてみると起源は古代の条里制にまで遡る。条里制のパターンの特徴は、109m×109mの区画を「坪」とし、6坪四方集まった区画を「里」とした。坪の街区には町名がつけられ、コミュニティの基礎単位となっていたようである。この条里パターンは大正時代に実施した耕地整理でも坪を基準に1町(109m)間隔に幅5間(9m)の道路が配置され、戦後の戦災復興事業も概ねグリットパターンをベースに進められてきたので、現在の市街地形成の基本として残されていたのである。言い換えると先人たちが伝えてくれた条里パターンが市街地火災拡大を阻止したのである。

(2) 燃え広がらない街区づくり

しかし都市大火は防げたものの街区内の市街地火災被害だけでも甚大であることを思い知らされたのである。復興での震災火災対策は、街区(坪)内を燃えにくい街づくりを重点に展開していくことになる。神戸市長田の震災復興土地区画整理事業では、「新条里制土地区画」と称し約100m四方の街区をコミュニティ単位として街区内の建築物の耐火化、小規模公園の配置、住民による初期消火や瓦礫の処理など直後の地域住民活動の強化、小規模公園の整備等のハードソフト両面から対策が進められることになった¹⁵⁾。

都市防火総プロでは、街区の燃えにくさを示す指標「不燃領域率」を開発している。街区の空地率と耐火率で構成される比較的簡単な評価式で、都市火災に関する簡便に危険度を評価することができるので東京都や大阪府でも用いられている。不燃領域率50%近傍から急激に下がり70%を超えるとほとんど焼失しなくなることが明らかにされている。

不燃領域率=空地率+(1-空地率/100)×耐火率

つまり燃えにくい街づくりとは不燃領域率70%を目指すことである。なお不燃領域率の詳細は「建設省総合技術開発プロジェクト都市防火対策手法の開発報告書」を参照されたい。

最後に

防災公園の知見や技術を語る上で、昭和52年～57年に実施された建設省総合技術開発プロジェクト「都市防火対策手法の開発」の功績はきわめて大きいと感じた。市街地火災実験を含む多くの火災実験やシミュレーションで蓄積された膨大なデータを基に開発された算定式は高く評価されている。広域避難地としての防災公園の初成果である東白鬚公園や茅ヶ崎中央公園等の実現に大きく寄与したと考える。古くより期待されてきた樹木や樹林の定量的評価が可能となったのも同プロジェクトの大きな成果である。

現在、都市防火対策は燃え広がらない街区づくりの段階へ移行しているが、その方策として小公園や街角広場など小規模公園緑地を有効に活用することが考えられる。重野らは、東京の都心密集地域に小規模駐車場が多数存在していることから、それらの可能性について試算している。その結果、小規模駐車場を燃えないオープンスペースとして活かすと不燃領域率を約60～70%に出来ることを明らかにしている¹⁶⁾。小規模駐車場に加え増大が懸念される空き地、空き家等を延焼遅延効果を持つ小緑地(現代版「植溜」?)に改善できるなら燃え広がらない街区的実現が期待できる。また、地域住民の地震時における消火活動能力の評価、遮断帯の回り込みや小規模空地の延焼遅延効果の解明、燃え広がりを低下させる街区内の適切な家屋配置のあり方等については解明には至っていないのでこれらの解明とハード、ソフトを組み合わせた性能評価法を開発する新たな総合技術開発プロジェクトの実現も

願うものである。

なお総プロ評価法の詳細は『都市防火総プロ報告書』を、解説なら学芸出版社発行『都市防災学』を、計画設計への応用については『改訂都市防災実務ハンドブック』を参照されたい。

参考・引用文献

- 1) 塚越功他(2007)『都市防災学』学芸出版社
- 2) 北本朝展(国立情報学研究所)、デジタル台風/過去の天気図 <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/contribution/weather-chart/005.html>
- 3) 中村清二(1925)大震災代ニヨル東京火災調査報告、震災豫防調査會報告第百號(戊)
- 4) 『改訂都市防災実務ハンドブック』(2005)巻末資料 都市防災施設等の計画指針に関する根拠等
- 5) 関藤幹人、越山健治、北後明彦、室崎益輝(1999)阪神・淡路大震災の市街地火災における火災形状と延焼遮断効果に関する研究、第34回日本都市計画学会学術研究論文集、673-678
- 6) 『建設省総合技術開発プロジェクト都市防火対策手法の開発概要報告書』(1982)第3章第1節1 延焼遮断効果算定法の全体構成
- 7) 中村貞一(1961)植栽の火災延焼阻止力の研究、島根農科大学造林研究室特別報告2号
- 8) 岩河信文(1984)都市における樹木の防火機能に関する研究、建築研究報告NO105、建設省建築研究所。
- 9) 山下邦博(1991)樹木の燃焼性をみる(第2章)、森林の防火機能、財団法人日本治山治水協会発行
- 10) 斉藤庸平、岩河信文、中村克巳(2003)里山と防火、ランドスケープ研究66.3
- 11) 前出8)と同じ
- 12) 岩河信文、斉藤庸平(1983)樹林の防火効果に関する算定法(その1、その2)公園緑地44.3、公園緑地44.4
- 13) 国土交通省資料、都市防災対策の概要 <https://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/tobou/ka4sanko.pdf>
- 14) 塚越功他(2007)『都市防災学』、学芸出版社
- 15) 久保光弘(1996)新長田北地区土地区画整理事業・まちづくり報告、きんもくせい33号～37号
- 16) 重野国彦、田代順孝、斉藤庸平、木下剛(1998)都心地域における小規模オープンスペースの現況とその防火機能について、第12回環境情報科学論文集