

林野火災の発生・拡大メカニズム

消防庁消防研究所

第一研究部長 山下邦博

1. はじめに

林野火災の原因は人為によるものが殆どであるが、その発生過程は自然現象と深く関係しており、突風の発生等の予想外の急変化から火災が発生する例がかなりある。林野火災を減らすには、それぞれの火災原因について火災の発生過程と発生条件をより明確にして、その防止策を検討することが必要である。

林野火災の拡大要因をみると、発見の遅れ、強風による延焼速度の増大、消防水利不足等であるが、山間部の林野火災では隊員の人命危険性が高く、また、活動が著しく制限されることから活動を安全でより有効性のあるものにするために、林野火災の特性を知り、適切な時機と場所を選んで活動することが必要であることは言うまでもない。

ここでは主に林野火災の発生・拡大メカニズムを紹介して参考に供したい。なお、この報文は消防研究所研究資料 20 号¹⁾、21 号²⁾の要旨をとりまとめたものであり、詳細について関心のある方は原論文を参照されたい。

2. 林野火災の発生

林野火災が頻発する時期は地域でやや異なる。日本海側では4月～5月頃であるが、太平洋沿岸では2月～5月頃である。この時期、森林の樹木は休眠期から活動開始時期に移る頃であり、林床(森林の地表)には枯れた草本類が残存して燃え易くなっている。

(1) 林床可燃物の種類と乾燥

森林には各種の植物と植物遺体(枯死したもの)が存在する。大政³⁾によると森林の広義の土(土壌圏)は、その表面からA₀層、A層、B層、C層、D層に分けられる。A₀層は地表の有機物層であり、これはさらにL層、F層、H層に分けられる。L層は腐植⁴⁾があまり進んでおらず、葉・枝の形状が見分けられるもの、F層は一部分が腐植しているもの、H層は腐植が相当進んで団粒状になったものをいう。可燃物の発炎温度は加熱したとき自然に炎を出して燃え出す最低温度であるが、乾燥している腐植の進んだ有機物層(F、H層)の発炎温度は250～300℃であり、腐植があまり進んでいない有機物層(L層)の発炎温度は301～400℃である。この結果を

注) 腐植: 植物体を構成する炭水化物、蛋白質、リグニンなどが、いったん微生物によって低分子のものに分解され、その一部は二酸化炭素、水などになって失われるが、他の一部は縮合してより高分子化した腐植物質となる。

みると、林床可燃物の内部に発炎温度の低いもの(F層、H層)があって、その表面を発炎温度がやや高いL層により覆われていることがわかる。

通常、林床可燃物の内部は含水率が高いために着火する危険性は少ないが、小雨傾向が続いて可燃物内部まで乾燥してくると火の粉等の小さい火源でも容易に着火する。

森林の火災危険は土壌圏の乾燥状態にも依存する。可燃物の乾燥度は含水率 η ($\eta = 100 \times (W - W_0) / W_0$, %)の大小で表す。この式で W は水分を含んだ可燃物の重量、 W_0 は可燃物の全乾(水分を全て除いた)重量である。含水率が26%以上になると火災の発生危険は少ない。降雨が停止し、林床可燃物が乾燥するにつれて林野火災の発生危険が高まる。林床可燃物の乾燥はその表面から進行し、その内部はかなり遅れて乾燥する。可燃物の含水率が11~13%になるとマッチで簡単に着火する。さらに、含水率が8~10%以下になると危険である。また、小雨傾向が続き、含水率が2~7%程度まで下がると火災危険は著しく高い。

生育している広葉樹と針葉樹の葉の発炎温度を見てみよう。針葉樹の葉の発炎温度は440~450℃程度で、広葉樹の生葉は451~600℃である。発炎温度の違いから針葉樹の生葉は広葉樹の生葉よりも燃え易いことが予測できる。しかし、植物の葉の含水率は四季で異なり、盛んに生育している時期には発炎温度はともに高くなる。植物が枯れたり、活動が弱まると含水率は小さくなり、発炎温度は低くなる。

(2) 無炎燃焼から有炎延焼への移行

燃焼形態は火炎の有無から有炎燃焼と無炎

燃焼に分けられる。有炎燃焼は炎を出して燃える燃焼で、無炎燃焼は炎を出さないで燃える燃焼をいう。火災の発生過程を燃焼形態の変化として捉えると、①有炎燃焼から有炎燃焼への移行 ②無炎燃焼から有炎燃焼への移行、の二つのタイプに分けることができる。たき火の炎が近くの可燃物に接触して火災が発生する過程は①のタイプであり、また、たき火の飛火で火災が発生するのは②のタイプである。②のタイプの火災発生過程は発炎現象を含むことからランダムな現象であり、火源が可燃物に接触しても火災に至る場合と至らない場合がある。発炎すると火災の燃焼域が急増することから②のタイプの火災発生時刻は、発炎する瞬間といえる。

風速、落葉の種類、含水率及び火の粉の大きさ等の諸条件を変えて、ほぼ均一な多数の火の粉を落葉の上に落として火災発生率(落下した火の粉のうち火災になる割合)を測定して、火災の起こりやすい条件を求めると以下のとおりである。

- (ア) 可燃物の種類…植物が枯死して腐植の進んだもの
- (イ) 含水率…10%以下のもの
- (ウ) 可燃物の堆積状態…堆積密度が大きいもの
- (エ) 風速…地上付近の風が強いとき
- (オ) 火源…その表面温度が高く、寸法が大きい

これらの条件がすべて揃うと火災は高い確率で発生するが、風がない条件下では火災が発生する確率は小さい。

また、火の粉が可燃物表面に落下したとき、発炎する箇所と発炎時間は、火源の大きさ、風速等で異なる。発炎する場所は図1(a)

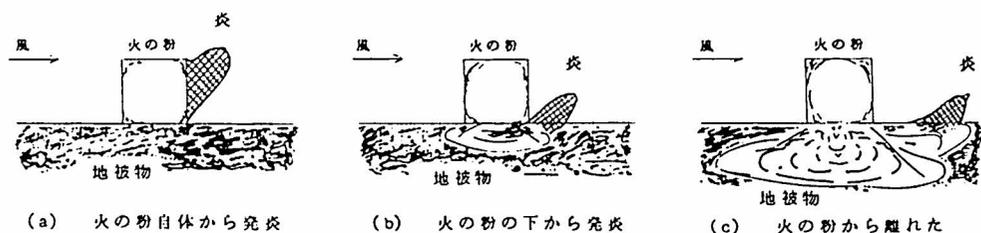


図1 火の粉による火災発生箇所

～(c)の三つに分類できる。図の(a)は火の粉自体から発炎する例、(b)は火の粉の下にある可燃物から発炎する例、(c)は火の粉から離れた場所で発炎する例である。火の粉が大きく、しかも風速が大きい場合には(a)の位置で発炎する。火の粉は小さいが、風速が比較的大きい場合には(b)の位置で発炎する。このタイプは通常の火災でも比較的多いと思われる。また、風速が小さく、可燃物が厚く堆積しており、しかもその内部が乾燥している場合には火災は(c)の位置で発生する。この例では燃焼域(燻焼)は火の粉に接触しているところから深く広く拡大し、その火の粉から離れた位置で発炎する。発炎時間は(a)、(b)、(c)の順に短い。

3. 林野火災の拡大

乾燥・強風下においては延焼速度が大きくなり、飛火が発生するためにしばしば延焼力(火災が拡大するときの相対的な強さ)が消防力に勝り、火災が拡大する。これに対して消防力が延焼力に勝るときには火災のコントロールが可能である。消火活動がなされない地区では火災は気象、地況、林況条件の影響を受けて拡大する。以下では主に消火活動がなされない場合の火災拡大について触れる。

(1) 火災の拡大に及ぼす斜面の影響

初めに無風下における火災の拡大を考えて見よう。無風下において、平坦地にある十分に乾燥した落葉が水平方向に燃え広がる火災の延焼速度は0.3～0.5 m/分程度である。ススキ草原のように可燃物が多い所では火勢が強く、これよりも速く拡大する。火災現場が傾斜地であればこの延焼速度は数倍から数十倍にもなる。延焼速度が増大する一つの理由は、無風下でも可燃物の燃焼によって傾斜地を吹き上げる風(火事場風)が起り、火災はこの風に煽られて拡大することによる。火事場風は火災規模と燃焼の激しさに関係しており、乾燥した可燃物が多量に堆積している箇所では火勢が強く、火事場風も強まる。傾斜地周辺の火災では、火災の拡大に及ぼす火事場風の影響は大きい。

次に、自然風がある場合を考える。有風下では起伏のある場所の周辺には局地風が起り、風向と風速の分布が生じて風の乱れも増大する。火災が大規模化すると局地の火災性状はこの局地風に左右される。延焼速度が局地風の影響を受けて小さくなる箇所もあるが、著しく増大する箇所も生じる。傾斜地においては火事場風と局地風の複合効果により、局地的に、また、瞬間的に、突風が発生して延焼速度を増大させる。傾斜地の林野火災に対しては、この複合効果により延焼速度

が著しく増大する危険性があることを、念頭におかねばならない。

火災の延焼速度は風上斜面（風があたる側の斜面）と風下斜面（風が当たらない側の斜面）でも異なる。火災が風上斜面を燃え上がる場合には燃焼速度は大きく、斜面を燃え上がるにつれて加速される。次いで、風下斜面を火災が燃え上がる場合の延焼速度が大きい。一方、斜面を燃え下がる場合には、延焼速度は風上、風下に関係なく小さい。

複雑地形周辺では風は三次元分布をしており、出火場所と風向によって延焼状況が著しく変化する。このような複雑な地形の周囲で拡大した火災では、①延焼速度急増、②延焼方向急変、③飛火発生、④正面幅急増、⑤火災旋風の発生等の延焼状況の急変化が起これるために、これらの急変化を予測して、安全を第一にした活動が望まれる。傾斜地では消防活動が著しく制限されるのに対して燃焼は促進されるために火災が拡大する。

林野火災の拡大は燃焼形態によっても変わる。主に地表の可燃物が燃える地表火の延焼速度は、普通1時間に4～7kmといわれるが、風が強い場合とか上り斜面では、1時間に10km以上の速さになることもある。アカマツ、スギ、ヒノキなどの針葉樹林では樹冠火が起これやすく、このタイプの火災では延焼速度は1時間に2～4kmである。強風下で

表1 飛火距離と飛散角

林野火災	火災発生日	風速 m/s	相対湿度 %	飛散角度 度	飛火距離 m
大塚(杉林)	58.4.28.	16	52	13	600
新塚(杉林)	58.4.28.	11	38	23	250
大塚(杉林)	58.4.28.	11	38	23	1500
		14	38	3	500
		23	17	13	1000
大塚(杉林)	58.4.28.	23	17	68	1500
		23	17	43	2000
		10	50	6	200
大塚(杉林)	58.4.28.	9	60	23	200
		8	55	45	370
大塚(杉林)	58.4.28.	8	55	20	500
		8	55	30	250
		15	35	33	30
		15	35	23	110
		15	35	13	100
大塚(杉林)	58.4.28.	15	35	13	320
		8	30	60	100
		8	30	0	200
		9	38	58	100
大塚(杉林)	58.4.28.	7	35	55	150
		7	35	55	350
		7	35	55	150
大塚(杉林)	58.4.28.	10	30	33	200
		12	30	68	400
		12	31	33	480
		12	31	13	300
		11	33	23	500

は、燃焼中の枝等が飛散するため飛火発生危険が高い。地中火は、地中にある泥炭層、亜炭層その他の有機物層が燃えるものである。このケースでは、空気の供給が少ないため延焼速度は1時間に4～5m程度で小さいが、燃焼部位が地中のために完全消火が困難である。

(2) 火災の拡大に及ぼす飛火の影響

火災の拡大時に飛火火災が発生すると、延焼範囲と延焼速度が急増して火災の様相が一変する。飛火は消防隊が開設した防火線をこえて発生し、一気に拡大する危険性がある。乾燥・強風下では飛火発生危険が高いため、飛火の発生危険範囲について飛火警戒が求め

られる。昭和 58 年 4 月に東北地方で発生した大規模林野火災のうちで主な火災の飛火発生状況を表 1 に示す。火災は数時間から数十時間に及んでいるが、飛火発生時刻は特に風が強くなった午後に集中しており、この風の強まりが飛火発生を促進させている。飛火の飛散角度と飛火距離は、風速と地形で異なる。平均風速が 15 m/s 以上の烈風下では、飛火個数は著しく多くなるが、飛火距離は短くなり、飛散角度は小さくなる。烈風下では火災の上昇気流は地面を這うように拡散するため、飛火距離は短く、飛散角度が小さくなる。飛火距離が 1 km 以上に及ぶ場合もあるが、これは風が弱まった頃に火災の上昇気流が高く立ち上がって火の粉がより遠くに運ばれることによる。飛火の飛散角度が大きくなっているのは起伏が大きい場所であり、そ

こでは延焼方向と異なる方向に飛火が発生している。大きさが数百メートルのすり鉢地形では風の乱れが大きいことからその内部全域が飛火発生危険区域と考える必要がある。

4. おわりに

ここでは林野火災の発生・拡大に関連した基本的な問題に触れたが、火災の拡大は複雑な現象であり正確に予測することは容易ではない。

火災現場においては地形と飛火の影響を考慮して常に拡大危険範囲を予測し、退路を確保した安全重視の活動が望まれる。火災の発生・拡大は林況等にも左右されることから今後においてもより広い視点からこれらの現象を分析することが必要である。

参 考 文 献

- 1) 消防庁消防研究所：消防研究所研究資料 第 20 号（昭和 60 年 3 月）
- 2) 消防庁消防研究所：消防研究所研究資料 第 21 号（昭和 63 年 3 月）
- 3) 大政正隆：土の科学，NHK ブックス