

■特集／FEATURE■

—大規模屋外火災現象解明における燃焼研究の役割／Applying Combustion Knowledge to Large Outdoor Fire Problem—

燃焼研究をどのように大規模火災解明に役立てているのか

How to Apply Combustion Knowledge to Large Outdoor Fires

鈴木 佐夜香*

SUZUKI, Sayaka*

消防研究センター 〒182-0012 東京都調布市深大寺東町 4-35-3

National Research Institute of Fire and Disaster 4-35-3 Jindaiji-Higashimachi, Chofu, Tokyo, 182-0012, Japan

Abstract: Large outdoor fires have been a significant problem all over the world for some time. This 'FEATURE' introduces the role of combustion research in large outdoor fire problems. Although the fires themselves are large, the fundamental of fire spread remain the same as smaller fires; flame contact, radiation and firebrands. The attempts to understand large outdoor fires are introduced from four aspects; the firebrands, fire whirl, flame spread, and wildfire modeling from the combustion prospective.

Key Words: Firebrand, Fire whirl, Flame Spread, Modeling

1. 緒言

2016 年 12 月の新潟県糸魚川市の大規模火災では 147 棟が被害を受け、およそ 40,000 m² が類焼し、鎮火までに 30 時間かかった[1]。糸魚川市大規模火災はこれまでもう起こらないと考えられていた平常時の「大火」が起ころうという点において非常に衝撃的であった。強風下での、木造家屋(特に古い家屋)が密に建てられた地域における火事の危険性に関して改めて実感することとなった火災である。

その一方で世界各地では林野火災の被害がひどくなってきている。2007 年のギリシャでの火災は数か月にわたり、ポルトガルでは 2017 年だけではなく 2018 年にも大規模な林野火災に見舞われている。オーストラリアでは 2009 年の Black Saturday のみならず毎年林野火災の被害が見られる。特にニュースで聞くのはアメリカのカリフォルニア州での大規模な林野火災であろう。2018 年の火災では林野火災からの煙の影響による空気汚染のためにサンフランシスコ市民がマスクを着けて外出する姿もニュースで見られた。年々このような大規模火災の被害が大きくなってきている。

大規模屋外火災 (Large Outdoor Fires) には、林野火災、Wildland-Urban Interface (WUI) 火災、及び都市火災が含まれる。言葉というのは興味深いもので、英語でも日本語で

も大規模屋外火災 (Large Outdoor Fires) に該当する火災には様々な表現があり、林野火災は森林火災、原野火災、山火事とも呼ばれる。都市火災、もしくは市街地火災の中には地震火災(もしくは地震後火災)も含まれる。1976 年の酒田大火のように「大火」と表現することもあり、広域火災と呼ばれることもある。英語でも林野火災に該当する表現は多々あり、wildfires, wildland fires, bush fires, veil fires などが例として挙げられる。WUI fires とは林野火災が都市へまで影響を及ぼすような火災のことを言い、日本語にするのは非常に難しい。WUI と呼ばれる地域には実際定義がされており、林野と都市の境界、林野の中にコミュニティがあるような地域も含まれる[2]。この概念からすれば、英語のニュースで wildfires もしくは wildland fires と呼ばれている火災は WUI fires である。

このような火災は様々な要素が影響を及ぼしあって広がっていく。林野であれば植生、地形、天候、市街地であれば家屋の配置、家屋の材料、天候、消火活動が考えられる。そのため本研究分野に関わる研究者は非常に多岐に渡っており、植物学者、統計学者、経済学者、火災研究者、燃焼研究者等が関わっている。その中でも我々燃焼研究者の関心はどのように着火するのか、火災の拡大をどのように防ぐのか、であり、ひいてはどのように火災が広がっていくのかを研究していることが多い。火災の拡がり、という点だけ見れば大きさの違いこそあれ原理は同じであるという信念のもとで大規模屋外火災に対する理解を深め、問題の

* Corresponding author. E-mail: sayakas@fri.go.jp

解決に役立てていこうとしているところである。本特集では火の粉、火災旋風、火災伝播、モデリングの 4 つの視点からどのように燃焼の知識を活かしてこの問題に取り組んでいるのかを紹介する。

2. 特集記事の紹介

2.1. 'On the Importance of Firebrand Process in Large Outdoor Fires' by Dr. Manzello

「大規模屋外火災における火の粉の役割と重要性」に関して火の粉の発生、飛散、着火に分けて紹介されている。大規模屋外火災は、火の粉(燃えさし)が飛散し、着火することによって急激に拡大することが知られている。火の粉の素となるのは林野火災においては樹木、WUI 火災においては樹木及び家屋、都市火災においては家屋である。文中でも述べられているが、火の粉がどのように発生するのかを検討するために行われた実験というのは意外と少ない。実験室での樹木燃焼実験では幹ではなく枝が火の粉の素となりうること、また、熱分解とそれに続く燃焼によって枝のせん断応力が弱まり、自重と燃焼による上昇気流によって枝が折れ、火の粉となる様子が確認されている。実験によって確認された現象は樹木にフラクタル幾何学を応用し、モデル化もされている。その一方で家屋からの火の粉の発生メカニズムというのはいまだよくわかっていない。火の粉の飛散に関してはこれまで多くの研究がなされている。しかしながら火の粉は燃焼しながら飛散するため、飛散中に抵抗力や大きさ、質量、形状、密度が変化するというチャレンジが待ち受けている。そのため、実験と理論計算の両方から理解が進められている。近年では火の粉の燃焼モデルとして液滴燃焼と同様の理論も用いられている。火の粉による着火に関しては実験室では主に単体の火の粉を対象とした実験が行われている。飛散した火の粉の燃焼状態は燐煙燃焼であることが多く、燐煙燃焼状態の火の粉が着床した先の Fuel bed を着火できるのか、燐煙燃焼状態の火の粉が着床先の Fuel bed を着火できるほどの熱量を保持しているのか、が焦点となる。簡単なエネルギー保存式が図と共に紹介されており、イメージがわかりやすいのではないと思う。最後に、ニュース等も聞かれるように、実際の火災では火の粉は「雨のように」降っていることが多い。その現象を再現し、火の粉による着火を検討している様子も紹介されている。火の粉発生装置(NIST Dragon)を用いて火災実験が可能な風洞にて有風下で実験が行われている。

2.2. '火災旋風：火炎高さ増大気候と大規模火災での発生条件' by 桑名一徳先生

火災旋風は特に都市火災において被害を拡大することが知られており、特に関東大震災時の火災旋風は有名である。燃焼研究における火災分野では火災旋風の研究がよく行われているが、本記事では特に火災旋風の火炎高さ増大メカ

ニズム(火炎高さが高くなることにより被害が増える)と、横風により火災旋風が発生する条件(発生条件を知ることによって被害を防ぐ)に焦点を当てている。火災旋風の研究手法には 2 種類あり、火災旋風発生装置を用いて旋回流と拡散火炎の関係を理解する基礎研究と、風洞などを用いて発生条件などを理解しようとする応用研究の両方に関して説明されている。火災旋風を理解するためのアプローチの違いに加え、違いから最終的に導き出される共通点など非常に分かりやすくまとめられている。最後に火災旋風実験とスケール則に関しても議論されているが、実際の現象の大きさと現象解明のための燃焼実験の関連というのは本特集における焦点でもある。火災旋風実験に関しては実験室での実験に加え、火災風洞を用いた中規模な実験、野外での大規模な実験などが行われている。大規模屋外火災研究において火災旋風研究はスケール則の検討が多くなされている分野であり、横風中に発生する火災旋風を例として大きさの違いによる発生条件の違いなども説明されている。

2.3. 'On Flame Spread' by Prof. Fernandez-Pello, and Dr. McAllister

「火災伝播」とは、という視点から林野火災における火災伝播の研究がされているかに関して紹介されている。大規模屋外火災における火災伝播を実規模で検討することは現実的でないことから多くはスケールダウンしたベンチスケール実験においてどのようなパラメータが影響を及ぼしているのか、その火災伝播メカニズムに関して検討することが多い。林野火災における火災伝播対象は固体ではあるものの多岐に渡り、木材のようなものから落ち葉のような細かい燃料であることもある。そのため問題解決のためには様々な仮定を行う必要がある。例えば thermally-thick (木材)、thermally-thin (落ち葉)の両方の条件が考えられることから仮定をする際にも注意深く行わなくてはならないことが示されている。林野火災においては通常は火災伝播物質を多孔質燃料として計算することが多い。しかしながら、実際の現象の規模が大きく、また多孔質燃料を仮定してもその種類が多い(落ち葉でも広葉樹からの落ち葉と針葉樹からの落ち葉では火災伝播速度が異なってしまうため)ことから実際に計算するには今後も多くの課題がある。そのため実験データと比較検討を行いながら火災伝播速度を計算していることも多い。しかしながら近年では燃焼の基礎に立ち返り林野火災における着火と火災伝播における熱移動に着目した研究もおこなわれている。

火災伝播の基礎に関して改めて本記事で紹介する必要はないと思うが、英語ではあるものの火災伝播の基礎に関して非常に分かりやすく説明されているので是非読んでいただきたい。結局のところ、微小重力下での火災伝播の研究も、林野火災における火災伝播の研究も元々の理論は同じであることが示されている。

2.4. 'Wildfire Modeling: short overview, challenge and prospective' by Prof. Morvan

「林野火災における火災拡大のシミュレーション」に関してその歴史と共に紹介している。林野火災の火災拡大シミュレーションはその現象の複雑さから元々は経験則に基づいて行われていたものが多く、火災拡大に関して物理的なメカニズムを考慮するようになったのは 1990 年代になってからである。林野火災拡大シミュレーションをする際には、大気の流れから、植生、地形、火災先端と燃料との熱移動、燃料となる樹木や落ち葉の乾燥の程度等まで考慮する必要がある、全ての物理法則を考慮しようとするとは非常に複雑になってしまうことがお分かりいただけると思う。そのため長い間実験データをもとにした経験的なシミュレーションが活用されてきた。しかしながら、実験データを元にしたシミュレーションだけで全てをカバーすることは難しく、活用できる範囲は比較的単純な条件の下のみであった。シミュレーション手法としては現在 2 つのアプローチがとられており、I) 火災シミュレーションを単純にし、大気の流れをより正確にシミュレーションするもの、II) 2 次元, 3 次元でより正確に物理的に林野火災拡大シミュレーションを行うもの、が考えられている。林野火災拡大シミュレーションは近年特に研究が盛んな分野ではあるが、シミュレーションの使い手が研究者ばかりではなく、消防関係者であることも考慮する必要がある。実際にアメリカでは林野火災の消防活動にシミュレーションを用いることがあり、彼らにとっては正確であるだけでなく使いやすく、素早く結果が出ることも求められている。近年コンピュータ技術の進歩に伴い複雑なシミュレーションが簡単にできるようになったため II) のアプローチをとるシ

ミュレーションも多くなっている。時間はかかるもののより多くのパラメータをカバーすることができ、火災と燃料(落ち葉等)との関係に関してより詳細に理解することを可能にしている。各ソフトウェアに関して計算できるスケールの違いを票にてわかりやすく示しているので是非参考にさせていただきたい。

3. 結言

大規模屋外火災における燃焼研究の役割として 4 組 5 名の方に執筆していただいた。実験室規模の燃焼実験から屋外での大規模な実験まで、規模の大きい火災であるために考慮するパラメータの多い中で燃焼の要素が折々に見られることが分かっていたいただければ幸いである。

謝辞

限られた時間で素晴らしい記事を執筆いただきました Dr. Manzello, 桑名一徳先生, Prof. Fernandez-Pello と Dr. McAllister, そして Prof. Morvan に感謝いたします。

References

1. 消防研究センター, 平成 28 (2016) 年糸魚川市大規模火災調査報告書, 消防研究技術資料第 84 号, 2018.6.
2. Mell, W.E., Manzello, S.L., Maranghides, A., Butry, D. and Rehm, R.G., *International Journal of Wildland Fire* 19(2) 238-251 (2010).