

01 林野火災の発生リスク： 落ち葉の乾き具合から推定する

森林防災研究領域

吉藤奈津子

玉井幸治



林野火災の発生リスク

世界では温暖化に伴う林野火災の増大が懸念されています。日本では、林野火災発生件数は1950年代から1970年代前半にかけて増加しましたが、その後減少傾向をたどり、1970年代は年間平均6437件発生したのに対し2014-2023年は平均1267件と報告されています（総務省消防庁、2024）。林野火災リスクを評価するには、発生リスクと発生後の延焼拡大リスクの両方を考える必要があります。林野火災は一般に林床（森林内の地表）の落葉落枝が燃えることから始まるので、発生リスクにおいては火種があるかどうかと、火種さえあれば着火できるほど落葉落枝が十分乾燥しているかどうかが重要です。そこで林床の落葉層の含水比（＝水分の重量／落葉の乾燥重量、含水比が小さいほど乾燥している）を推定することで、林野火災の発生危険日数の推定を試みました。

林床の枝葉の乾き具合を推定する

含水比の推定には玉井のモデル（Tamai 2001; 玉井ら2019）を用いました。降水量と日射量から落葉層の含水比変化を推定するモデルです。林床の落葉層をバケツに見立て、バケツの中にたまった水量が含水比に相当します（図1）。降水によって含水比は増加しますが、最大含水比

を超える降水はバケツからあふれて土壤中に浸透するとしています。降水が無い時は蒸発によってバケツの水量は減少します。蒸発量の計算式は広葉樹の葉を用いた実験に基づく経験式で、林床の日射量とその時の含水比から求めます。林床に届く日射量の割合、すなわち、相対日射率（＝林床の日射量／樹冠上の日射量）は樹冠の枝葉の疎密具合によって異なりますが、今回は日本全国が一様な森林で覆われていると仮定し、新植地など林床に届く日射量の割合が多い森林、若齢林など中程度の森林、壮齢林など樹冠が密で林床に届く日射量の割合が少ない森林を想定して、それぞれ林床の相対日射率を60%、20%、7%で一定とした3つの条件で計算しました。樹冠遮断率（林床まで届かない降水の比率）や落葉の量、最大含水比など、それ以外の計算条件は全て同一で一定と仮定しました。降水量と樹冠上での日射量は気象庁が提供する1958-2010年のデータ（DSJRA-55、空間解像度5km）を用いました。計算間隔は1時間で、日最小含水比が0.2 g/g未満となった日を林野火災発生危険日とし、その年間総日数を算出しました。同じDSJRA-55データを用いて別途推定された積雪深データを用い（Katsuyama et al., 2025）、積雪のあった期間は発生危険日から除外しました。

林野火災発生危険日数マップ

図2は林野火災発生危険日の年間総日数（1958-2010年の平均）の推定結果です。3つのマップを比較すると、同じ地域でも林床の相対日射率の異なる森林があることで発生危険日の日数がどう変わることが分かります。全国的に、相対日射率が60%、20%、7%の順に発生危険日が多いと推定されました。つまり、同じ地域でも林床まで届く日射の割合が多い樹冠が疎な森林ほど発生危険日が多くなるこ

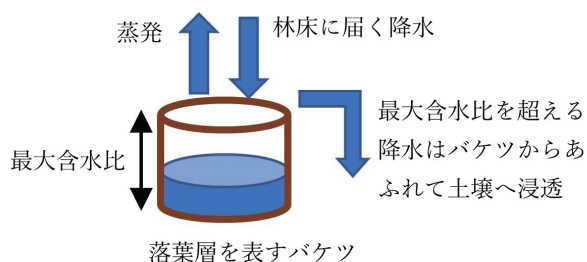


図1 林床の落葉の含水比を推定するモデルの概要

とを示しています。また、個々のマップをそれぞれ個別に見てみると、同じ条件の森林でも地域によって発生危険日の日数がどう異なるかが分かります。3つのマップはいずれも地域分布の傾向はおおむね同様で、関東から東海の太平洋側、中国地方の瀬戸内海沿岸部、九州沿岸部で発生危険日が多いと推定されました。これらの地域は降水量が少なく日射量の多い地域におおむね該当しました。また、林床の相対日射率が60%と20%の場合は、特に北海道、東北の日本海側、北陸で発生危険日が少ないと推定されました(図2(a)、(b))。これらの地域は積雪期間が長く日射量の少ない地域でした。

では、相対日射率が60%、20%、7%の森林とは具体的にどのような森林でしょうか。図3に示すように、スギ・ヒノキ林の林床の相対日射率は胸高断面積合計(立木の胸の高さの幹の断面積を森林1haについて全て合計したもの)と相関があることがわかりました(玉井ら、2025)。若い幼齢林など胸高断面積合計が小さい森林は林床に届く日射量の割合が多く、落葉が乾きやすいため林野火災の発生危険日が多くなると考えられます。成長にともない胸高断面積合計が大きくなると林床に届く日射量の割合が小さくなり、林床の落葉が比較的乾燥しにくいために発生危険日は少なくなると考えられます。相対日射率を測定している森林は研究のための一部の試験地などごく限られた場所しかありませんが、スギ・ヒノキ林については収穫表などから胸高断面積合計が分かれば図3に基づいて相対日射率を推定することができるので、それに対応する発生危険日の推定もできるようになりました。

今回使用したモデルには、様々な仮定も含まれています。今後も精度の検証やモデルの改善を進めていきます。

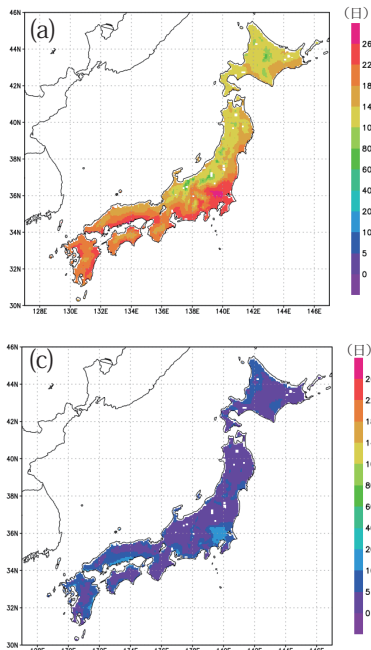


図2 林野火災発生危険日の年間総日数(1958-2010年の平均)
林床の相対日射率が(a)60%、(b)20%、(c)7%の場合。林床の相対日射率が高いほど危険日が多いです。相対日射率と同じでも地域によって危険日数に差があることがわかります。

発生危険日には火の取り扱いに注意

今回のモデルによる推定結果は、火種があれば林野火災が発生する危険性があるほど林床の落葉が乾燥しているかどうかを示すものです。落葉層がどんなに乾燥していても、火種がなければ林野火災は発生しないはずですが、日本の林野火災の出火原因の2/3はたき火や火入れなどの人為的なもので、残りの1/3には不明・調査中が含まれ(総務省消防庁、2024)、落雷などの自然現象が原因と報告されているものは稀です。ですから、林野火災の発生を防ぐには、乾燥時に人為的な出火原因を作らないことが重要です。図2で発生危険日が多いと推定された地域や森林タイプでは、特に注意が必要です。

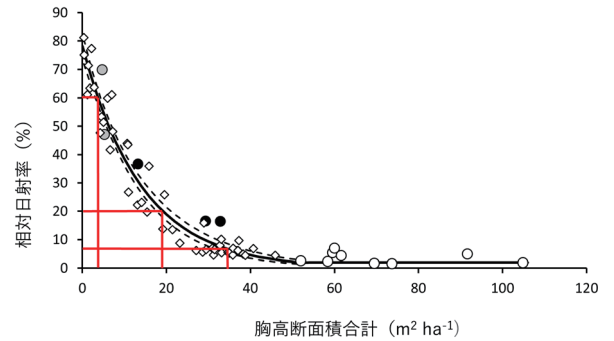


図3 スギ・ヒノキ林における林床の相対日射率と胸高断面積合計の関係
赤線は図2(a)、(b)、(c)に相当する値を示しています(玉井ら2025より一部改変)。胸高断面積合計が大きいほど林床の相対日射率が小さいことがわかります。

引用文献

- 総務省消防庁(2024) 令和6年版消防白書.
Katsuyama Y, Katsushima T, Takeuchi Y (2025) Cold Regions Science and Technology 235:104480. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2025.104480>.
Tamai K (2001) In Dolman AJ et al. (ed.) Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-Scale Hydrological Models (Proceedings of a symposium). IAHS Publ.270: 53-55.
玉井幸治, 吉藤奈津子, 後藤義明 (2025) 森林総合研究所研究報告, 24:23-27.
玉井幸治, 吉藤奈津子, 高橋正義ら (2019) 水利科学 365:84-98.

02 林床の延焼しやすさを調べる： 室内燃焼実験

森林防災研究領域
吉藤奈津子



延焼拡大リスクとは

林野火災が発生した場合、その後の燃え広がり方が急激になると被害は拡大しやすく消火活動も困難になります。林野火災は一般に林床可燃物（リターと呼ばれる地表に堆積した落葉落枝など）が燃えて炎が林床を這うように燃え進む「地表火」から始まることが多いと考えられますが、その勢いが増すと樹上の枝葉に燃え移って「樹冠火」となり被害が急激に拡大するようになります（図1）。林野火災発生後の延焼拡大リスクを考えるためには、地表火の燃え広がり速さ、つまり延焼速度を知ることが重要です。

地表火の延焼速度には、風速、斜面の傾斜、林床可燃物の量・質・含水比（湿り具合）が影響します。風速や林床可燃物の含水比は気象条件によって時々刻々変化する要素です（含水比の変化は林相にも影響されます（前の記事参照））。斜面傾斜は地形で決まる要素です。一方、林床可燃物の量や質に関する要素は樹種や林相によって異なると考えられます。質に関する要素には、表面積・体積比といった個々の可燃物の形状に関する要素や、パッキング率と呼ばれる可燃物層として堆積したときの状態に関する要素、

発熱量など、複数の要素があります。そこで、樹種の違いが地表火の延焼速度の違いに及ぼす影響を調べるため、日本の主要樹種であるスギとアカマツの葉を用いた室内燃焼実験を行い延焼速度を比較しました。

燃焼試験

風速と傾斜の影響を排除するため、室内に水平に設置した実験台を用いて無風、傾斜無しの条件で実験を行いました。不燃素材の板で作成した1.5 m×1.0mの実験台の中に一種類の可燃物のみを敷き詰めて、一様で単純な条件の模擬的な林床可燃物層を作りました。可燃物は風乾させたスギ穂先大（長さ45cm程度）、スギ穂先小（長さ25cm程度）、アカマツ葉を用いました。スギ穂先には枝部分も一部含まれます（図2）。スギは数mmから1cm程度の小さな葉が枝に密生していて枯れると枝全体が落ちるので、枝部分も含めた大小2種類の穂先を用意しました。敷き詰める可燃物の乾燥重量は0.5から2.0 kg/m²まで約0.5 kg/m²間隔で変化させて複数回実験を行いました。エタノールを浸み込ませた不燃素材のテープを実験台の片方の端に横幅

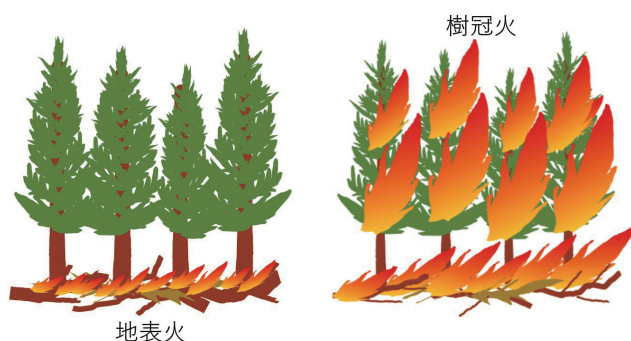


図1 森林における火災の形態の例
地表火から始まることが多く、勢いが増すと樹冠火となり、被害が急激に拡大します。



スギ穂先（小） スギ穂先（大） アカマツ葉

図2 燃焼実験台に敷き詰めた模擬的な林床可燃物層の様子
スギには枝部分も含まれ、穂先大は45cm、穂先小は25cm程度の大きさです。

いっばいに設置し、ライターでライン状に着火しました(図3)。火炎が前進する様子を動画撮影し、火炎前線の進行距離と経過時間を実験台の両側板に記した目盛りを基準に10cm間隔で読み取りました。着火ラインからの距離が0.6-1.2mの範囲を火炎が通過する時に比較的延焼速度が安定していたためその範囲のデータを抽出し、経過時間と進行距離を直線回帰してその傾きを延焼速度として算出しました。実験ごとに着火前に格子状に設定した45点で可燃物層の厚さを測定し、パッキング率(=可燃物乾燥重量/(可燃物密度×可燃物層の厚さ))を算出しました。パッキング率は可燃物層の疎密具合を表します。パッキング率が小さいとき、可燃物層の中に隙間が多いことを表します。なお、パッキング率の計算に必要な可燃物密度は、後藤ら(2005)のスギ葉とアカマツ葉の値を用いました。可燃物の含水比(=水分の重量/可燃物の乾燥重量)も別途測定しました。

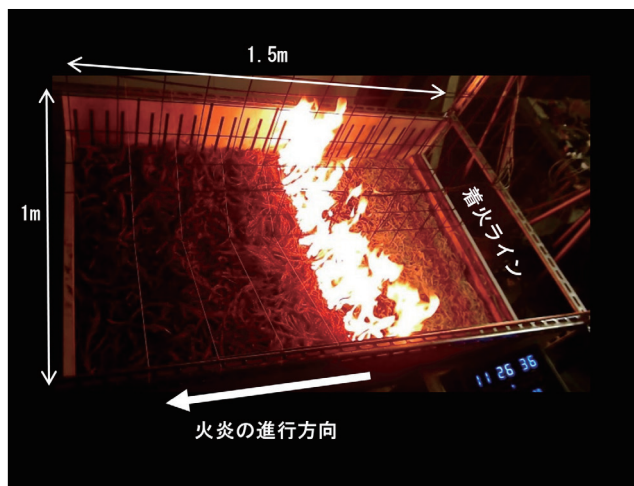


図3 燃焼実験の様子
写真右端の着火ラインから線状の火炎が写真の左端まで伝播していきます。その速度を計測しました。

可燃物の樹種によって延焼速度が違う

図4は延焼速度の測定結果です。敷き詰めた可燃物量(乾燥重量)が多いほど延焼速度は速くなりましたが、同じ可燃物量でも種類によって延焼速度に違いがありました。スギ穂先大はスギ穂先小やアカマツ葉よりも延焼速度が速いことが分かりました。スギ穂先小とアカマツ葉の延焼速度は可燃物量が 1.5 kg/m^2 以下では明瞭な差がみられませんでした。 2.0 kg/m^2 の時はアカマツ葉の方がスギ穂先小より延焼速度が遅く見えますが、データ数が少ないのでさらに検証が必要です。

同じ可燃物量でも種類によって延焼速度が異なる理由の一つとして、パッキング率の違いが考えられます。パッキング率が小さいほど可燃物層の中に隙間が多い状態を表します。燃烧には酸素が必要ですが、パッキング率が大きいと可燃物層に十分な酸素を取り込みにくくなるため延焼速

度が遅くなると考えられます。スギ穂先は先端が枝分かれした嵩張りやすい形をしています(図2)、個々のサイズが大きいスギ穂先大はより嵩張りやすく、同じ乾燥重量のスギ穂先小やアカマツ葉より可燃物層が厚くパッキング率は小さくなりました。このことがスギ穂先大の延焼速度が速かった理由の一つと考えられます。

延焼速度の違いには他の要素も影響している可能性もあります。例えば、葉の形状に関する要素である表面積・体積比の違いは延焼速度に与える影響が大きいと考えられる要素の一つですが、アカマツ葉とスギ穂先、また、同じスギ穂先でも大と小では表面積・体積比が異なるかもしれません。今後もさらなる検証が必要です。

実際の森林の林床可燃物は複数の樹種の葉や枝、実などが混在し、下層植生もあって複雑です。今回の実験は一種類の可燃物だけを敷き詰めた一様で単純な条件で行ったもので、その結果を直接実際の森林に当てはめることはできませんが、こうした基礎的な知見の蓄積は日本の林野火災の延焼リスクの評価に役立てられると考えています。

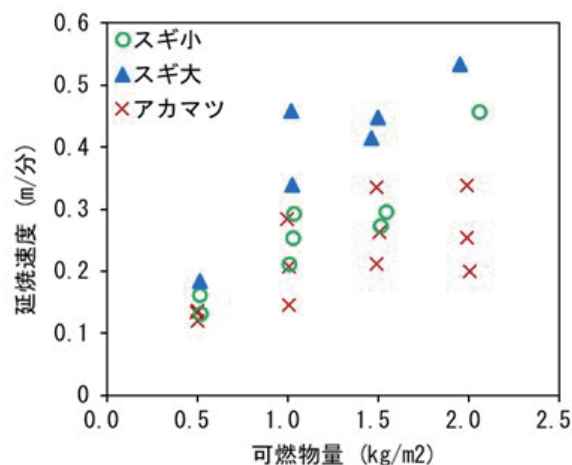


図4 延焼速度の測定結果
可燃物量が多いほど延焼速度は速く、同じ可燃物量でもスギ穂先大は他よりも延焼速度が速いことが分かりました。

引用文献

後藤義明, 玉井幸治, 深山貴文ら (2005) 日林誌, 87(3), 193-201.