

令和6年度林野火災発生危険度予測システム 構築業務報告書

令和7年2月

発注機関: 林 野 庁

実施機関: 株式会社ウェザーニューズ

目次

第1章 本業務の概要本業務実施の背景と目的	2
1.1 本業務実施の背景・目的	2
1.2 本業務の実施内容	2
1.2.1 本業務の全体像	2
1.2.2 本業務の実施体制	3
1.2.3 実施スケジュール	4
1.2.4 本年度の実施内容と主な成果	4
第2章 林野火災発生危険度予測システムの構築	9
2.1 林野火災発生危険度予測システム構成	9
2.1.1 林野火災発生危険度	9
2.2.2 林野火災延焼危険度	13
2.2.3人口密度による林野火災指標	17
第3章 林野火災発生危険度予測システムの検証	20
3.1 大規模林野火災の事例検証	20
3.1.1 栃木県足利市の事例	20
3.1.2 長野県霧ヶ峰高原の事例	22
3.2 人口密度による林野火災危険度の検証	24
3.2.1 大阪平野、濃尾平野、石狩平野の分布	24
3.2.2 空間解像度について	26
3.2.3 人口密度のみを考慮した林野火災指標の結論	26
第4章 事業成果の取りまとめと普及方策の提案	27
4.1 事業成果の取りまとめ	27
4.2 普及方策・活用事例の提案	29
第5章 まとめと今後の展望	31
【参考文献】	31

第1章 本業務の概要本業務実施の背景と目的

1.1 本業務実施の背景・目的

林野火災は、一度発生すると、育成に長期を要する森林が瞬時に失われるだけでなく、建物への延焼や人身への被害につながる恐れがあるほか、鎮火後も土砂流出などの二次災害等、森林の多面的機能へ甚大な影響をもたらす。加えて、我が国の林道等は消防水利が未整備である場合が殆どであり、強風等により空中消火が不可能となった場合には対処が困難となる。また、出火原因のほとんどは人為によるものであるが、面的な広がりをもつ森林においては、入林者等に対する一般的な注意喚起だけでは限界があり、危険な時期と場所を特定した重点的な警戒活動が可能となるような手法を考案する必要がある。

このため、令和4年度林野火災発生危険度予測システム構築業務(以下「令和4年度業務」という。)において、特定地域における日射量や無降雨期間等の気象条件と樹冠密度等の森林の現況から、林野火災発生危険日の予測可能性を確認し、令和5年度林野火災発生危険度予測システム構築業務(以下「令和5年度業務」という。)においては、令和4年度業務を踏まえて、強風による延焼危険度、人口密度による林野火災指標の構築を行った。

令和6年度林野火災発生危険度予測システム業務(以下「本業務」という。)では、これらの成果を踏まえ、林野火災発生危険度を予測するシステム(以下「林野火災発生危険度予測システム」という。)の構築等を行う。

なお、本業務は林野庁が株式会社ウェザーニューズ(以下「ウェザーニューズ」という。)に委託して実施した。

1.2 本業務の実施内容

1.2.1 本業務の全体像

本業務の最終目標は、林野火災発生危険度予測システムを構築し、林野火災発生危険度を一般に広く普及させることである。本業務は、(国研)森林総合研究所がとりまとめた「林野火災発生危険日予測モデル」を活用して、特定の地域における日射量や無降雨期間等の気象条件と森林の現況から、林野火災発生危険度を予測するシステムを構築する。構築にあたっては、将来的に全国の各地域における林野火災発生予測ツールとして活用することを念頭におき、予測に用いるデータの検討・選定を行うとと

もに、予測結果については過去の林野火災の事例等に照らし合わせて検証を実施する。

1.2.2 本業務の実施体制

ウェザーニューズは気象サービスを通じて自然災害による生命・財産の損失を回避することを目的に約38年間事業を行っている。森林は水源涵養機能や二酸化炭素の吸収など多面的な機能をもっており、自然災害の軽減や気候変動の緩和において我が国の重要な自然資源である。本業務では、これまで培ってきた気象サービスのノウハウや世界最大規模の気象データベースを活用して、林野火災の発生予防方法の検討など林野火災の課題に取り組む。当社は、林野火災のリスクを事前に回避することで森林資源の損失を回避し、自然災害の軽減や気候変動の緩和を通じて生命・財産の損失を回避することで社会への貢献を目指す。

本業務は、ウェザーニューズに所属する主任技師1名(管理者を担当)、技師A2名、技師Bで構成されるプロジェクトメンバーで実施した。プロジェクトメンバーの一覧を表1.1に、実施体制を図1.1に示す。

表1.1 プロジェクトメンバー一覧

役割		名前	業務
管理者	主任技師	萩行 正嗣	管理監督者
担当者	技師A	吉川 真由子	主任技術者 本業務に関わる主たる調査業務
担当者	技師A	杉山 紀元	技術者 本業務に関わるロジックの開発等の業務
担当者	技師B	圓山 憲一	技術者 本業務に関わる主たる調査業務のサポート

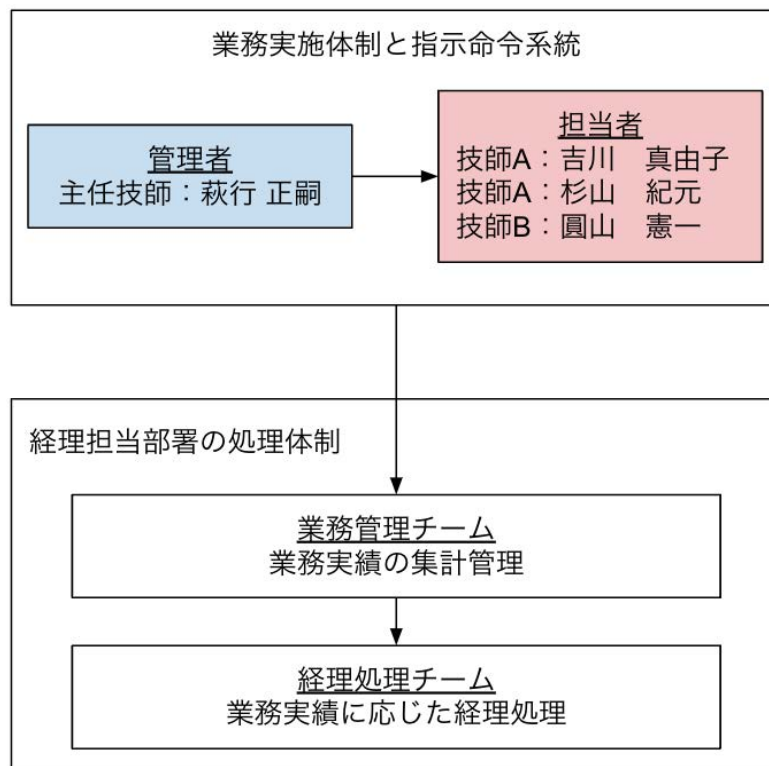


図1.1 業務実施体制と指示命令系統

1.2.3 実施スケジュール

本業務の作業計画概要を表1.2に示す。

表1.2 作業計画概要

作業計画概要		6月				7月				8月				9月				10月				11月				12月				1月			
項目	PIC	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w	1w	2w	3w	4w
1. 入札申請書提出、改札結果通知	萩行、吉川、杉山、圓山																																
2. 委員会（契約締結後と終了時に実施）	吉川、杉山、圓山																																
3. 林野火災危険度予測システムの構築	吉川、杉山、圓山																																
4. 過去の火災事例を活用した検証	吉川、杉山、圓山																																
5. 事業成果のとりまとめ	吉川、杉山、圓山																																
6. 普及方策の提案 普及資料に記載されている内容をもとに、 危険度indexを適用することを想定した場合の運用システムを試行的に構築・運用し、活用事例家や活用にあたっての課題や注意点を普及資料に 記載する。	吉川、杉山、圓山																																
7. 報告書作成	萩行、吉川、杉山、圓山																																
8. 報告書提出、完了	萩行、吉川、杉山、圓山																																

1.2.4 本年度の実施内容と主な成果

①委員会の設置

林野庁と協議の上、選定した外部有識者等2名で構成する委員会を設置し、本業務に対する委員からの助言等を取りまとめ、反映させた。本年度の委員会は本業務着手

後と終了前の2回開催し、技術的な評価を受けた。

[林野火災発生危険度予測システム構築業務推進委員会委員]

玉井幸治 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

安成哲平 北海道大学 北極域研究センター

(五十音順)

②本業務に使用するデータの検討と選定

本業務に使用するデータを検討の上、選定を行った。気象データの検証についてはウェザーニューズの解析雨量、解析日射量、解析風向・風速、気象業務支援センターから配信される解析積雪深を用いた。予測システムには気象業務支援センターから配信される降水予測、日射量予測、風向・風速予測、降雪予報を使用した。樹種は、環境省が発表している植生図の最新版を用い、樹冠密度には、欧州宇宙機関(ESA：European Space Agency)が保有している光学衛星のSentinel-2¹から推定を行った。人口密度による林野火災指標で使用する人口データは、国土交通省国土政策局が作成した500mメッシュ別将来推計人口データを使用した。地形データは国土地理院が保有している数値標高モデル(DEM：Digital Elevation Model)を使用した。

表1.3 選定したデータ一覧

気象データ

データ種別	概要	データ元	空間解像度	時間解像度
解析雨量	地上雨量データと気象庁レーダーによる解析雨量値	ウェザーニューズ	1kmメッシュ	1時間
解析日射量	衛星ひまわりから解析した日射量値(全天日射量)	ウェザーニューズ	1kmメッシュ	1時間
解析風向・風速	ウェザーニューズが所有する予測モデル値と観測値から作成した解析風向・風速値	ウェザーニューズ	1kmメッシュ	1時間
解析積雪深	気象庁が配信している解析積雪深	気象業務支援センター	5kmメッシュ	1時間

¹Sentinel-2:ヨーロッパの地球観測光学衛星で、同一仕様の2機の衛星Sentinel-2AとSentinel-2Bから構成される。土地被覆変化の把握や環境モニタリングをはじめ、自然災害、農業(作物)の生育状況の把握など、リモートセンシングの広い分野で活用されている。

データ種別	概要	データ元	空間解像度	時間解像度
降水予測	日本とその近海の領域を 全球モデルよりも細かい格 子間隔(5km)で計算した 数値予報モデルによる予 測値	気象業務支援センター	5kmメッシュ	1時間 FT=0~78
日射量予測	日本とその近海の領域を 全球モデルよりも細かい格 子間隔(5km)で計算した 数値予報モデルによる予 測値	気象業務支援センター	5kmメッシュ	1時間 FT=0~78
風向・風速予測	日本とその近海の領域を 全球モデルよりも細かい格 子間隔(5km)で計算した 数値予報モデルによる予 測値	気象業務支援センター	5kmメッシュ	1時間 FT=0~78
降雪予測	日本とその近海の領域を 全球モデルよりも細かい格 子間隔(5km)で計算した 数値予報モデルによる予 測値	気象業務支援センター	5kmメッシュ	1時間 FT=0~78

森林データ

データ種別	概要	データ元	空間解像度
樹種	1/2.5万現存植生図(平成11~整備)から樹種を判別する。 データが不足しているところはSentinel-2のデータを用いて推定する。	1/2.5万現存植生図(平成11~整備):環境省自然環境局 人工衛星Sentinel-2: 欧州宇宙機関(ESA)	10mメッシュ
樹冠密度	Sentinel-2 のL2A B03,04,08 から算出する。 閾値を設定し、それらを用いて分類する	人工衛星Sentinel-2: 欧州宇宙機関(ESA:European Space Agency)	10mメッシュ

人口データ

データ種別	概要	データ元	空間解像度
人口密度	2020年現在の空間解像度500mの人口データ	500mメッシュ別将来推計人口データ(H30国政局推計)	500mメッシュ

地形データ

データ種別	概要	データ元	空間解像度
数値標高モデル(DEM)	標高	国土地理院	10mメッシュ

③林野火災発生危険度予測システムの構築

本業務の最終目標は、林野火災発生危険度を予測するシステムを構築し、林野火災発生危険度を一般に広く普及させることである。過年度の業務を通じ、強風時における林野火災延焼危険度の設定や人口密度による林野火災の発生・拡大リスクの指標化を行った。本業務では、強風時の延焼速度の閾値の最適化や人口密度による林野火災指標の適用方法を検討し、過年度業務で検討してきた林野火災発生危険度に影響する要因(林床可燃物含水比、延焼速度、人口密度)を統合した指標の作成を行った。

④過去の火災事例を活用した検証

本業務で構築したシステムが有効であるかを確かめるため、過去数年で実際に発生した林野火災において、林野火災発生危険度を算出し判定できたかどうか検証を実施した。

⑤事業成果の取りまとめ

広く一般に普及するため、本業務で構築したシステムの概要を普及資料として取りまとめ、作成を行った。普及資料では、システムに必要なデータや、計算ロジックを記載し、運用する際の注意点の記載も行った。

⑥普及方策の提案

普及資料に記載されている内容をもとに、本業務で開発したシステムを運用することを想定した場合の運用システムを試行的に構築・運用し、活用事例案や活用にあたっての課題や注意点を普及資料に記載した。

第2章 林野火災発生危険度予測システムの構築

2.1 林野火災発生危険度予測システム構成

林野火災発生危険度予測システムは下記の3つで構成される。図2.1にシステム概要を示す。

①林野火災発生危険度

②林野火災延焼危険度

③人口密度による林野火災危険度

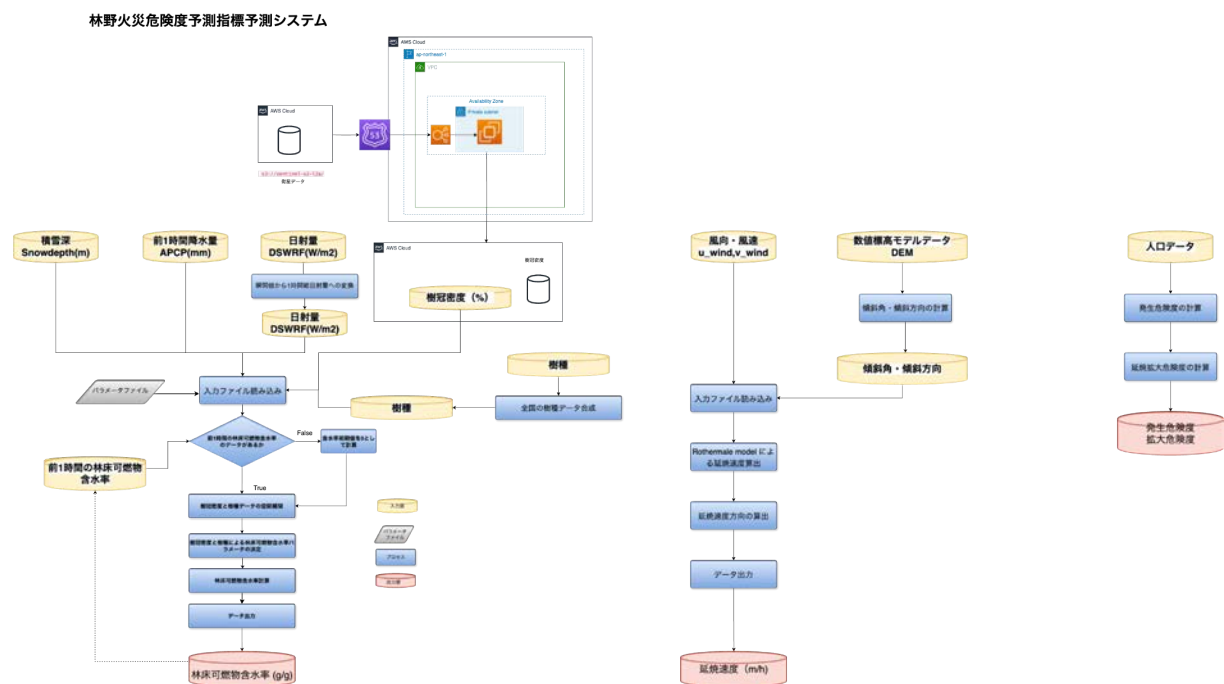


図2.1 システム概要

それぞれの概要について記載する。

2.1.1 林野火災発生危険度

林野火災の発生危険度に関しては、過年度と同様に玉井ら(2019)^[1]がとりまとめた、林野火災の発生する危険が高い条件として林床可燃物の含水率が0.2g/g以下になる時期を日射量と降水量から判定するモデルを使用した。モデルは一段のタンクモデル

であり、タンクに貯まっている水の深さが林床可燃物含水比に相当する。タンクには降水が貯まるが、最大含水比を超える量は森林土壌に流下する。タンクからは、林床面での日射量とその時の含水比に応じた水量が蒸発するため、雨の降っていない日中には徐々に減っていく。蒸発量は玉井ら(2019)^[1]で用いられた(1)式によって算出した。

$$E = (1.02 \times 10^{-4} \theta - 1.3 \times 10^{-5}) S \quad (\theta < 1.8 \text{ g/g の時}) \quad \dots (1)$$

$$1.70 \times 10^{-4} S \quad (1.8 \text{ g/g} \leq \theta \text{ の時})$$

ここで、 E :蒸発水量(mm)、 θ :林床可燃物含水比(g/g)、 S :林床面日射量(kJ/m^2)
過年度で実施した検証結果から、危険度判定の閾値は0.2g/gを用いた。

玉井ら(2019)^[1]では、新植地、間伐林、閉鎖林で林床面日射量が大きく異なるため、林床可燃物含水状態の変動特性と林野火災発生危険日の出現頻度が大きく異なることを指摘している。そのため、実運用を想定する場合は、現況の森林状況を反映することが必要である。よって、本業務で構築するシステムは、森林現況を反映するために、ESAが運用している光学衛星Sentinel-2に搭載されているMSI²(Multi Spectral Imager)センサで観測された各バンドから樹冠密度を算出し、樹種のデータと組み合わせて、相対日射率を算出するプロセスを取り入れた。表2.1に樹冠密度と樹種による相対日射率の区分を示す。

表2.1 樹冠密度と樹種による相対日射率の区分

²MSI:Sentinel-2に搭載されたセンサで、0.4~2.2 μm の光を13バンドで観測し、森林監視や土地被覆変化の検出、自然災害対策などの事業を支援するような観測を行うのに利用されている。

樹冠密度	樹種	相対日射率
50%以上	常緑樹	7%
	落葉樹	40%
	その他	100 - 樹冠密度 %
50%未満	常緑樹	20%
	落葉樹	40%
	その他	100 - 樹冠密度 %

樹冠密度と樹種のデータは、それぞれ10mメッシュの解像度を有している。本システムでは、全国の森林現況を反映し、気象データと組み合わせて数日先の林野火災発生危険度を予測する必要があるため、気象データの解像度と統一を行った。気象データは全国で5kmメッシュないし1kmメッシュの解像度を有している。図2.1に5kmメッシュの解像度の樹冠密度と1kmメッシュの解像度に空間内挿した樹冠密度を示す。

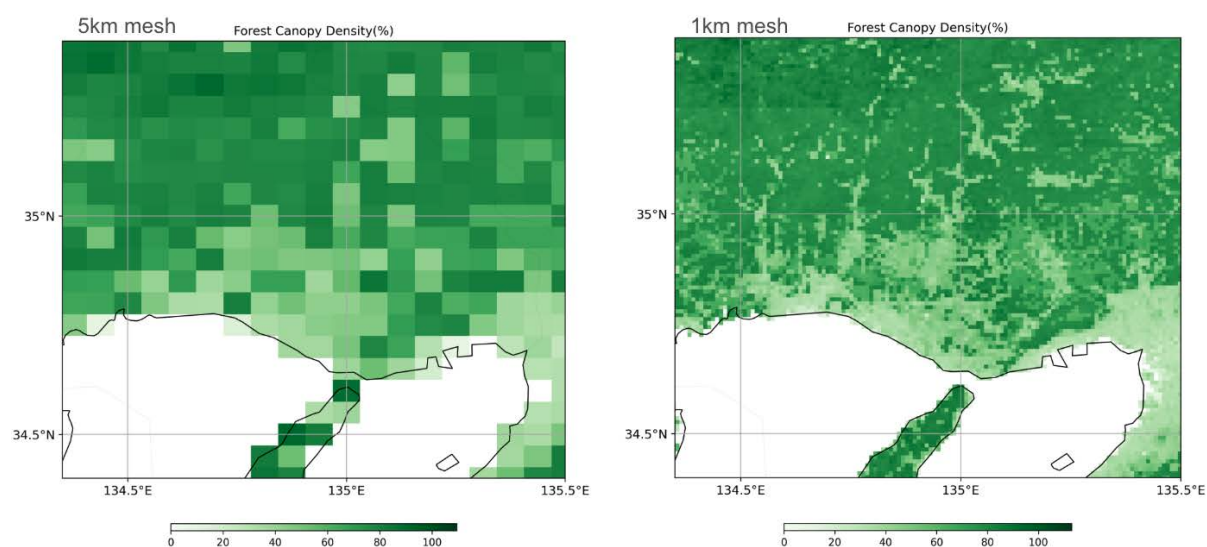


図2.2 樹冠密度

樹種のデータは、群落毎に、常緑樹、落葉樹、その他に分類を実施し、1kmメッシュに空間内挿を行い作成した。表2.2に群落毎の樹種区分分類を示す。

表2.2 群落毎の樹種区分分類

植生区分コード	群落コード	群落名	分類
01	I	寒帯・高山帯植生	その他
02	II	亜寒帯・亜高山帯自然植生	常緑樹
03	III	亜寒帯・亜高山帯代償植生	その他
04	IV	ブナクラス域自然植生	落葉樹
05	V	ブナクラス域代償植生	落葉樹
06	VI	ヤブツバキクラス域自然植生	常緑樹
07	VII	ヤブツバキクラス域代償植生	常緑樹
08	VIII	河辺・湿原・沼沢地・砂丘植生	その他
09	IX	植林地・耕作地植生	その他
10	X	その他	その他

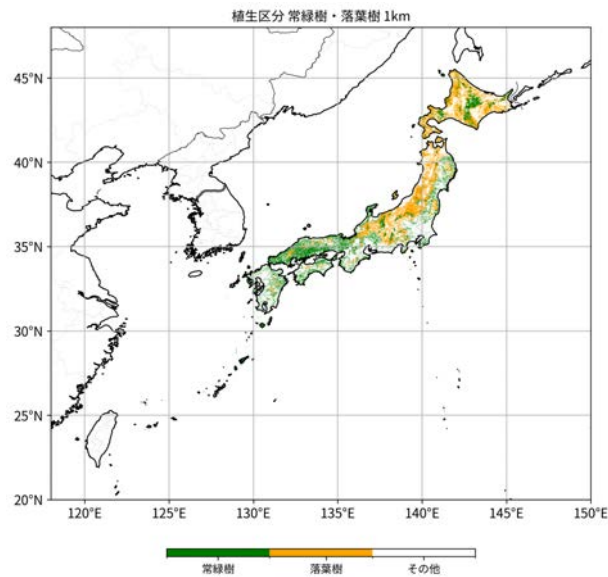


図2.3 樹種区分

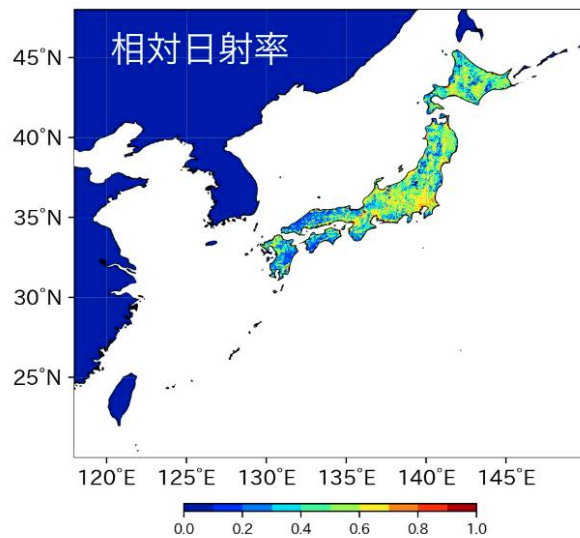
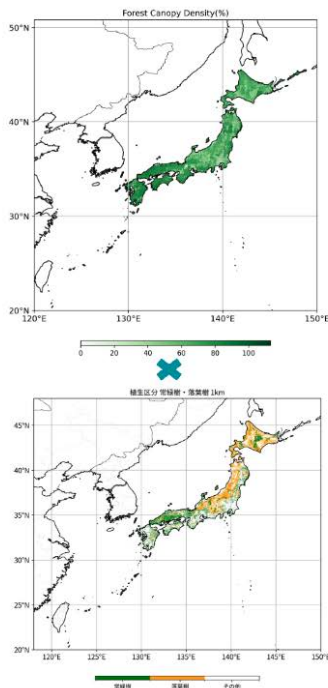


図2.4 相対日射率

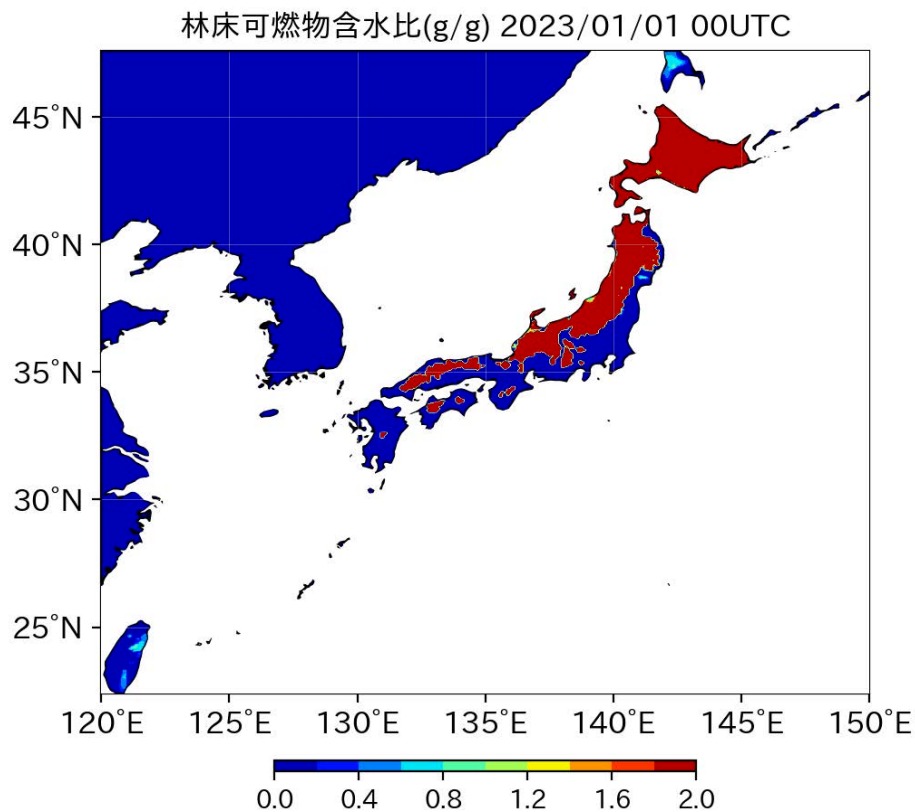


図2.5 林床可燃物含水比

2.2.2 林野火災延焼危険度

林野火災延焼危険度は、風による林野火災の延焼拡大を考慮するため、過年度の業務で取り入れた指標である。林野火災の延焼については、Rothermel (1972)^[2]によって開発された林野火災の延焼速度予測式で定式化されている。この予測式は林野火災や山火事の延焼速度予測モデルとして最も一般的に使用されているため、本システムでもこの予測式を用いて、延焼速度の算出を行った。Rothermelの延焼速度予測式を下記に示す。

$$R = \frac{\text{火線より放出される熱量}}{\text{可燃物の着火に必要な熱量}} = \frac{IR\xi(1+\phi W+\phi S)}{\rho b \epsilon Q_{ig}} \quad (2)$$

式(2)の各パラメータの一覧を表2.3に示す。

表2.3 Rothermel の延焼速度予測式のパラメータ

$I_R = \Gamma' w_n h \eta_M \eta_S$	燃焼による単位時間当たりの放出熱量(火炎輻射強度)	$\text{kJ min}^{-1} \text{m}^{-2}$
$\Gamma' = \Gamma'_{max} \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \right)^A \exp \left[A \left(1 - \frac{\beta}{\beta_{op}} \right) \right]$	理想熱分解速度(絶乾状態の α セルロースの熱分解速度)	min^{-1}
$\Gamma'_{max} = 168.28\sigma^{1.5}(495 + 9.9956\sigma^{1.5})^{-1}$	最大熱分解速度	min^{-1}
$\beta_{op} = 0.20395\sigma^{-0.8189}$	熱分解速度が最大となる時の β	—
$A = \frac{1}{6.7187\sigma^{0.1} - 7.27}$	定数	—
$\eta_M = 1 - 2.59 \frac{M_f}{M_x} + 5.11 \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^2 - 3.52 \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^3$	可燃物中の水分による熱分解速度減少係数	—
$\eta_S = 0.174S_e^{-0.19}$	可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数	—
$\xi = (192 + 7.9096\sigma)^{-1} \exp[(0.792 + 3.7597\sigma^{0.5})(\beta + 0.1)]$	隣接する可燃物の加熱に消費される放出熱量の割合	—
$\phi_W = C(196.85U)^B \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \right)^{-E}$	風による割増し係数	—
$C = 7.47 \exp(-0.87108\sigma^{0.55})$	定数	—
$B = 0.15988\sigma^{0.54}$	定数	—
$E = 0.715 \exp(-0.010942\sigma)$	定数	—
$w_n = \frac{w_o}{1 + S_T}$	可燃物中の有機物量	kg m^{-2}
$\phi_S = 5.275\beta^{-0.3}(\tan(\phi))^2$	傾斜による割増し係数	—
$\rho_b = \frac{w_0}{\delta}$	可燃物の堆積密度	kg m^{-3}

式	説明	単位
$\varepsilon = \exp\left(\frac{-4.5276}{\sigma}\right)$	炎によって着火温度まで加熱される可燃物の割合	—
$Q_{ig} = 581.42 + 2595.5M_f$	単位重量当たりの可燃物が着火するまでに必要な熱量	kJ kg^{-1}
$\beta = \frac{\rho_b}{\rho_p}$	可燃物の堆積密度と比重の比	—

式(2)から算出した、延焼速度と風速・斜面の傾斜角の関係を図2.6に示す。風速および傾斜が大きくなるほど延焼速度は大きくなることが示されている。これは風速が大きいほど火の粉が広がりやすく延焼域が広がること、傾斜が大きいほど火が上方に急激に拡がりやすくなることを表している。

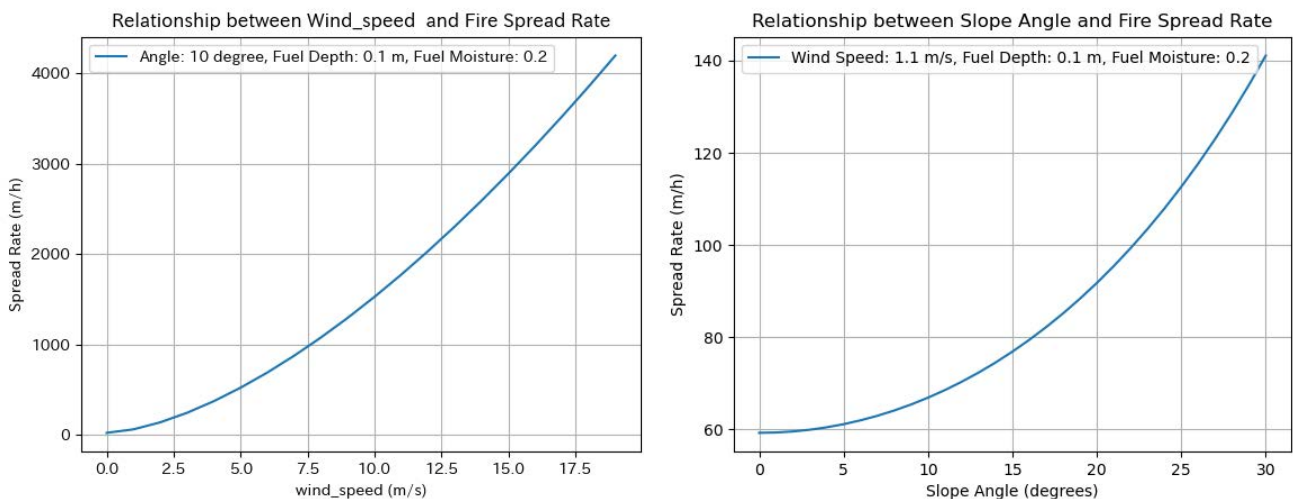


図2.6 Rothermelの延焼速予測式における風速(左)、傾斜角度(右)と延焼速度の関係

過年度で実施した検証結果から、危険度判定の閾値は400m/hを用いた。

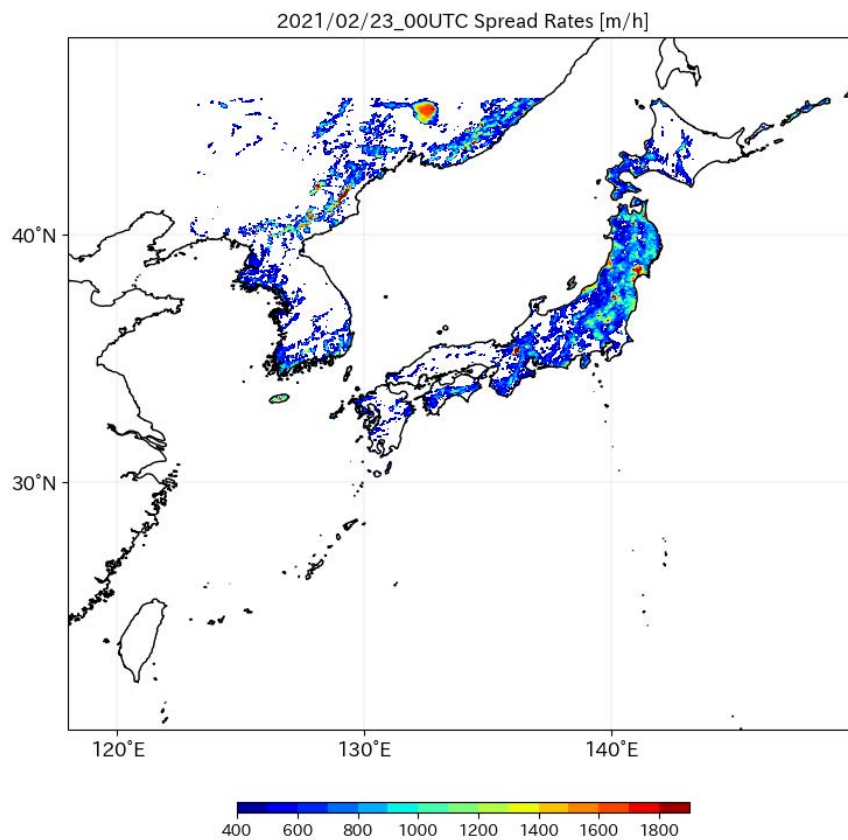


図2.7 日本時間 2021年2月23日9時の延焼速度の可視化(400m/h 以上のみ)

2.2.3人口密度による林野火災指標

森林火災の発生・拡大リスクは、人口密度と密接に関連している。林野庁ホームページ^[3]によると我が国の林野火災の原因は、割合の多い順に、焚き火(約32%)、火入れ(約18%)、放火(約8%)、タバコ(約5%)であり、人為的な原因が大半で、落雷など自然現象によるものは稀である。このため、人口密度より林野火災発生頻度、焼損面積を推定する式を作成・検証し、両者を掛け合わせた総合的な人口密度による林野火災指標の作成を行った。林野火災指標(k)の算出式を下記に示す。

$$k = y \times z \quad (3)$$

ここで y は人口密度による1年あたりの発生頻度を示し、 z は1件あたりの焼損面積を示す。前年度の調査結果から得た^[4]、人口密度 x から林野火災の発生頻度 y を求める算出式(4)と、人口密度 x から林野火災の焼損面積を求める算出式(5)を以下に示す。ここで x の単位は[人/km²]、 y の単位は[件/km²/年]、 z の単位は[km² /件]である。

$$y = \begin{cases} 0.0001 & \text{if } x < 1 \\ 0.0001 + 0.0001 \times (x - 1) / 1.5 & \text{if } 1 \leq x < 2.5 \\ 0.0002 + 0.0003 \times (x - 2.5) / 2.5 & \text{if } 2.5 \leq x < 5 \\ 0.0005 + 0.0005 \times (x - 5) / 5 & \text{if } 5 \leq x < 10 \\ 0.0010 + 0.0002 \times (x - 10) / 15 & \text{if } 10 \leq x < 25 \\ 0.0012 & \text{if } 25 \leq x < 50 \\ 0.0012 - 0.0004 \times (x - 50) / 30 & \text{if } 50 \leq x < 80 \\ 0.0008 - 0.0004 \times (x - 80) / 70 & \text{if } 80 \leq x < 150 \\ 0.0004 - 0.0002 \times (x - 150) / 350 & \text{if } 150 \leq x < 500 \\ 0.0002 & \text{if } x > 500 \end{cases} \quad (4)$$

$$z = \begin{cases} 2.0 & \text{if } x < 5 \\ 1.5 & \text{if } 5 \leq x < 10 \\ 1.2 & \text{if } 10 \leq x < 25 \\ 1.0 & \text{if } 25 \leq x < 50 \\ 0.8 & \text{if } 50 \leq x < 100 \\ 0.6 & \text{if } 100 \leq x < 250 \\ 0.5 & \text{if } x \geq 250 \end{cases} \quad (5)$$

単位面積 1km^2 の区域を考えたとき、年平均で y という頻度で林野火災が区域内に発生することが推測され、また発生した林野火災1件の焼損面積の目安は z である。加えて、発生地点が区域内の林野火災でも区域外まで焼損が広がる可能性がある。そういった可能性も含めて、 k の解釈として、林野火災1件の焼損面積の目安である z に頻度 y を乗じることによって、単位面積 1km^2 の区域内で発生した林野火災の年平均焼損面積の指標と見なすことができる。また、 k に都道府県の面積をかければ、都道府県の年平均総焼損面積の目安を算出することができる。

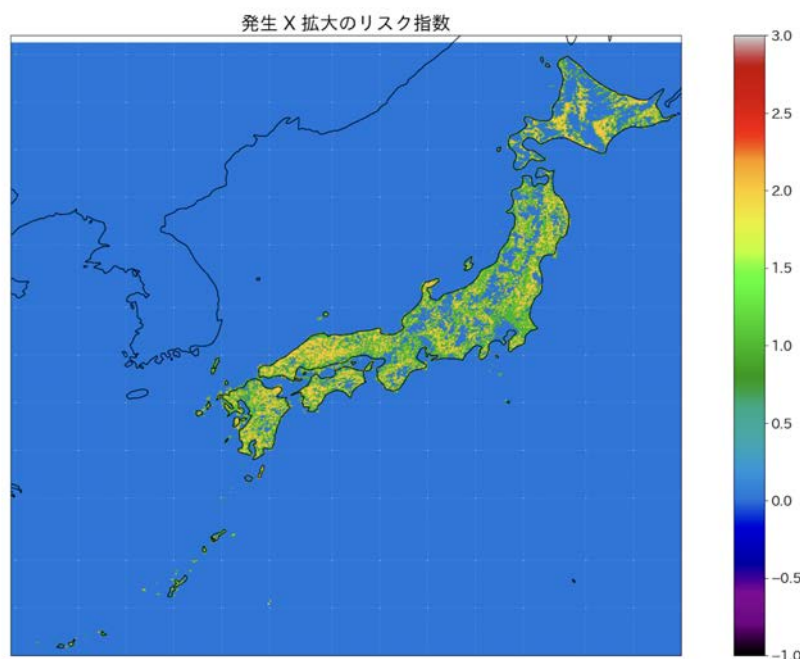


図2.8 人口密度から算出した林野火災指標

令和5年度林野火災発生危険度予測システム構築業務報告書の第5章に記載した林野火災指標である式(3)をもとに、人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度のインデックスも作成した。まず、空間解像度が 1km の格子において、各格子点で式(3)から導きだされる値 k を算出した後、隣り合った周囲の格子点も含めた9つの格子点の値 k のうち最大のものを当該格子点における林野火災指標の値とした(図2.9)。理由は、比較的至近距離に林野火災の発生・拡大の危険度の高い地域がある場合、当該地点もその影響を受けると想定したためである。

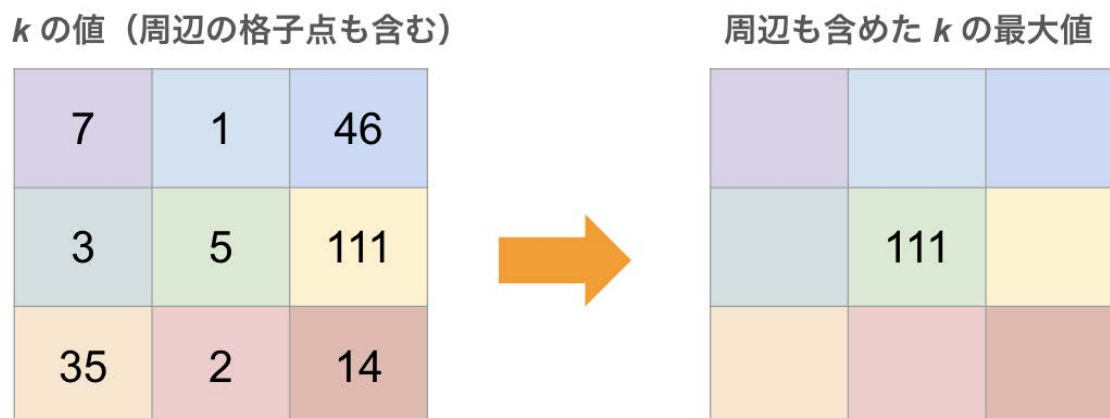


図2.9 隣接する格子点も含む k の最大値を当該地点の林野火災指標の値とする

林床可燃物含水比や風速は日々変化するものであり、ある一定の閾値を決め、その閾値を超過するかどうか予測をすることによって危険度を日々判断できるのに対し、人口密度は気象条件によって変化するものではない。人口密度の場合、危険と言える閾値は明確には存在しない。よって前者のように閾値を超過しているかいないかの二項対立で考えるのではなく、人口密度の影響については危険度を3種類かそれ以上に分類するのがより良いと思われる。本業務では、人口密度のみを考慮した林野火災指標の値をもとに、人口密度から類推される林野火災の発生・拡大の危険度を次のように3種類に分類した。

値が 2.0×10^{-4} 以下 → 危険度: 低

値が 2.0×10^{-4} より大きく 1.25×10^{-3} 以下 → 危険度: 中

値が 1.25×10^{-3} より大きい → 危険度: 高

第3章 林野火災発生危険度予測システムの検証

3.1 大規模林野火災の事例検証

本業務で構築したシステムが有効であるかを確かめるため、過去数年で実際に発生した林野火災において、林野火災発生危険度予測システムでそれぞれ危険度が判定できたかどうか検証を実施した。林野火災事例は林野庁が取りまとめている林野火災発生情報^[5]から2事例を選定した(表3.1)。

表3.1 選定した林野火災発生事例

出火場所	日時		出火原因	焼損面積 (ha)			計
	出火	鎮火		民有林	国有林	原野等	
栃木県足利市	2021年 2月21日	2021年 3月15日	たばこに原因する ものと推定	167.12	-	-	167.12
長野県諏訪市・ 茅野市	2023年 5月4日	2023年 5月5日	不明	166.25	-	-	166.25

3.1.1 栃木県足利市の事例

2021年2月21日に栃木県足利市で発生した林野火災は約167ヘクタールを焼失させた。足利市が発表している記録^[6]によると、2021年2月21日午後、足利市西宮町の両崖山の山頂付近から林野火災が発生し、2月23日に強風によって延焼範囲が拡大、県内外の消防局・本部や他都県の防災ヘリ、自衛隊ヘリなどの応援を得て発生23日目の3月15日に鎮火した。この林野火災により、一時は市内の305世帯に避難勧告が発令され、近くの中学校や高校が休校したほか、北関東自動車道足利インターチェンジから太田桐生インターチェンジ間が通行止めとなった。足利市に隣接する佐野市の観測(アメダス佐野)では、2月23日の日平均風速は5.3メートルに達し、2月の平年値2.4メートルを上回り、最大瞬間風速は17.3メートルであった。この強風に煽られて火は燃え広がり延焼が拡大したと考えられる。

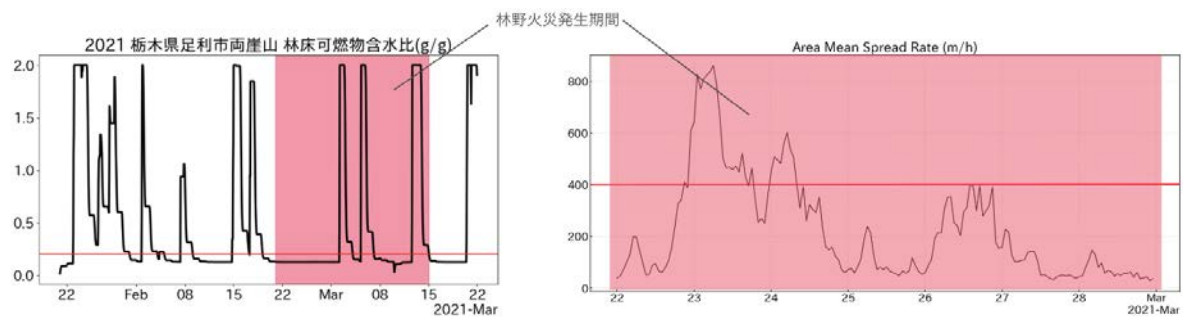


図3.1 栃木県足利市の林床可燃物含水比と延焼速度

足利市では、2月20日頃から林床可燃物含水比が基準以下の日が続いており、林野火災のあった2月21日～3月15日にかけても同様に乾燥している状態であった。解析対象期間である1月22日～3月21日において、林床可燃物含水比が基準値以下の日は41日間であり、68%が林野火災発生危険日であったことが示された(図3.1)。また、林野火災が発生後、2月22日の午前中は風速1～3m/s(延焼速度200m/h未満)であったものが、午後遅くより風速4m/s以上となり、23日未明には最大風速7m/s(延焼速度861m/h)となり、その後、2月23日夜には風速3m/s(延焼速度300m/h程度)まで徐々に弱まっていた。

発火地点は両崖山の山頂付近とされているが、当該地点における林野火災指標の値は 1.2×10^{-3} であった。2章で決定した分類に照らし合わせると、中程度の危険度であり、人口密度から潜在的な林野火災の危険度を示すことができていた(図3.2)。

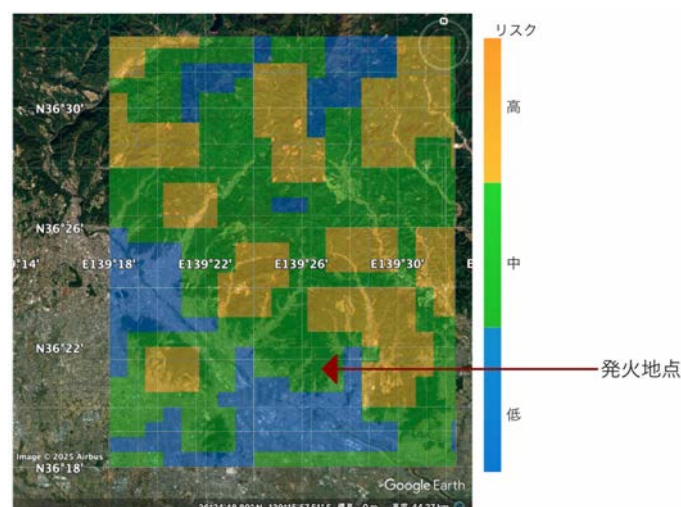


図3.2 栃木県足利市周辺の人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度

3.1.2 長野県霧ヶ峰高原の事例

2023年5月に長野県霧ヶ峰高原で発生した林野火災が発生し、周辺の草原や山の斜面など約170ヘクタールを焼失させた。

発火地点であるガボッチョ山の山頂付近^[7]では、4月後半から5月前半にかけ降水が少なく、断続的に乾燥している状態が続いており、林野火災のあった5月4日～5月5日にかけても同様に乾燥している状態であった。解析対象期間である4月21日～5月21日において、林床可燃物含水比が基準値以下の日は23日間であり、解析期間中の76%が林野火災発生危険日であった。

ガボッチョ山は標高1682mの山であり、期間中断続的に風が強い状態であった。林野火災が発生した4日～5日においては、最大で延焼速度520m/hと推定され、これによって延焼が進んだものと思われる。よって、林野火災発生後に延焼の危険度を判定できていたことが示された(図3.3)。

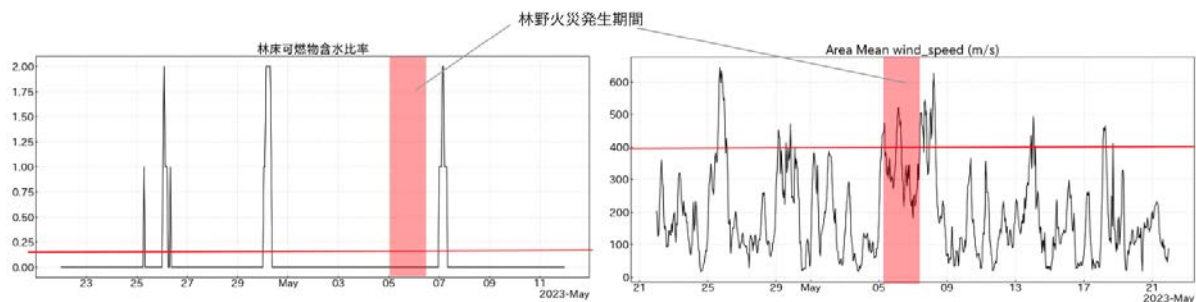


図3.3 長野県霧ヶ峰高原の林床可燃物含水比と延焼速度

発火地点であるガボッチョ山の山頂付近当における人口による林野火災指標の値は 1.43×10^{-3} であり、2章で決定した分類と照らし合わせると高めの危険度であった(図3.4)。

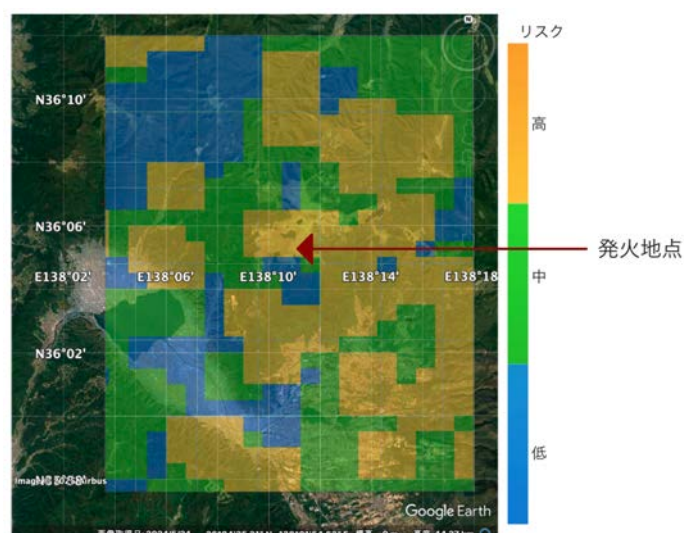


図3.4 長野県霧ヶ峰高原周辺の人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度

検証結果をまとめたものを表3.2に示す。両事例とも、林野火災発生危険度、延焼危険度、人口による林野火災危険度において判定できており、有効性が示された。

表3.2 林野火災事例の検証まとめ

	発生日に対し林野 火災発生危険日と して判定できたか	発生日に対し林野 火災発生危険日と して判定できたか	林野火災発生危険日の 割合	林野火災延焼危険日の 割合	人口による林 野火災危険度
栃木県足利市	○	○	68% (41日/60日)	8% (5日/60日)	中
長野県諏訪市・ 茅野市	○	○	76% (23日/30日)	20% (6日/30日)	高

3.2 人口密度による林野火災危険度の検証

人口密度による林野火災危険度が全国的にどのような分布であるかの検証を行った。人口密度は2020年時点のデータを用いており、時間経過によって変化するものではなく、人口密度による林野火災危険度も同様に時間経過で変化しない性質のデータとなる。

3.2.1 大阪平野、濃尾平野、石狩平野の分布

大阪平野の周辺地域の人口密度による危険度の分布を見ると、市街地や住宅街など人口の多い平野部は林野火災の危険度が少なめで、生駒山地や金剛山地は危険度が中程度以上となっていた(図3.5)。人口の多い平野部は森林が少なく林野火災の危険度が少ないこと、人が入りやすい比較的標高が低い山地は森林が多く火災の原因も発生しやすいこと、といった危険度を上手く表現できていることが分かる。

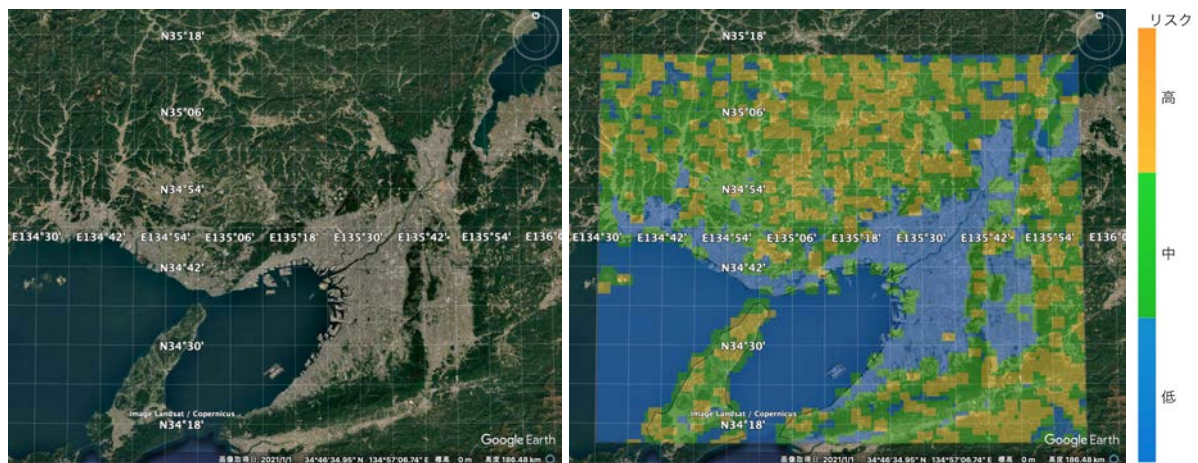


図3.5 大阪平野周辺の人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度

濃尾平野の周辺地域の人口密度による危険度のマップを見ると、市街地・住宅地域など人口の多い平野部は林野火災の危険度が低く、鈴鹿山脈の麓の付近は危険度が中以上であった(図3.6)。ただし、鈴鹿山脈の中心部は危険度が低めとなっているのは、人口密度が低いためであると考えられる。市街地・住宅地域と、逆に、山の奥深く、あまり人が入らない地域のどちらも危険度が低めであり、両方の特徴を上手く表現できていることが分かる。

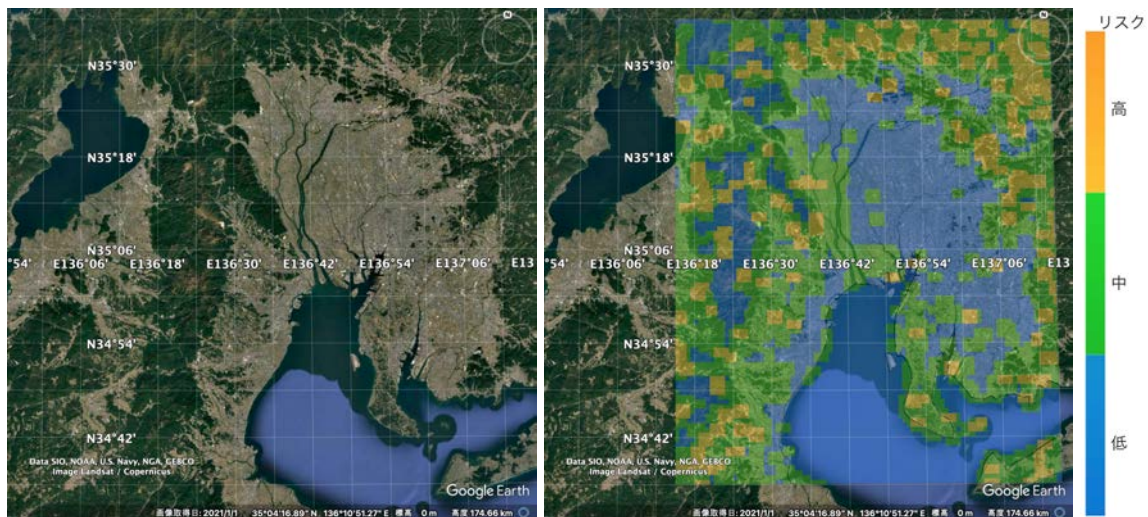


図3.6 濃尾平野周辺の人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度

一方、石狩平野を見ると、平野の中部から北部にかけての田園地帯の危険度が中以上となっている(図3.7)。人口密度のみで指標を作る場合、森林と田畑の区別ができないので田園地帯も危険度が中以上の判定になりやすい。本業務で作成した指標では、田園地帯での野焼きによる火災の危険も含まれると考えることができるが、この算出方法では同じ人口密度で森林と田園地帯で火災発生の危険度が同じであり、また、季節による危険度の変化も考慮していない。よって、季節によっては水田地帯を「低め」の危険度に分類するなどの工夫をすること、同じ人口密度でも森林と田園地帯で火災発生の危険度に違いをつけること、などが今後の課題である。

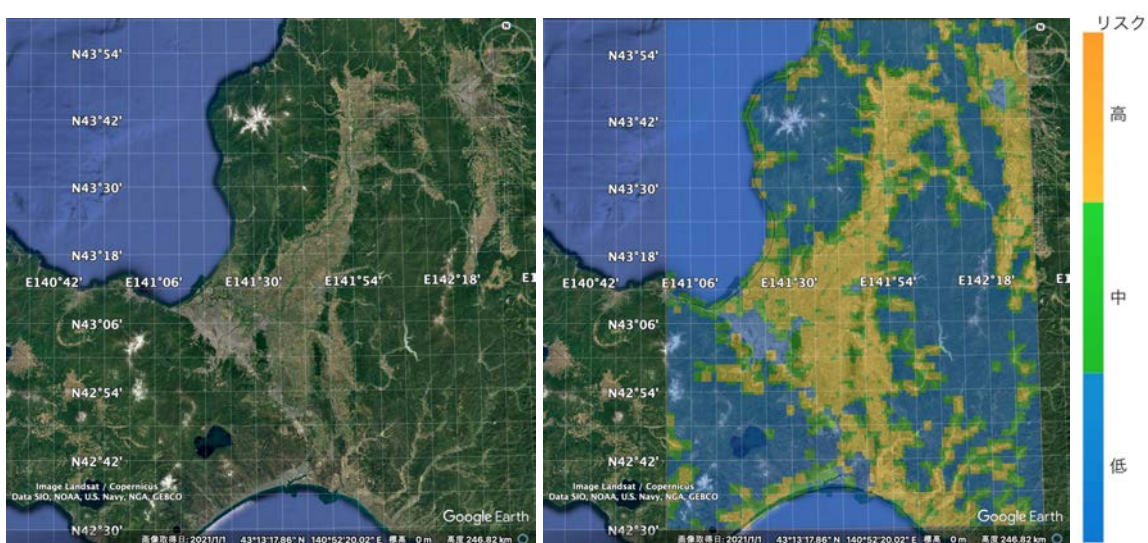


図3.7 石狩平野周辺の人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度

3.2.2 空間解像度について

3.1で検証した事例では、空間解像度が1kmの格子を用いたが、空間解像度が5kmの格子を用いた場合との比較も行った(図3.8)。空間解像度が5kmの格子を用いた場合と1kmの格子を用いた場合の違いの1つに、山間の道路の周辺における林野火災発生危険度の識別能力の違いがある。山間の道路周辺には住宅が点在しているので、空間解像度が1kmの格子の場合、山間の道路周辺の人口密度はしばしば中程度以上の危険度となった。空間解像度が5kmの格子の場合、山間の道路周辺と人が住んでいない山間部の違いを十分解像できないケースが目立った。よって、森林での火災の危険度を表現するには空間解像度が1kmの格子を用いたほうがより良いことがわかった。

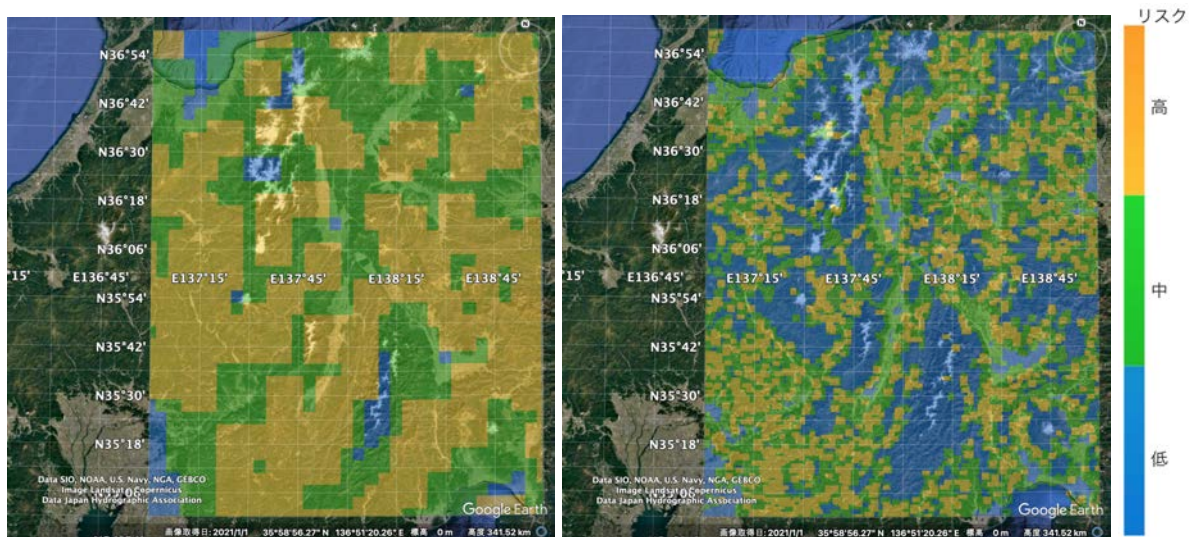


図3.8 山間部の人口密度のみを考慮した林野火災の発生・拡大の危険度

3.2.3 人口密度のみを考慮した林野火災指標の結論

人口密度のみを考慮した林野火災指標も、調査した2つの大規模火災の事例ではいずれも中以上の危険度があり、危険性の察知に有用であることがわかった。市街地や住宅街などは林野火災の危険度が少なく、山の麓で危険度が高く、人の入らない山奥で林野火災の危険度が低い傾向も見てとれた。山間の道路周辺における林野火災危険度の認識にも一定の能力があることがわかった。田園地帯における火災と人口密度の関係性の把握については今後の課題であるものの、全体的には、より危険性のある地域を認識する上で有用な指標であることが示された。

第4章 事業成果の取りまとめと普及方策の提案

4.1 事業成果の取りまとめ

広く一般に普及するため、本業務で構築したシステムの概要を普及資料として取りまとめ、作成を行った。普及資料では、システムに必要なデータや、計算ロジックを記載し、運用する際の注意点の記載も行った。図4.1に普及資料の一部を示す。普及資料全体は別紙1に記載する。



図4.1 普及資料

また、普及資料に記載されている内容をもとに、弊社が林野火災発生危険度予測システムを運用することを想定し、試行的に構築・運用を行った。

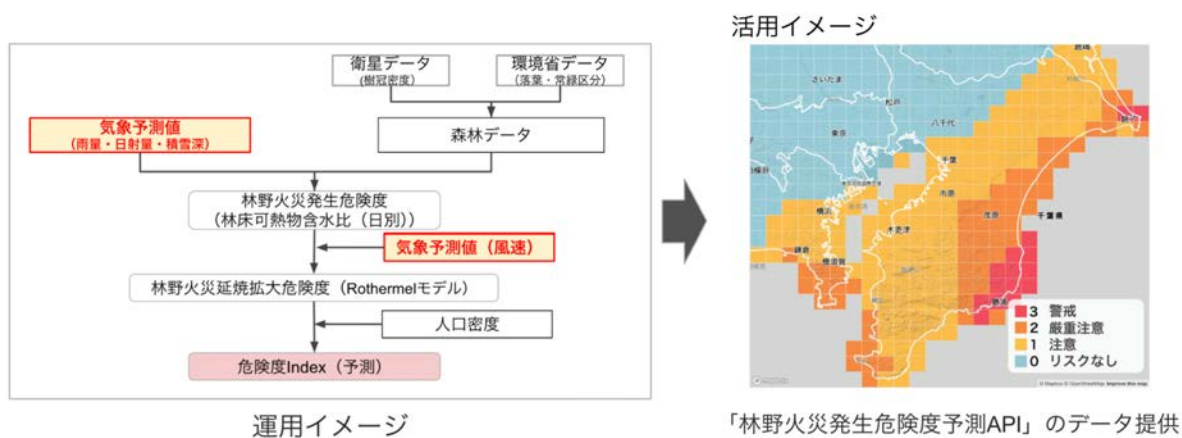


図4.2 運用イメージ

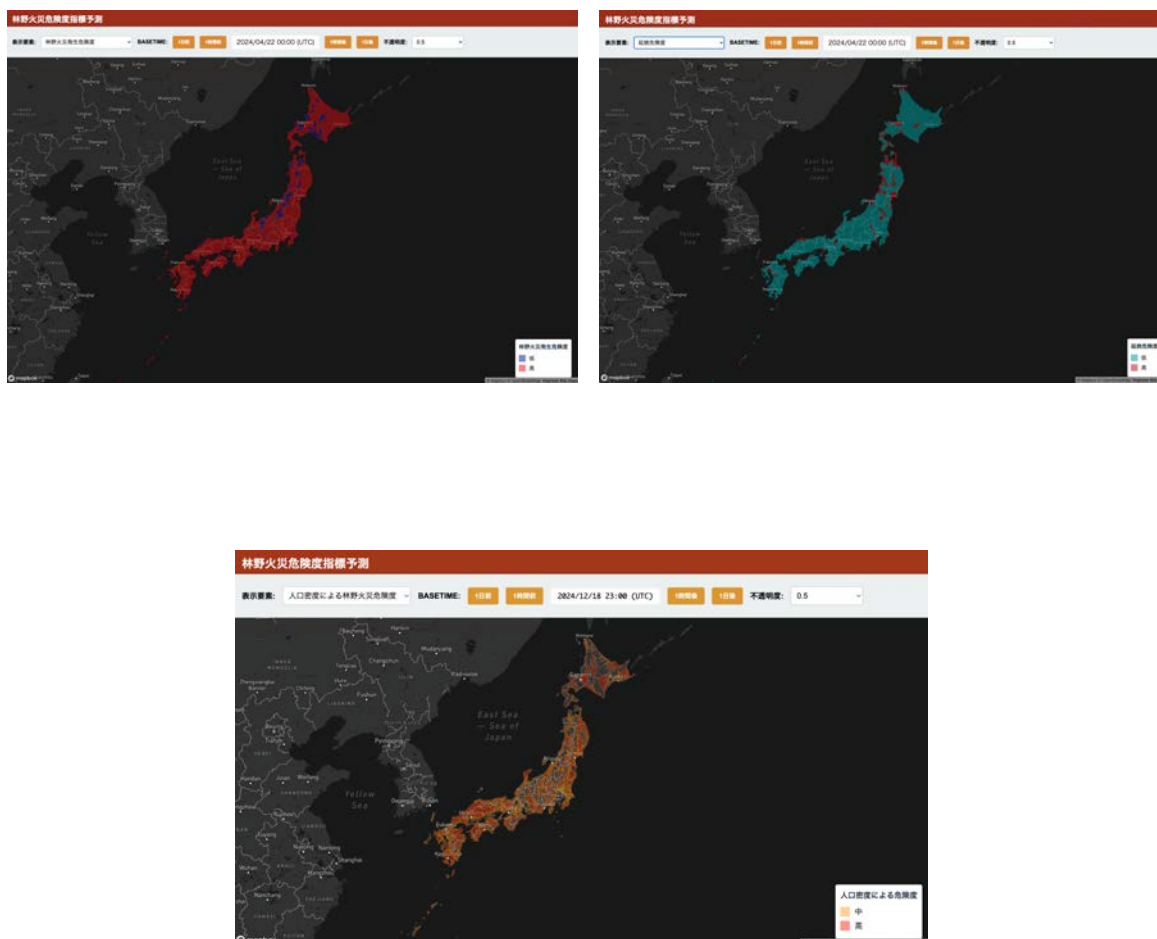


図4.3 本業務で構築した林野火災発生危険度予測システムの表示画面

4.2 普及方策・活用事例の提案

本業務で構築した林野火災発生危険度について、一般に広く普及させるため、以下の情報提供手法の導入などが考えられる。

火災リスクの早期警戒:

事前に危険度を把握し、適切な防災対応を実施可能。

気象条件や森林状況の変化をリアルタイムで監視し、火災リスクが高まる兆候を早期に検出。

指定地域の火災リスクレベルを段階的に評価し、関係機関へ迅速に通知。

防災・消防機関の支援:

林野火災発生危険度マップを活用し、効率的な火災対策を立案。

火災発生の可能性が高い地域に対し、予防的な消火活動や防火帯の設置を推奨。

消防機関向けに、最適な消防資源の配置計画を支援するデータ提供を実施。

火災発生時の対応を迅速化するため、緊急時の避難経路や火災の進行予測を提示する。

一般市民の防災意識向上:

手軽に火災リスクを確認し、予防行動を促進。

一般向けのスマートフォンアプリ(図4.4)やWebダッシュボードを提供し、リアルタイムでのリスク情報の配信を行う。

火災リスクの上昇に応じた適切な防火対策を市民に啓発し、自主的な火災予防の意識を高める。

過去の火災事例をデータベース化し、市民が火災リスクの高いエリアを学習できる仕組みを導入する。



図4.4 一般向けスマートフォンアプリの例:ウェザーニュースアプリ

第5章 まとめと今後の展望

本業務の目的は、林野火災発生危険度予測システムを開発し、その情報を広く普及させることである。具体的には、以下の点を達成することを目指して構築を行った。

- ①最新の気象データと森林情報を統合し、地域ごとの火災発生・延焼リスクをリアルタイムで予測する。
- ②危険度予測を可視化し、一般市民や行政機関に分かりやすい形で提供する。
- ③防災対策の強化に貢献し、林野火災の被害を軽減する。

本業務においては、①の予測システムの構築を達成し、②の一般市民や行政機関にわかりやすく提供する際の提案までを行った。今後は、実際に一般市民や行政機関に提供し、防災対策の強化に貢献し、林野火災の被害の軽減に貢献していきたい。

【参考文献】

- [1]玉井幸治・吉藤奈津子・高橋正義・勝島隆史・後藤義明(2019), 林床可燃物含水状態の推定モデルによる森林林野火災発生危険日出現日数の算出, 水利科学62巻6号,p.84-98
- [2]Rothermel, R.C. (1972) A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115 : 1-40
- [3]林野庁 原因別出火件数(平成29年～令和3年の平均)
(https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/yamakaji/con_3.htm)
- [4]林野庁 林野火災発生危険度予測システム構築業務, 令和5年度林野火災発生危険度予測システム構築業務報告書, p33-34
(https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/yamakaji/attach/pdf/con_7-2.pdf)
- [5]林野火災発生情報(林野庁)
(https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/yamakaji/con_5.htm)
- [6]災害記録誌「足利市西宮林野火災の記録～火災の概況と本市等の対応～」
(<https://www.cityv.ashikaga.tochigi.jp/manage/contents/upload/633fc645d8380.pdf>)
- [7]「何度あきらめたか」店に火が迫る…霧ヶ峰の山火事から1週間 目撃者「いきなり火の手、人の姿なかった」, 2023-05-12, FNNプライムオンライン
(<https://www.fnn.jp/articles/-/527188?display=full>)