

機関番号：33603

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21810032

研究課題名（和文） 傾斜地における火炎・熱気流性状の計測とモデリング

研究課題名（英文） Measurement and Modeling of the Properties of Flame and Hot Current on the Sloped Level

研究代表者

今村 友彦 (IMAMURA TOMOHIKO)

諏訪東京理科大学 システム工学部 助教

研究者番号：50450664

研究成果の概要（和文）：林野火災など、傾斜地で発生した火災による火炎の形状は、水平面におけるそれとは異なり、火炎が斜面へ倒れ込み、延焼拡大を助長する要因となる。そのため、傾斜地における火炎形状を把握・予測することは、防火対策上非常に重要であるが、現在までに詳細な研究はなされていない。本研究では、傾斜地における火炎性状を体系的に解明することを目的とし、その第 1 段階として、火炎形状に及ぼす傾斜角度の影響を実験的に検討した。その結果、(1) 傾斜面における火炎は、周囲空気の巻き込みが不均一であることから、負圧になりやすい斜面上方向へ吸いつき、斜面上を這うこと、(2) 斜面における火炎は、全体としての長さは発熱速度のみに依存して決まり、傾斜角度によって決まる長さ分だけ斜面上を這い、その後、発熱速度と傾斜角度のつりあいに応じた長さだけ立ち上がる。発熱速度に対する依存性は、水平面上で発生した火炎同様 $Q^{*2/5}$ に比例すること、が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The shape of flame generated on the sloped level such as forest fire is different from that generated on the horizontal flat level, and that leads to the spread of fire. In order to study and clarify the flame shape generated on the sloped level is very important for field fire protection, but the useful and applicable research reports hardly. The purpose of this study is to clarify the flame shape generated on the sloped level to obtain, experimentally to know the influence of the slope angle on the flame shape as the first step. Based on this study, following new knowledge is clarified: (1) The flame generated on the sloped level inclined to the sloped surface and run along the sloped surface because the less entrainment of the air to the flame carried out behind flame side, (2) The total flame length on the sloped level is depended on only the heat release rate. The length which is run along the inclined surface is depended on the sloped angle, then the flame rose a certain length which depends on the balance of the heat release rate and the sloped angle. The total flame length is in proportional to $Q^{*2/5}$, and this behavior is the same as the dependence of the flame length on the heat release rate on the horizontal surface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010 年度	980,000	294,000	1,274,000
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム工学

キーワード：火災，防災，熱気流，傾斜地，モデル化

1. 研究開始当初の背景

2009年時点で、大規模な林野火災による被害が相次いで報告されていた。2009年2月にオーストラリア南部のヴィクトリア州で発生した林野火災は、死者200名以上、焼損面積40万ヘクタールにも及ぶという同国史上最悪の火災となった。日本においても、例えば2009年3月に大分県由布岳で、野焼きが燃え広がり4名が死亡し2名が重軽傷を負う事故が発生していた。

2. 研究の目的

林野火災被害低減のためには、気象条件や地形条件、焼損範囲等を入力条件とした火災拡大範囲の予測とこれに基づいた効果的な消防戦術及び避難指示の策定・実行が重要であり、これを支援するシステムの開発が望まれる。そこで本研究では、傾斜地における火災および熱気流の挙動を表すデータの蓄積と、これを記述できる物理モデルの構築を目的とし、特に傾斜角度が火災形状に及ぼす影響に注目した。

3. 研究の方法

図1に示すように、ウインチで $0^\circ \sim 80^\circ$ まで任意に傾斜角度を設定できる、鉄製の架台(1280mm [W]×1880mm [L])を作成し、これにセラミックボード(600mm [W]×900mm [L]×12.5mm [t])を敷き詰めて地面の模型とした。火災形状に及ぼす傾斜角度の影響のみに注目するため、火源には定常的に火災を発生させることのできるLPGバーナーを使用した。LPGバーナーは鉄製で、大小の砂が敷き詰められており、小さな噴出速度(約2cm/s)でバーナー表面全体から均一に燃料ガスが噴出されるようにした。林野火災を想定する場合、火源には線火源が用いられることが多いが、線火源を用いる場合、無限線熱源として取り扱う場合と、有限の線熱源として取り扱う場合とで、火災形状が大きく異なる。ここではまず基礎的な知見を得るために、火源の大きさは100mm×100mmの正方形とした。

本実験では、架台を水平(傾斜角度 0°)から 40° まで 10° ずつ変化させて火災を発生させ、火災形状をデジタルビデオカメラ

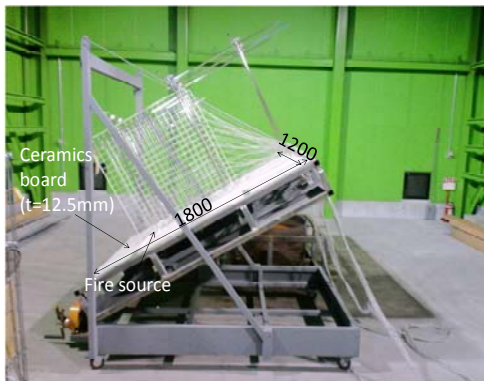


図1 傾斜架台(単位:mm)

(SANYO Xacti)で撮影した。燃料はLPGを用い、流量計によって所定の流量をバーナーへ供給した。燃料が完全燃焼したと仮定して算出した発熱速度は、2.25, 3.00, 3.75, 4.50kWの4段階である。準定常状態の火災を対象とするために、着火後3分経過してから3分間火災を撮影し、連続した3秒間(90コマ)の画像から火災形状を示す各パラメータを読み取った。パラメータの定義は次節で述べる。1つの発熱速度・傾斜角度の組み合わせについて、日を変えて2回計測し、その平均値を代表値として以下の解析で使用した。

4. 研究成果

4.1 火災形状の定義

本実験で検討した火災形状を表す各パラメータの定義図を図2に示す。傾斜面からの火災の高さを表す H_f 、傾斜に伴って火災が斜面を這う長さ(付着距離)を L_a とし、火災が斜面上から離れる地点(図2中の点A)と火災先端(図2中の点B)とを結んだ長さを L_f とした。また、 θ_1 は傾斜面の傾斜角度、 θ_2 は図2中の点Aと点Bを結んだ直線が水平線となす角度、 θ_3 は斜面からの火災の立ち上がり角度であり、3つの角度の間には $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ の関係が成り立っている。

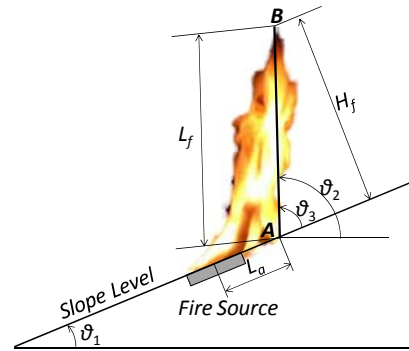


図2 火災形状パラメータの定義

図3は、読み取った火災形状パラメータと経過時間の関係を示す一例として、 H_f 及び L_a の経時変化を表したものである。いずれも周期的な変動が確認できるが、時間平均的にはほぼ一定値付近で変動していることが読み取れる。標準偏差の値は、 H_f の場合約4.5cm、 L_a の場合が約5mmで、それぞれ平均値に比べて5~15%程度の値である。よって、本実験で発生させた火災は、概ね定常的に形成されており、以下この条件のもとで得た火災形状パラメータの特性として、特に L_f 、 L_a と Q^* 、 θ_1 の関係について検討した結果を述べる。なお、 L_f は $L_f = H_f / \sin \theta_3$ で求めた。

4.2 火災長さ

図4に L_f と無次元発熱速度 Q^* および傾斜角度 θ_1 との関係を、図5に L_a と Q^* および θ_1 との関係を示す。 D は火源径である。付着距離については、鈴木ら[1]による結果も併せて

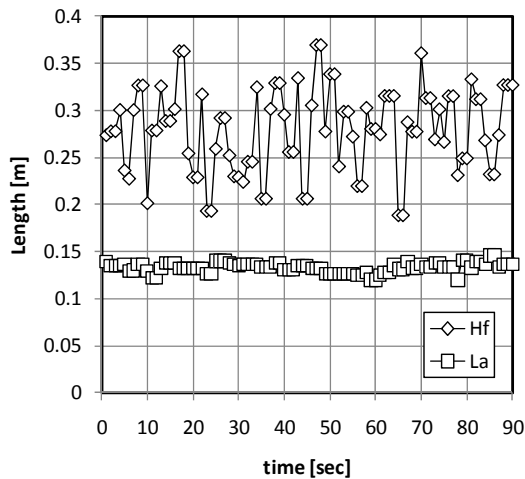


図3 H_f 及び L_a の経時変化
($Q = 4.5\text{kW}$, 傾斜角度 20°)

プロットした。 Q^* は無次元発熱速度であり、(1)式で与えられる。鈴木らは線火源を用いているため、 Q^* は(2)式で求める。

$$Q^* = Q / (C_p \rho g^{1/2} T_\infty D^{5/2}) \quad (1) \text{ (正方火源)}$$

$$Q^*_{\text{rec}} = Q / (C_p \rho g^{1/2} T_\infty W D^{3/2}) \quad (2) \text{ (線火源)}$$

ただし C_p : 比熱[kJ/(kg·K)], D : 火源径[m], 線火源では火源の短辺[m], g : 重力加速度[m/s²], Q : 発熱速度[kW], W : 線火源の長辺[m], ρ : 密度[kg/m³]である。図4(a), (b)より、 L_f は Q^* が

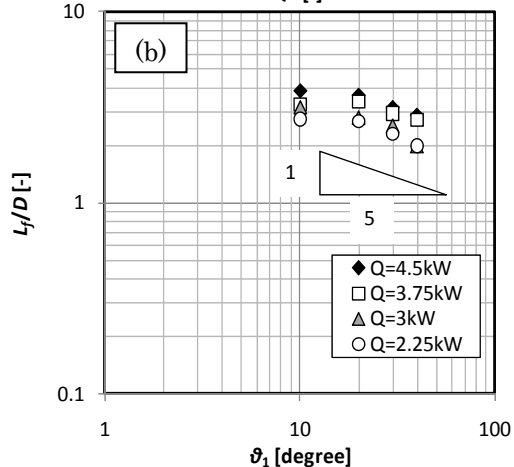
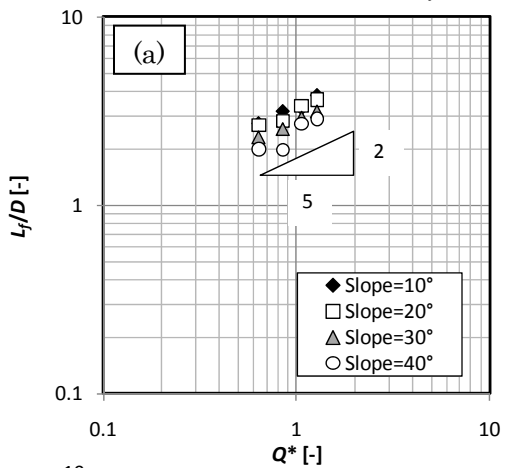


図4 L_f/D と無次元発熱速度および傾斜角度の関係

大きくなるにつれて $Q^{*2/5}$ に比例して大きくなる傾向を示しており、また傾斜角度が大きいほど短くなる傾向を示し ($L_f \propto \theta_1^{-0.2}$)、火炎が斜面へ倒れ込んで這うことが読み取れる。付着距離については図5(a), (b)に示したように、発熱速度にはほとんど依存せず、傾斜角度のみによって決まっている。これは、鈴木らの実験と同様の結果であり、両者とも $\theta_1^{2/3}$ に比例している。しかし鈴木らの実験結果とは L_a/D の値に3倍程度の差がある。これは、鈴木らの結果が線火源を用いたものであることが1つの原因と考えられる。

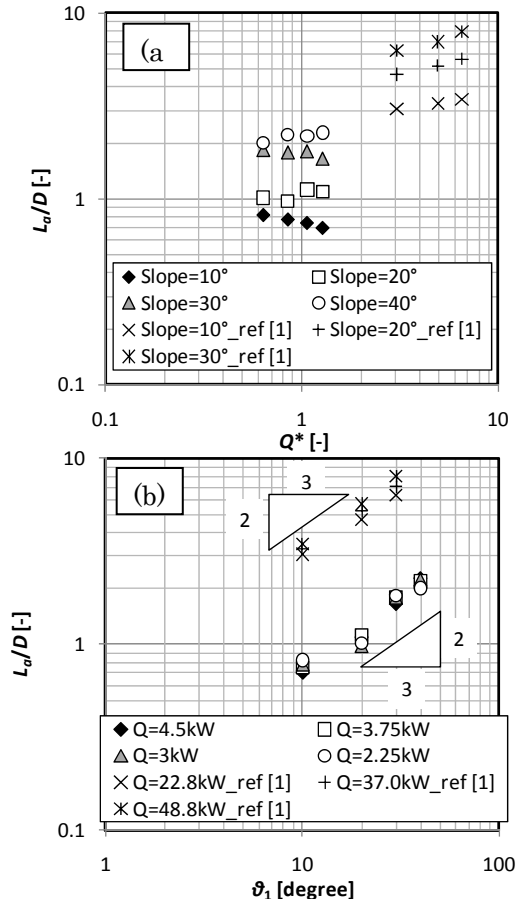


図5 L_a/D と無次元発熱速度および傾斜角度の関係

本実験のように燃料の初速度がほとんど無視できるような場合、火炎の形成方向は主として火炎自身が作り出す浮力の方、すなわち鉛直方向に決定される。本実験の火炎は拡散火炎であるから、火炎は周囲の空気を対称的に巻き込んで成長するが、火源極近傍に注目すると、斜面上方向からの空気巻き込みは斜面が壁の効果を発揮して、阻害される。そのため、斜面上方向は斜面下方向よりも先に負圧状態となり、その結果斜面を火炎が這う。火炎極近傍では、McCaffrey [2]が示しているように中心軸上の温度が発熱速度によらずほぼ一定であるとすれば、発熱速度によらず火炎基部で生み出される浮力はほぼ一

定であり、そのため発熱速度によらず火炎が斜面に這う距離がほぼ一定になったと推測される。

水平面で形成された火炎の場合、 L_a が存在せず L_f がそのまま火炎高さとして整理できる。そこで、傾斜面の場合も共通して取り扱える火炎長さとして L_f と L_a の和をとり、これを Q^* 及び θ_1 に対してプロットした。これを図6に示す。水平面で形成された火炎の高さと比較するために、Zukoski [3], Heskestad [4], McCaffrey [2]が提案した結果も合わせてプロットした。水平面上で既往の関係よりも火炎が伸びている傾向を示しているのは、実験棟の標高が海拔約900mの位置にあるため、気圧が平均90hPa程度低いので、燃焼反応に必要な酸素量を確保するために火炎が伸びたと推測される。 $L_f + L_a$ の値は、 Q^* に対しては、水平面上と同じくほぼ $Q^{*2/5}$ に比例しており、

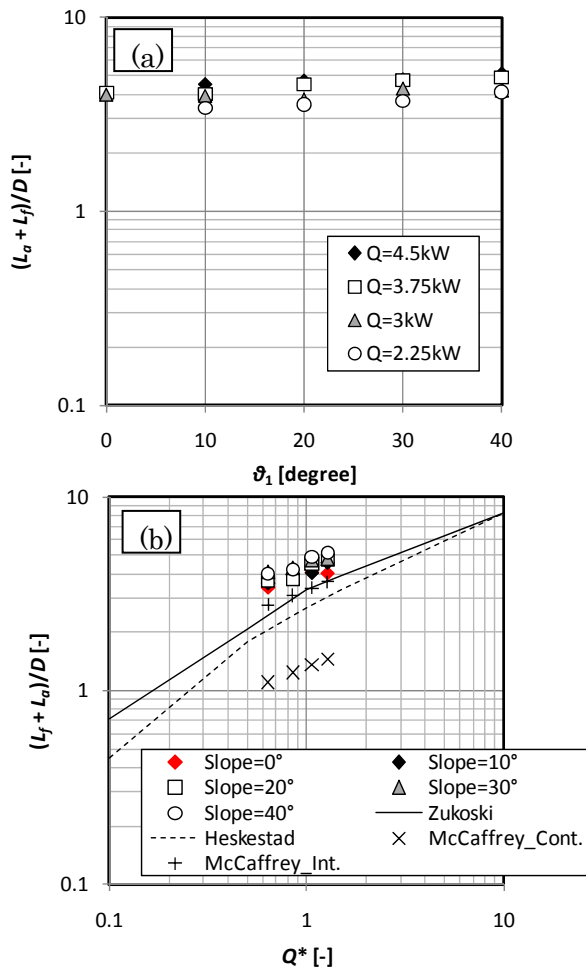


図6 $(L_f + L_a)/D$ と無次元発熱速度および傾斜角度の関係

傾斜角度に対しては、 L_a が伸びる効果と、その結果 L_f が短くなる効果が合わさって、結果として傾斜角度に対する依存性はほとんど失われた。すなわち、傾斜面上での火炎は、全体の長さは傾斜角度に依らず発熱速度に

のみ依存して決まり、傾斜角度に依存してある決まった量だけ斜面上を這い、傾斜面から立ち上がった後は、発熱速度と傾斜角度のつりあいに応じた長さだけ立ち上がる傾向があると推測される。

4.3 まとめ

本実験により、傾斜面における火炎の長さについて以下の事項が明らかとなった。

- (1) 傾斜面における火炎は、周囲空気の巻き込みが不均一であることから、負圧になりやすい斜面上方向へ吸いつき、斜面上を這う。
- (2) 斜面における火炎は、全体としての長さは発熱速度のみに依存して決まり、傾斜角度によって決まる長さだけ斜面上を這い、その後、発熱速度と傾斜角度のつりあいに応じた長さだけ立ち上がる。発熱速度に対する依存性は、水平面上で発生した火炎同様 $Q^{*2/5}$ に比例する。

(参考文献)

- [1] 鈴木秀和, 土橋常登, 田中哮義: “斜面上における線火源の火炎形状に関する実験”, 平成22年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.358-359, 2010.
- [2] McCaffrey, B.J. “Purely Buoyant Diffusion Flame - Some Experimental Results-”, NBSIR79-1910, 1979.
- [3] Zukoski, E.E., Kubota, T. and Cetegen, B.: “Entrainment in Fire Plume”, Fire Safety Journal, Vol.3, pp.107-121, 1980/81.
- [4] Heskestad, G.: “Luminous Height of Turbulent Diffusion Flames”, Fire Safety Journal, Vol.5, pp.103-108, 1983.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

- 1) 今村友彦, 山崎裕太, 大原達也, 上矢恭子, 須川修身: 傾斜面における火炎形状, 第43回安全工学研究発表会, 東京, 2010.11.
- 2) 山崎裕太, 今村友彦, 大原達也, 上矢恭子, 須川修身: 傾斜面における火炎プルームの温度分布性状, 第43回安全工学研究発表会, 東京, 2010.11.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕(計0件)

〔その他〕(計0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

今村 友彦 (IMAMURA TOMOHIKO)

諏訪東京理科大学・システム工学部・助教
研究者番号: 50450664

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし