

令和4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5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 本年度の実施内容と主な成果	3
1.3 本業務の実施体制	5
1.4 実施スケジュール	7
第2章 林野火災発生危険度予測システムの構築	7
2.1 システム構成	7
2.2 入力データ	9
2.3 出力データ	15
第3章 林野火災発生危険度の検証	16
3.1 大規模林野火災の事例検証	16
3.1.1 福岡県北九州市の事例	16
3.1.2 栃木県足利市の事例	17
3.1.3 群馬県みどり市の事例	17
3.1.4 北海道川上郡標茶町の事例	17
3.2 一定地域内で発生した林野火災に対する事例検証	20
3.2.1 兵庫県神戸市の事例	20
3.2.2 兵庫県姫路市の事例	22
3.3 検証結果のまとめ	24
第4章 システム実用化に向けた課題の整理	25
第5章 まとめ	29
【参考文献】	30

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、我が国の森林は急傾斜で林道等の到達アクセスが貧弱であり、消防水利が未整備である場合が殆どである。このため、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。

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。令和4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、これらの課題の解決のため、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。

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36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。

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。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林野火災発生の危険度判定アルゴリズムの検討

林野火災発生危険度予測システムで使用する危険度判定アルゴリズムは、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含水比が0.2g/g以下になる時期を日射量と降水量から求めるものを採用した。

③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。気象データについては、ウェザーニューズの1kmメッシュの解析雨量および解析日射量を利用することで対象森林において必要な日射量および降水量のデータの把握が可能なため、解析日射量および解析雨量のデータを利用する。また、1日先までの予測はウェザーニューズの予測モデルによる独自の予測データを用いることとする。樹種については環境省が発表している植生図の最新版を用いる。また、樹冠密度については、欧州宇宙機関(EESA:European Space Agency)が保有している光学衛星のSentinel-2¹から推定を行う。

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。

表1 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
降水量予測	ウェザーニューズが所有する予測モデルによる予測値	ウェザーニューズ	5 kmメッシュ	1時間
日射量予測	ウェザーニューズが所有する予測モデルによる予測値	ウェザーニューズ	5 kmメッシュ	1時間

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:European Space Agency)	10m
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

④アルゴリズムに基づくプログラム構築と過去の火災事例を活用した検証

過去の火災事例を数事例選定し、林野火災発生日、未発生日と比較して以下の1)、2)を実施し、精度を検証した。

1)発生日に対し事前に林野火災発生危険日(日最大林床可熱物含水比0.2g/g以下)として判定できるかを検証する。

2)未発生日に対して日最大林床可熱物含水比0.2g/g以下の日数を検証する。

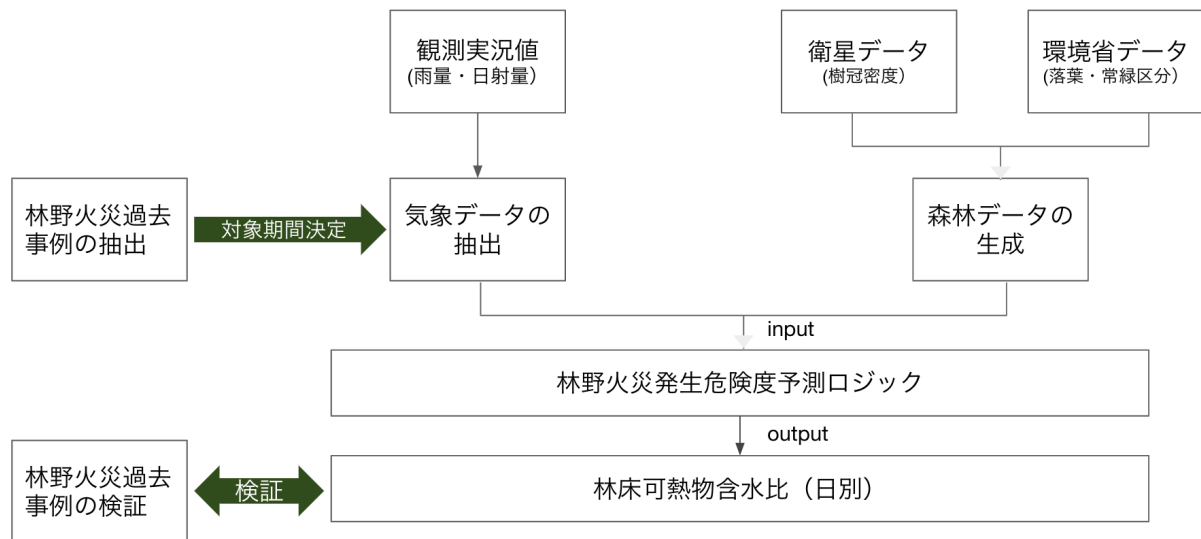


図1 検証フロー概略図

⑤システム実用化に向けた課題の整理

林野火災発生危険度予測システムを実用化する上での課題を抽出し、整理した。また、予測結果の効果的な周知方法や持続的な林野火災発生危険度予測システムの運用の形態等についても、本業務で明らかになった範囲をとりまとめた。

1.3 本業務の実施体制

本業務は、株式会社ウェザーニューズに所属する管理者、技師A、技術員で構成されるプロジェクトメンバーで実施した。

表2 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	日置江 桂	管理監督者
担当者	技師A	吉川 真由子	森林データ解析 樹種判定・樹冠密度算出 システム運用化に向けた課題の検討
担当者	技術員	奥山 尚範	アルゴリズムとデータの検討および選定 林野火災発生危険度判定予測作成・検証
担当者	技術員	杉山 紀元	アルゴリズムとデータの検討および選定 林野火災発生危険度判定予測作成・検証

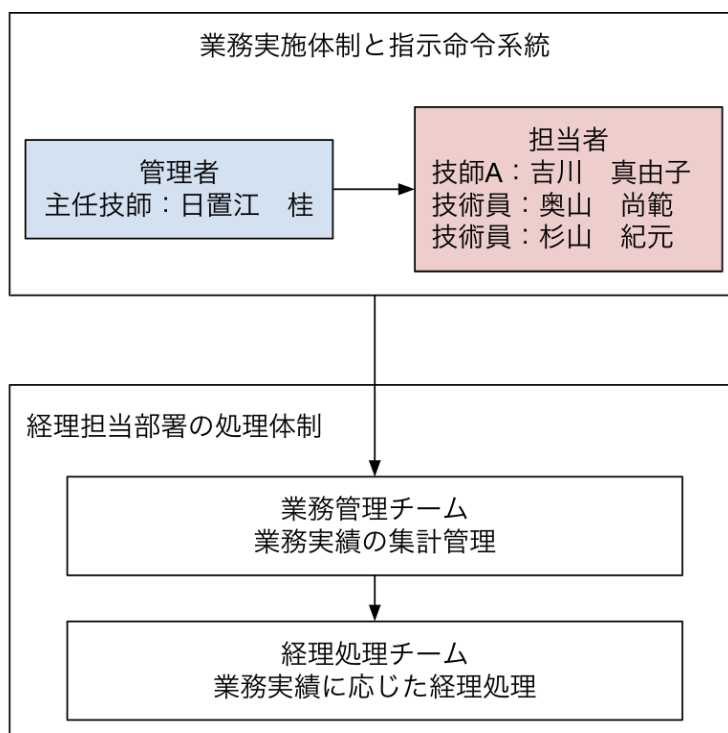


図2 業務実施体制と指示命令系統

1.4 実施スケジュール

本業務の作業計画概要を表3に示す。

表3 作業計画概要

項目	7月				8月				9月				10月				11月				12月				1月			
	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
契約締結																												
委員会(開始時と終了時に実施)																												
1.樹種・樹冠密度の推定																												
1-1.過去5年分の衛星データの収集 sentinel-2 を使って、月ごとの平均樹冠密度を推定する																												
1-2.0-1で算出した結果を5年平均して、最終的な月ごとの樹冠密度MAPを作成する																												
2.林野火災発生の危険度判定アルゴリズムの検討																												
3.予測に使用するデータの検討と選定																												
4.アルゴリズムに基づくプログラム構築と過去の火災事例を活用した検証																												
4-1.樹冠密度別の林野火災発生の危険度判定予測作成																												
4-2.樹冠密度別の林野火災発生の危険度判定予測の検証																												
5.システム実用化等に向けた課題の整理																												
6.報告書作成																												
7.報告書提出,完了																												

第2章 林野火災発生危険度予測システムの構築

2.1 システム構成

林野火災の発生危険度に関しては、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する。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)式によって算出する。

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

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

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)

小林ら(1991)^[2]は、林床可燃物の含水量を乾燥重量で割った値である含水比が0.2g/g以上では、燃焼しないことを実験結果から報告している。このことから、本業務においては、林床可燃物含水比の危険度判定の閾値を仮に0.2g/gとして設定し、実運用する上で適当であるか検証を実施する。

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4 樹冠密度と樹種による相対日射率の区分

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 %

²MSI:Sentinel-2に搭載されたセンサで、0.4～2.2 μ m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。

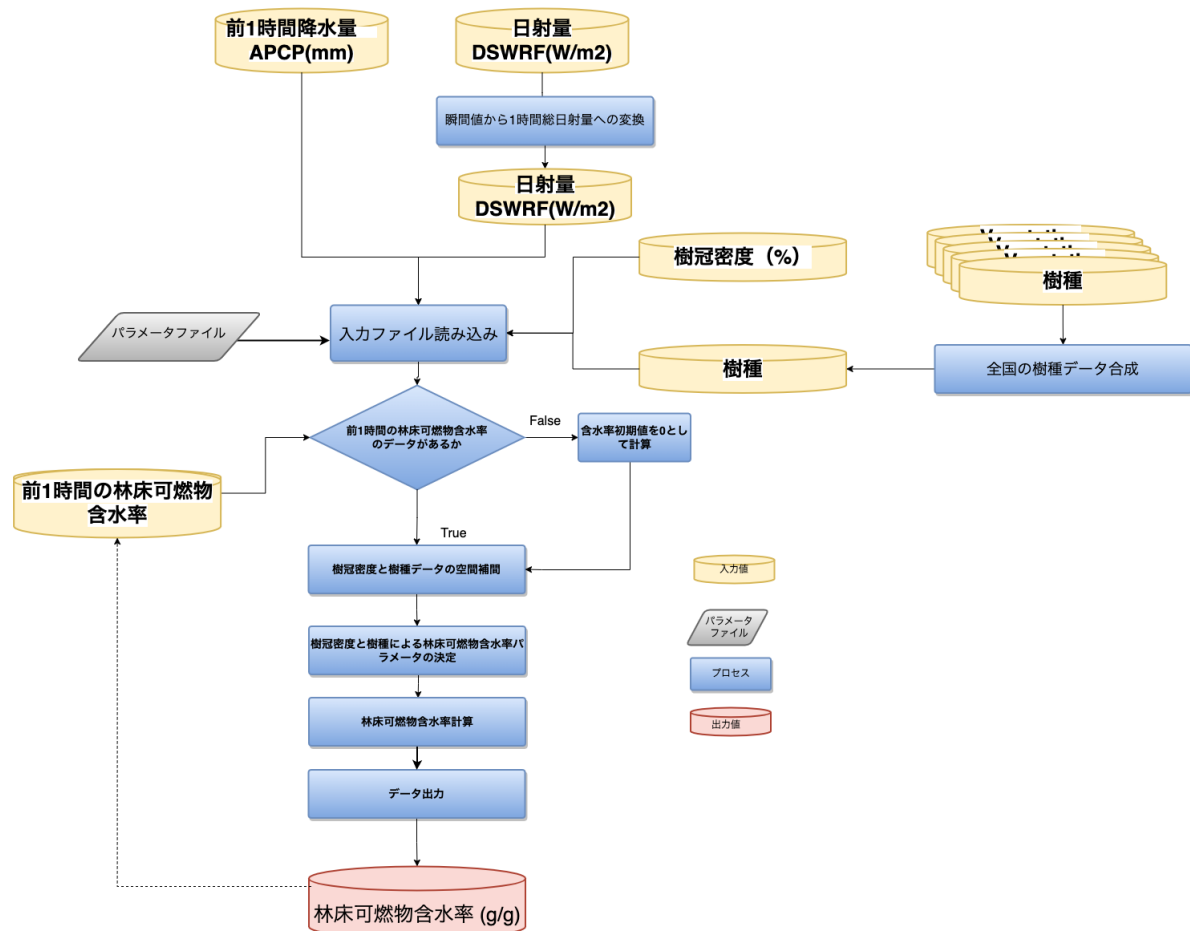


図3 林野火災発生危険度予測システムの仕様概要

2.2 入力データ

①気象(日射量、降水量)データ

使用する日射量と降水量のデータについては、ウェザーニューズが保有する、日射量、降水量のデータを用いた。本業務で使用するアルゴリズムでは、1時間毎の総雨量、総日射量が必要である。ウェザーニューズが保有する日射量の実況解析データは単位面積あたりの瞬間値(W/m²)であるため、その瞬間値から60分間平均を求め、それを1時間の合計することで1時間の総日射量(WJ/m²)を算出した。

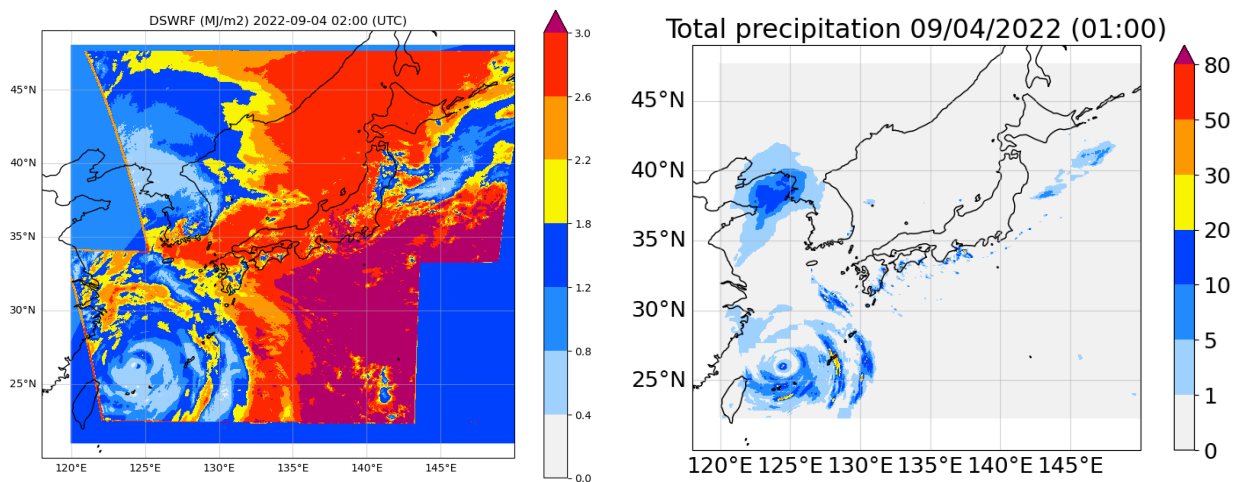


図4 使用した気象データ。日射量(左)と1時間降水量(右)

②樹冠密度データ

林床可燃物含水比は、降水による水分の浸透・貯蔵量と、日射などによる水分の蒸発散量から算出することができる。単位面積あたりの土壌に入る日射量は、全天日射量と樹冠密度によって算出することができるものと考えられる。なお、樹冠密度とは林冠(林冠内の個々の樹木が相接して連続したもの)の混み具合を表す尺度である。本業務では、Sentinel-2/MSIの各バンドのデータを用いて樹冠密度を月毎に算出した。

樹冠密度の算出は、Rikimaru, A. (1996)^[3]が用いた方法を採用し、MSIセンサの各バンドから算出したAVI³(Advanced Vegetation Index)、BI⁴(Bare soil Index)、SSI⁵(Scaled Shadow Index)、VD⁶(Vegetation Density)、FCD⁷(Forest Canopy Density)を組み合わせ算出した(図7)。算出に用いたデータは2019年～2022年、Sentinel-2のデータの前処理として、雲や雪が入っているピクセルを除去するため、雪・雲のマスキング処理を行った(図8)。

これらの処理は、Google Earth Engine APIを使用して行った。Google Earth Engineは、地球観測衛星が取得したデータや画像の分析ができる、オンラインのプラットフォームのことで、1.クラウドベースなので、大規模なストレージを必要としない、2.膨大な衛星データがすでに用意されているため、データ取得のための専用ソフトがいらない

³AVI:植物の状態を示す植生指数の一つで、時間の経過に伴う作物や森林の変化を研究するために使用される。

⁴BI:露出土壌指数。植生指数と露出土壌指数の両方を組み合わせることにより、高植生状態から露出した土壌状態までの連続体で森林地の状態を評価できる。

⁵SSI:0-100にスケールされた、植生の立体構造によって生じる影の割合を、光の波長特性から推定した影指標。

⁶VD:植生の疎密度を表す指標。

⁷FCD:樹冠の疎密度を表す指標。

いなどの特徴があり、データの分析に対しての大幅な時間短縮が可能である。

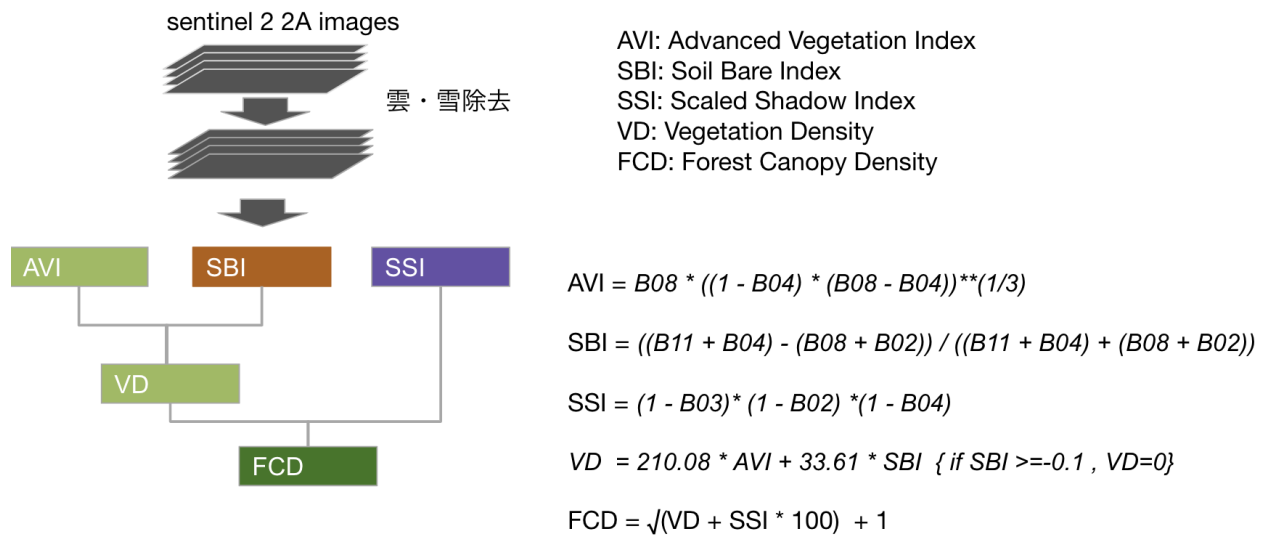


図5 樹冠密度作成フロー

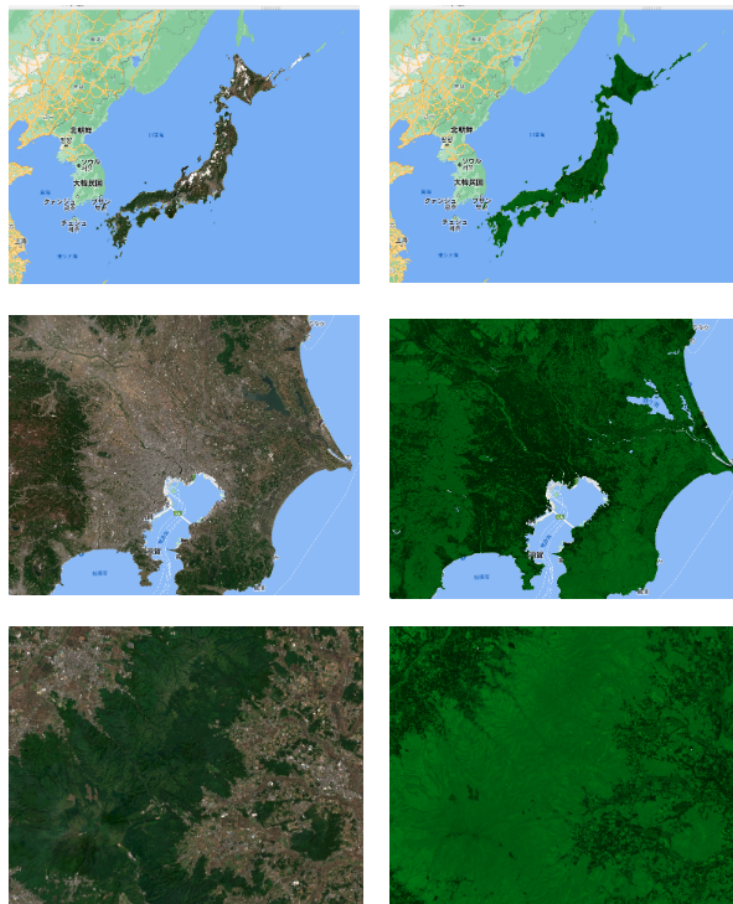


図6 可視画像(左)と樹冠密度(右)

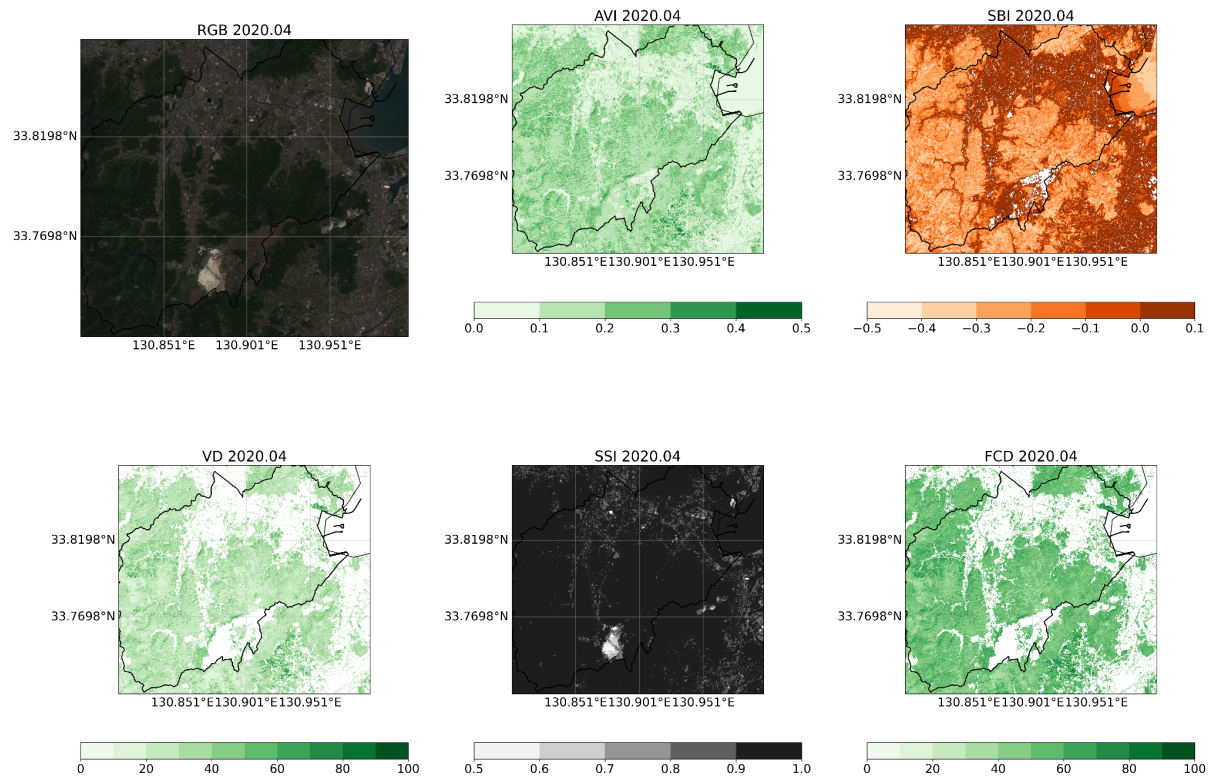


図7 MSIセンサの合成可視画像とAVI,SBI,VD,SSI,FCD

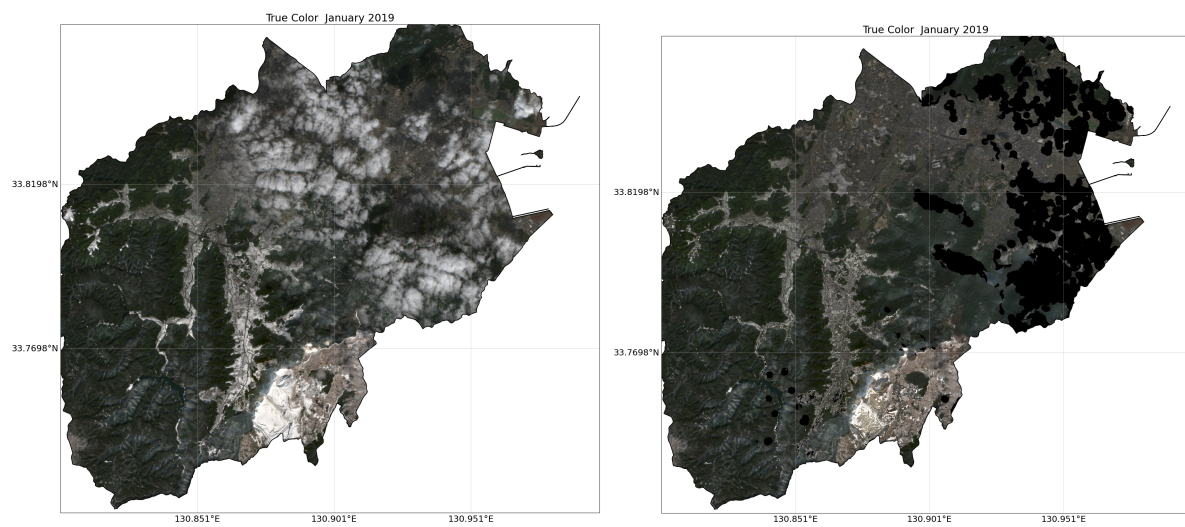


図8 雲・雪マスク処理前(左)と処理後(右)
処理後の図は、雲・雪の影響が取り除かれていることがわかる

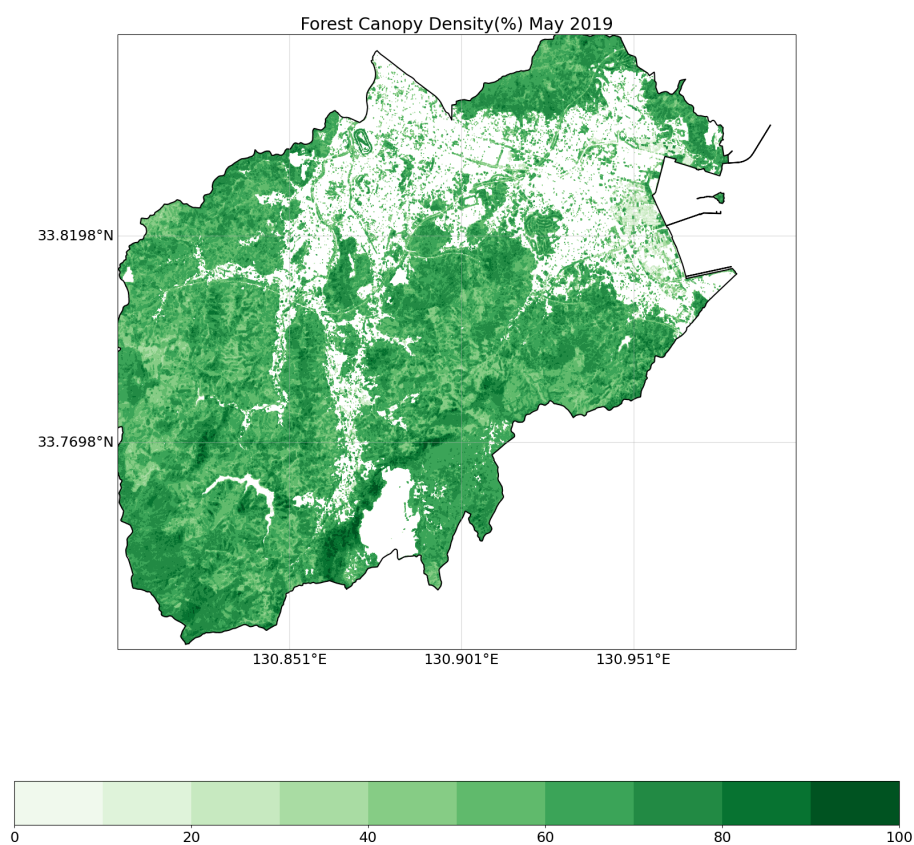


図9 本業務で作成した2019年5月北九州市の樹冠密度分布

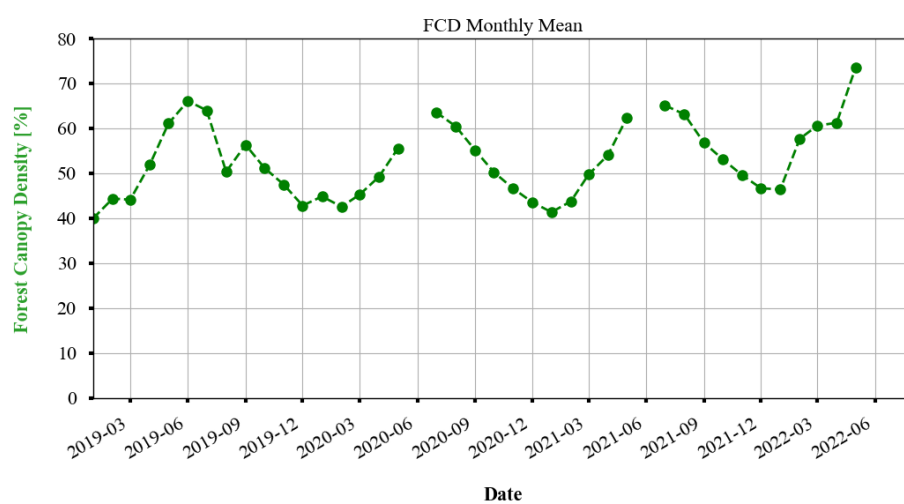


図10 本業務で作成した北九州市全域における2019年～2022年の樹冠密度の推移

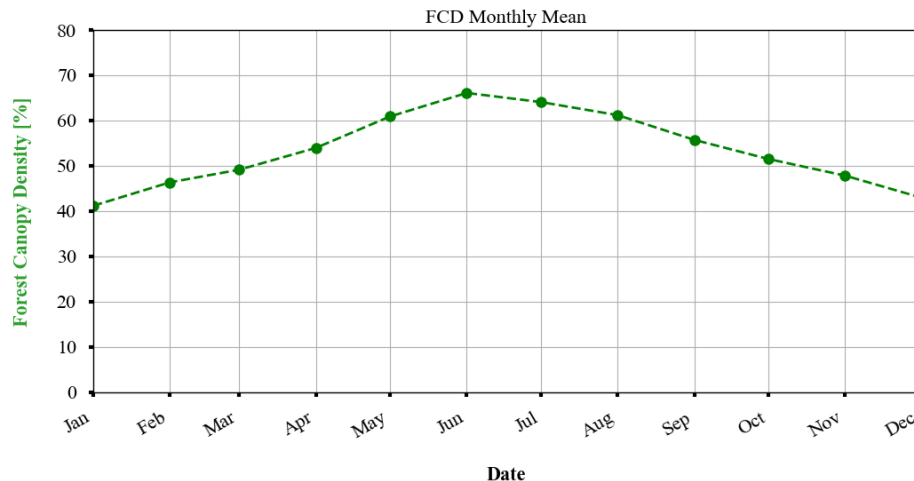


図11 本業務で作成した北九州市全域の月平均の樹冠密度

③樹種データ

樹種データは、環境省生物多様性センターで実施された自然環境保全基礎調査内の植生調査(以下「植生調査」という)の成果のうち、第6回・第7回植生調査で整備された、地理情報システム(GIS)で配布している縮尺1/25,000の植生図データ^[4]を用いた。このデータは、全国3次メッシュ毎に配布されており、これらを日本全国分ダウンロードし、結合、解像度を1km間隔に補正した後に保存し、予測システムの入力値として整備した。

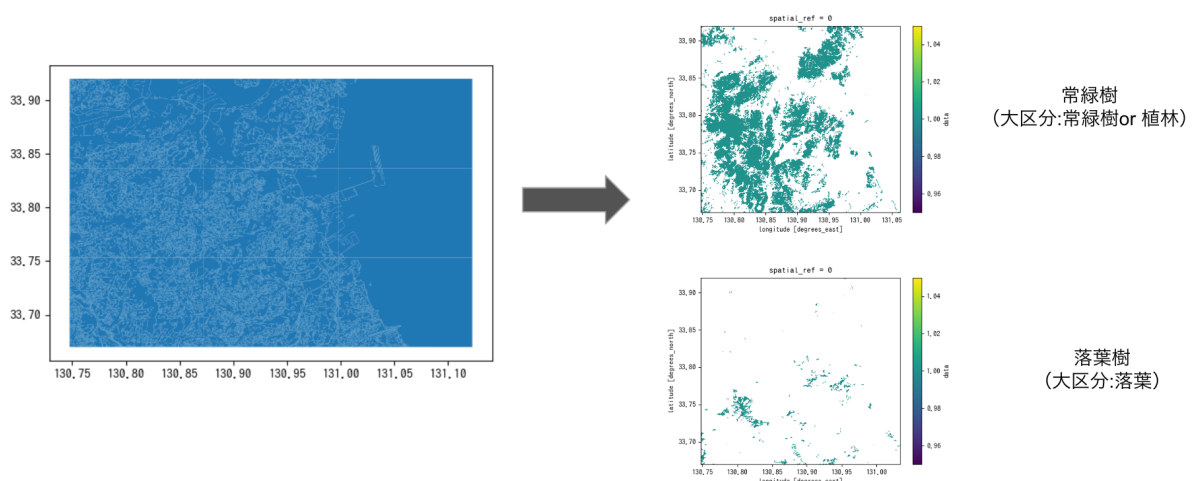


図12 北九州市における縮尺1/25,000植生図のデータ(左)と、抽出した常緑樹・落葉樹の分布(右)

使用した植生図は、1/25,000植生図GISデータ(環境省生物多様性センター)を使用し、株式会社ウェザーニューズが作成・加工したものである。

(<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-043.html>)

2.3 出力データ

林床可燃物含水比の予測計算の結果は、データ変換モジュールによって整形され、システムのユーザ向けのデータとして出力される。出力データのフォーマットには、空間的データ、気象データを扱う際に広く利用されている標準的なフォーマットとして、NetCDF⁸を選択した。

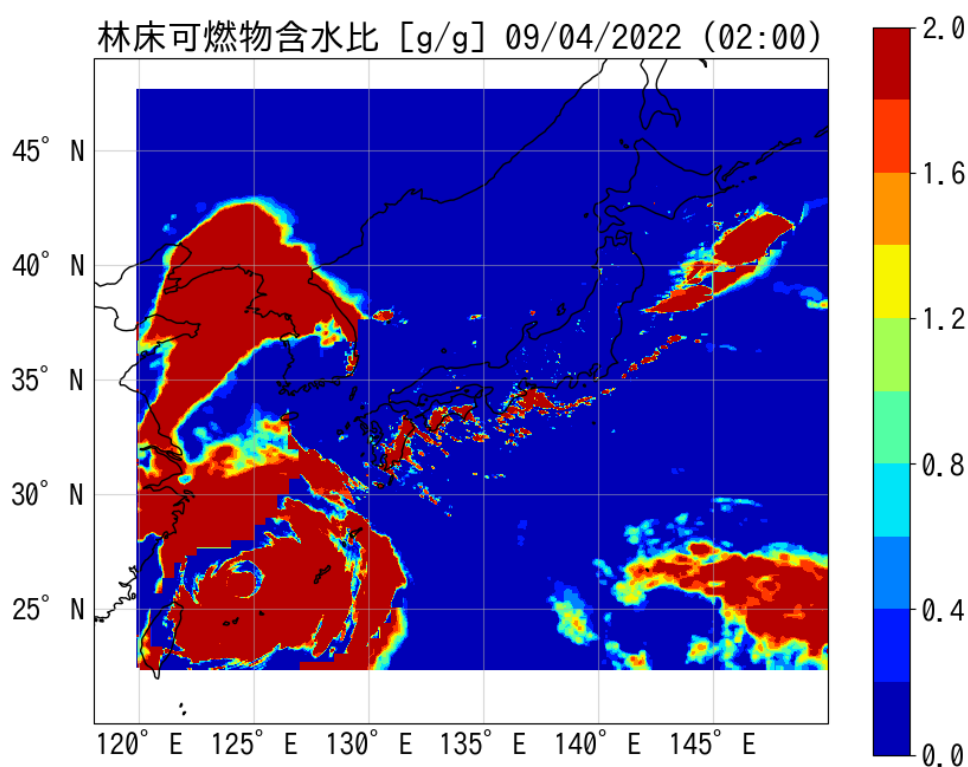


図13 林床可燃物含水比

⁸ NetCDF:ネットワーク共通データ形式(Network Common Data Form)を意味するバイナリデータフォーマットのこと。グリッドデータを直接保存するのに適しており、データと共にその次元やサイズ、付随する情報などを保存できる、自己記述的なデータフォーマットである。気象分野における配布データに多く用いられている。

第3章 林野火災発生危険度の検証

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を算出し危険日と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4事例を選定した。

表5 本業務で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	
福岡県北九州市	2022年 2月26日	2022年 2月27日	野焼き			86.77	86.77
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
群馬県みどり市	2021年 4月22日	2021年 4月26日	建物火災から の延焼	45.88			45.88
北海道標茶町	2020年 5月9日	2020年 5月10日	不明	31.15		18.88	50.03

3.1.1 福岡県北九州市の事例

福岡県北九州市の平尾台では例年野焼きが行われている。2022年2月26日、野焼きが予定範囲外に延焼し、周辺原野が約87ha焼損した。平尾台はカルスト台地になっており、樹冠密度が低い地域と思われたため、検証事例として選定した。実際に、算出した平尾台の周辺の樹冠密度は0%であり、植生図においても樹木はなかったと判別されたため、平尾台周辺の相対日射率は100%とした。林床可燃含水比は1時間毎に算出し、1日のうちに最小の値が0.2g/g以下の日があった場合は危険日とした。その結果、北九州市では、2月22日頃から林床可燃物含水比が基準値以下の日が続いており、林野火災のあった2月26日～27日にかけても同様に乾燥している状態であったことが確認できた。解析期間中、林床可燃物含水比が基準値以下の日は42日間であり、解析期間中の79.2%が林野火災発生危険度が高かったことが示された。

3.1.2 栃木県足利市の事例

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煙が出ていると登山客からの通報があった。発生3日目に延焼拡大し、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

火災によって、約167haが焼損した。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になった林野火災事例である。本事例は近年で発生した大規模な林野火災の一つであるため、選定した。

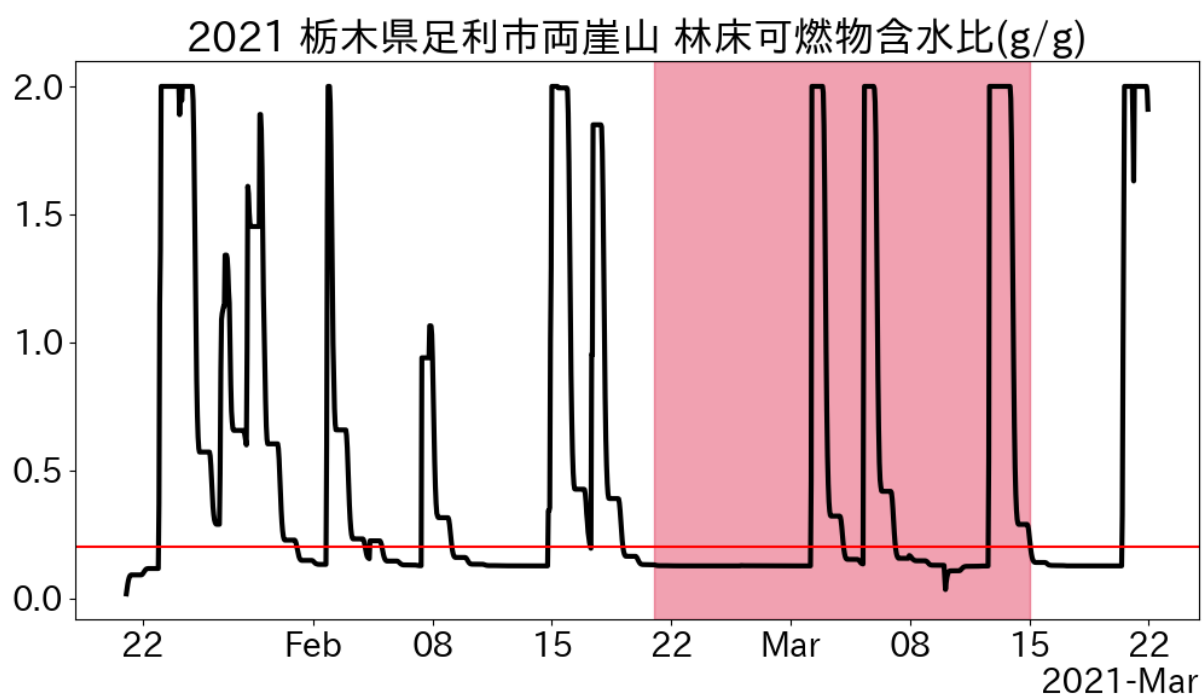
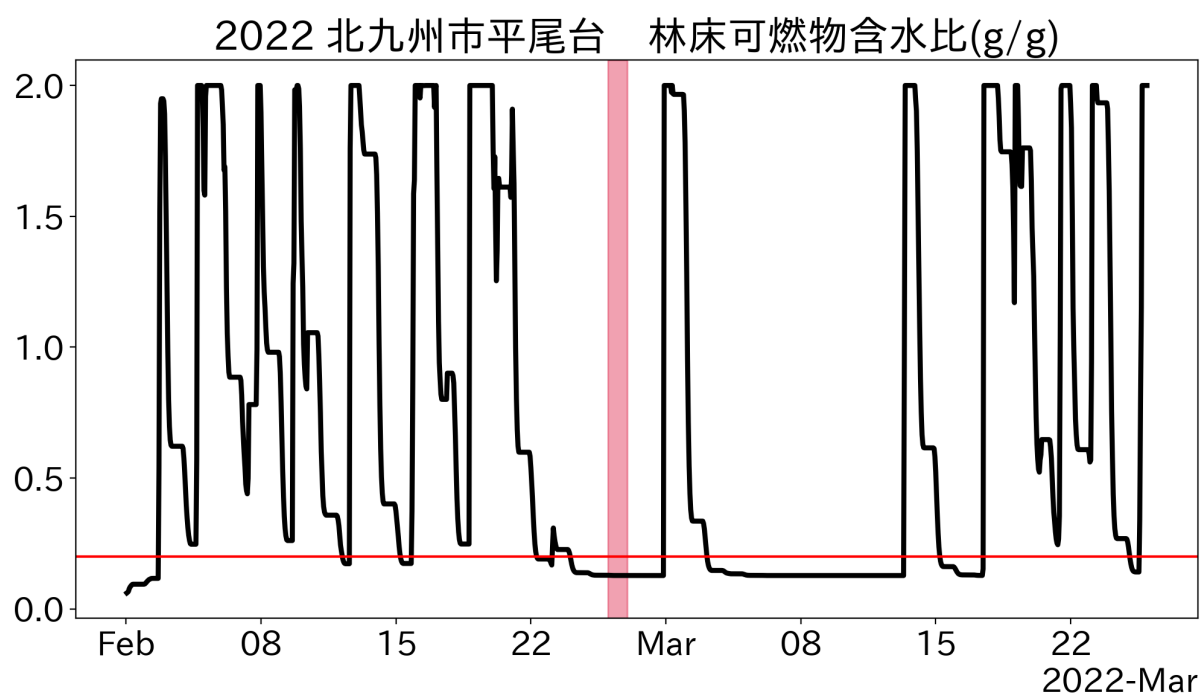
栃木県両崖山の周辺は、植生図より落葉樹であると判別された。また、林野火災が発生した2月は葉が落ちた状態であったため、樹冠密度は0%と解析された。表4で定めた樹冠密度と樹種による相対日射率の区分により、相対日射率を40%とし、解析を実施した。その結果、足利市では、2月20日頃から林床可燃物含水比が基準以下の日が続いており、林野火災のあった2月21日～3月15日にかけても同様に乾燥している状態であったことが確認できた。解析期間中、林床可燃物含水比が基準値以下の日は41日間であり、解析期間中の68%が林野火災発生危険日であったことが示された。

3.1.3 群馬県みどり市の事例

2021年4月22日群馬県みどり市東町沢入において、建物火災が周辺の森林に延焼し、約46haが焼損した。延焼した周辺は、植生図より常緑樹であると判別され、この時の樹幹密度は47%であると解析された。表4で定めた樹冠密度と樹種による相対日射率の区分により、相対日射率を20%として林床可燃物含水比の算出を行なった。その結果、林野火災が起きる前日の4月20日、および当日の4月21日においては林床可燃物含水比が0.2g/gより低く、乾燥していたことが示されたものの、出火した4月22日に林床可燃物含水比が急上昇し、4月26日にかけて0.2g/gよりも多い日が続いた。火災発生期間に、林野火災発生危険日として判定されなかった日が含まれていた理由としては、出火直前までは降雨がなく乾燥していたことが考えられる。また、出火直後に雨が降ったものの、ごく少量であり樹冠等による降雨の遮断効果によって、降雨が地表(林床)にたどり着くまでにはタイムラグがあり、降雨直後においても周辺の林野に延焼してしまったものと考えられる。

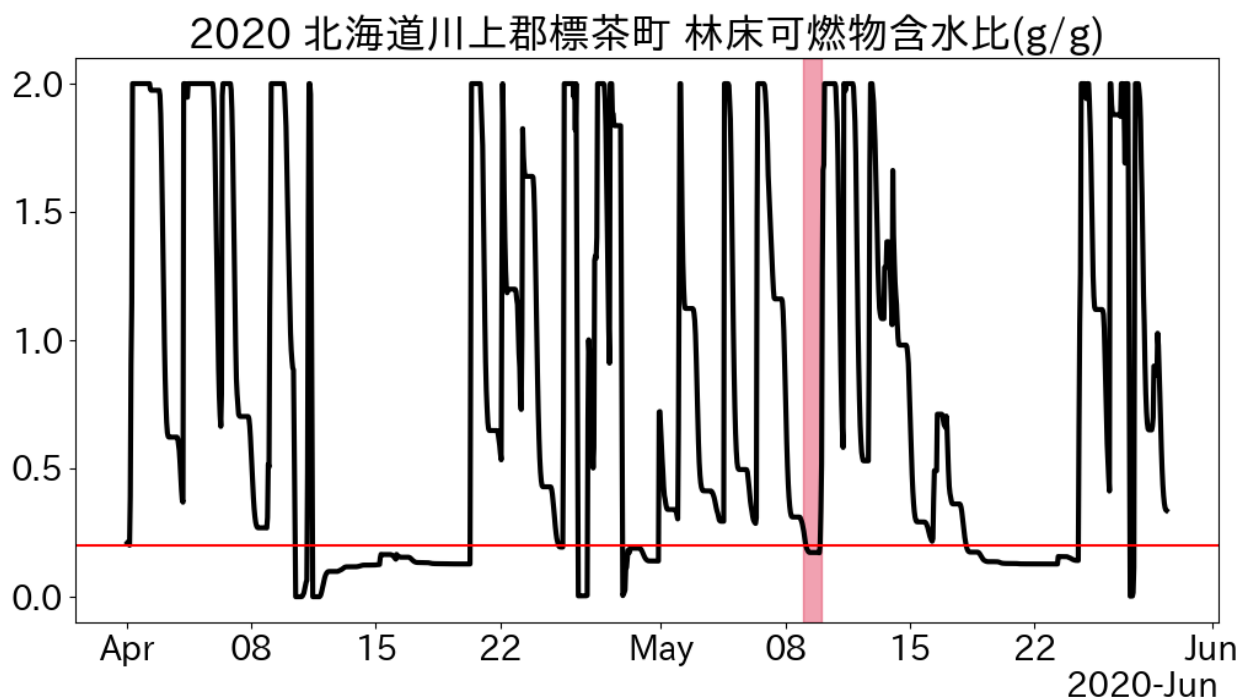
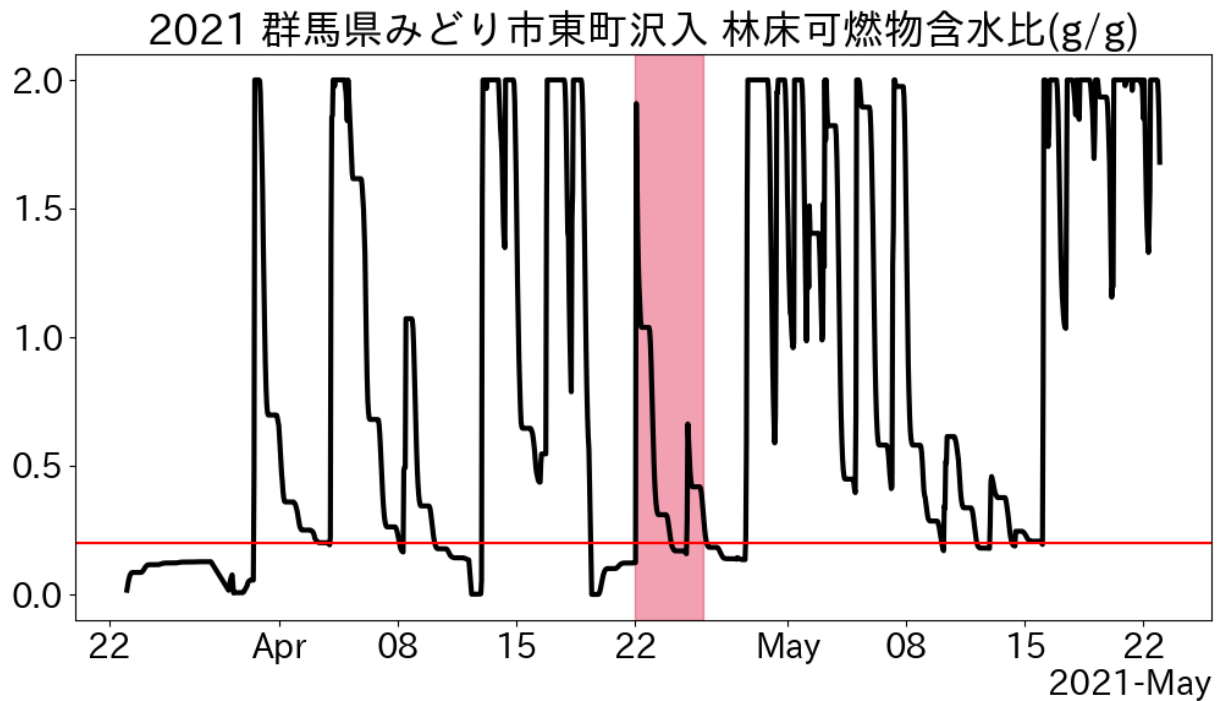
3.1.4 北海道川上郡標茶町の事例

2020年5月9日、北海道川上郡標茶町において林野火災が発生した。この林野火災では、森林、原野等含め合計約50ha延焼した。標茶町周辺では、樹冠密度は79%であったが、植生図より樹種は判別されなかった。よって、表4で定めた樹冠密度と樹種による相対日射率の区分により、相対日射率は $100 - \text{樹冠密度}(79\%) = 21\%$ とした。その結果、標茶町周辺では林野火災のあった5月9日は林床可燃物含水比が0.2g/gを下回り、乾燥している状態であったことが確認できた。解析期間中、林床可燃物含水比が基準値以下の日は25日間であり、解析期間中の42%が林野火災危険日であったことが示された。



林野火災発生期間

図14-1 各林野火災事例における林床可燃物含水比の変動



林野火災発生期間

図14-2 各林野火災事例における林床可燃物含水比の変動

表6 大規模林野火災事例の検証まとめ

出火場所	樹冠密度	樹種	相対日射率	含水比0.2g/g以下の日数割合	含水比0.2g/gより大きい日数割合
福岡県北九州市	0%	—	100%	79% (42/53日)	21%(11/53日)
栃木県足利市	0%	落葉樹	40%	68%(41/60日)	32%(19/60日)
群馬県みどり市	47%	常緑樹	20%	44%(27/61日)	56%(34/61日)
北海道標茶町	79%	—	21%	42% (25/59日)	58% (34/59日)

これらの検証の結果から、過去林野火災発生前後においては、林床可燃物含水比が0.2g/g以下で乾燥していたことを明らかにできた。このことから、本業務で構築された計算方法は運用する上で十分に有用であることが示された。

3.2 一定地域内で発生した林野火災に対する事例検証

第一回の委員会開催時に、大規模な林野火災の事例だけでなく、比較的小規模な火災も含めて林野火災の発生が予測可能かの検証も重要であるという助言を受けた。そのため、林野火災発生事例を全国から収集し、その中から2都市の事例を抽出し解析を行なった。本検証については、詳細な出火場所が不明であったため、エリア内で相対日射率が異なりそうな点をランダムに各4地点抽出し、それぞれ解析を行なった。

3.2.1 兵庫県神戸市の事例

表7に2020年の神戸市の林野火災事例一覧を示す。神戸市では、2020年1月～5月にかけて林野火災が8件発生していた。この期間を対象に、林床可燃物含水比の変動を解析した。林野火災発生日のうち1月16日、20日は、どの地点においても林床可燃物含水比が0.2g/gを上回っていた。その他の日については、林床可燃物含水比が0.2g/g以下となり、乾燥していたことが示された。解析期間中、林床可燃物含水比が基準値以下の日は90～129日間であり、解析期間中の48～69%が林野火災危険日であったことが示された。

表7 神戸市の林野火災事例リスト

	出火時刻 年月日	出火時刻 時分	鎮火時刻 年月日	鎮火時刻 時分	出火原因(発火源、焼損面積(a))	
神戸市	2020/1/16	15:00	2020/1/16	16:22	枯れ草焼き	2
神戸市	2020/1/20	11:30	2020/1/20	14:15	枯れ草焼き	15
神戸市	2020/2/21	14:22	2020/2/21	15:46	枯れ草焼き	4
神戸市	2020/3/25	16:10	2020/3/25	18:04	たばこ	18
神戸市	2020/3/26	19:05	2020/3/26	20:14	枯れ草焼き	6
神戸市	2020/4/11	13:45	2020/4/11	14:24	マッチ	0
神戸市	2020/5/2	1:00	2020/5/2	3:27	ライター	4
神戸市	2020/5/8	13:02	2020/5/8	14:45	枯れ草焼き	3

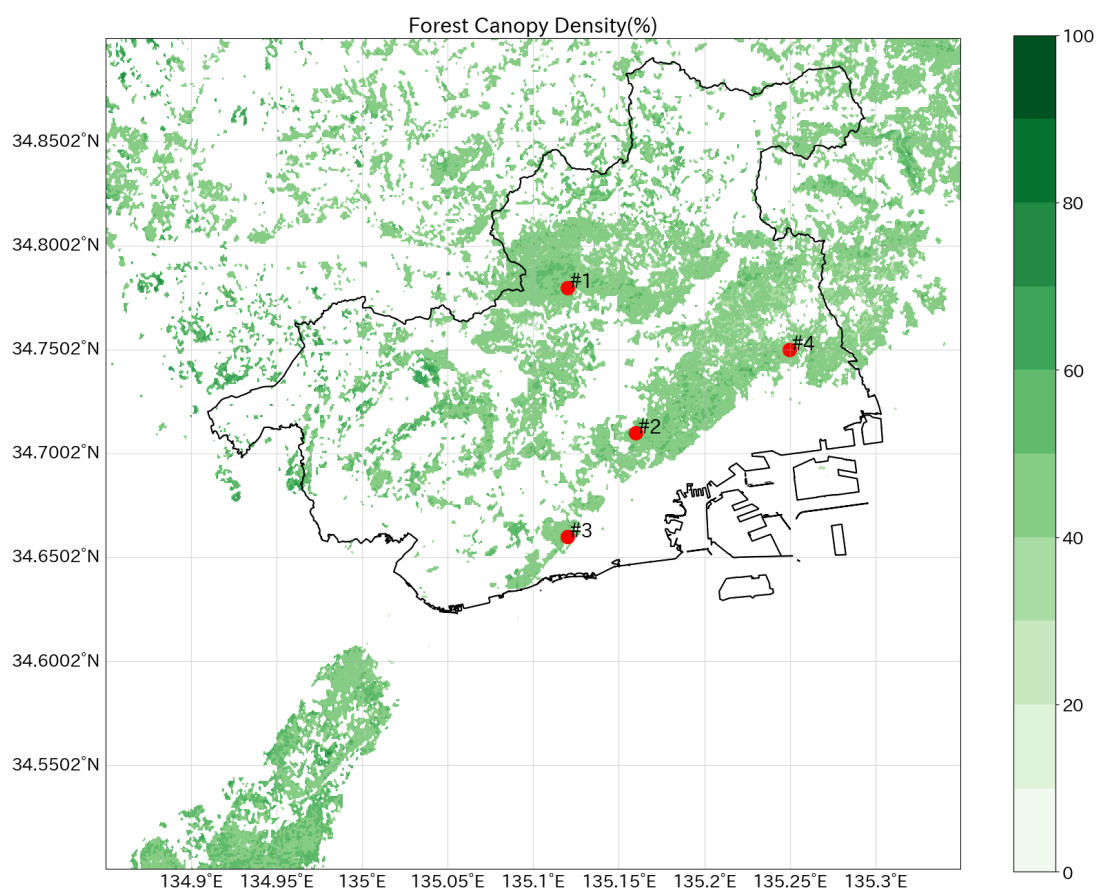


図15 神戸市の樹冠密度と抽出した地点

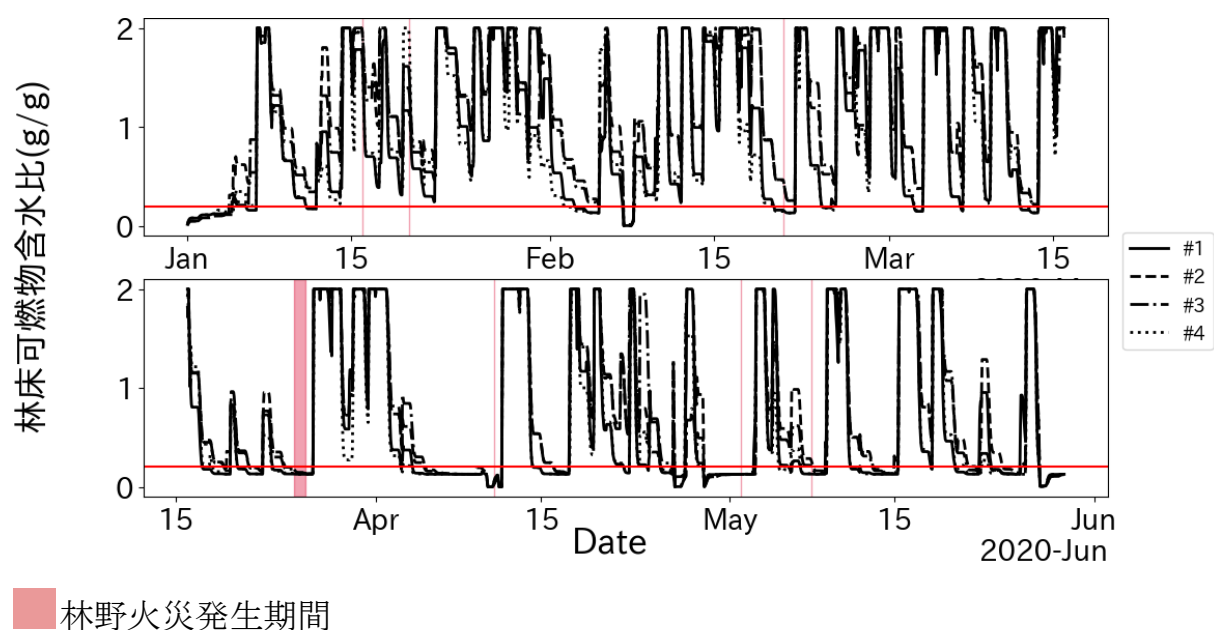


図16 兵庫県神戸市の林床可燃物含水比の変動

表8 神戸市の林床可燃物含水比まとめ

抽出地点	樹冠密度	樹種	相対日射率	含水比0.2g/g以下の日数割合	含水比0.2g/gより大きい日数割合
地点1 (#1)	50%	常緑,落葉混合	40%	49% (91/185日)	51%(94/185日)
地点2 (#2)	22%	常緑,落葉混合	20%	70%(129/185日)	30%(56/185日)
地点3 (#3)	47%	常緑樹	20%	69%(127/185日)	31%(58/185日)
地点4 (#4)	2.4%	常緑,落葉混合	40%	49% (90/185日)	51% (95/185日)

3.2.2 兵庫県姫路市の事例

兵庫県姫路市では、2020年1月～5月にかけて林野火災が11件発生していた。この期間を対象に、林床可燃物含水比の変動を解析した。その結果、全ての林野火災事例において、林床可燃物含水比が0.2g/g以下となる地点があり、林野火災事例前後は比較的乾燥していたことが示された。解析期間中、林床可燃物含水比が基準値以下の日は90～129日間であり、解析期間中の41～62%が林野火災発生危険日であったことが示された。

表9 兵庫県姫路市の林野火災事例リスト

	出火時刻 年月日	出火時刻 時分	鎮火時刻 年月日	鎮火時刻 時分	出火原因(発火 源)	焼損面積(a)
姫路市	2020/2/24	13:33	2020/2/24	16:02	火入れの火の粉	1
姫路市	2020/4/7	11:00	2020/4/7	11:31	マッチ	1
姫路市	2020/4/7	11:30	2020/4/7	12:55	マッチ	2
姫路市	2020/4/7	15:57	2020/4/7	16:50	マッチ	0
姫路市	2020/4/7	16:30	2020/4/7	17:38	マッチ	4
姫路市	2020/4/9	16:00	2020/4/9	18:38	マッチ	6
姫路市	2020/4/11	13:30	2020/4/11	14:12	ライター	1
姫路市	2020/4/25	17:35	2020/4/25	18:08	たき火	0
姫路市	2020/5/1	10:35	2020/5/1	12:28	ライター	2
姫路市	2020/5/3	12:20	2020/5/3	13:05	不明	2
姫路市	2020/5/14	15:25	2020/5/16	7:15	枯れ草焼き	3420

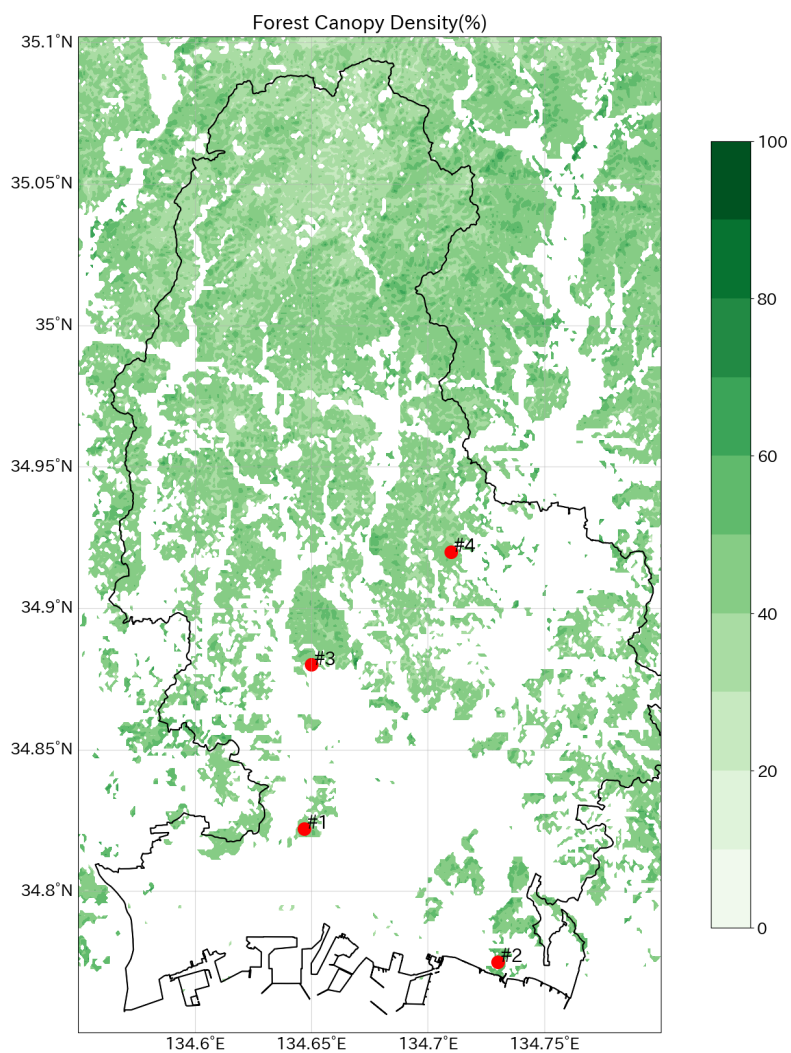
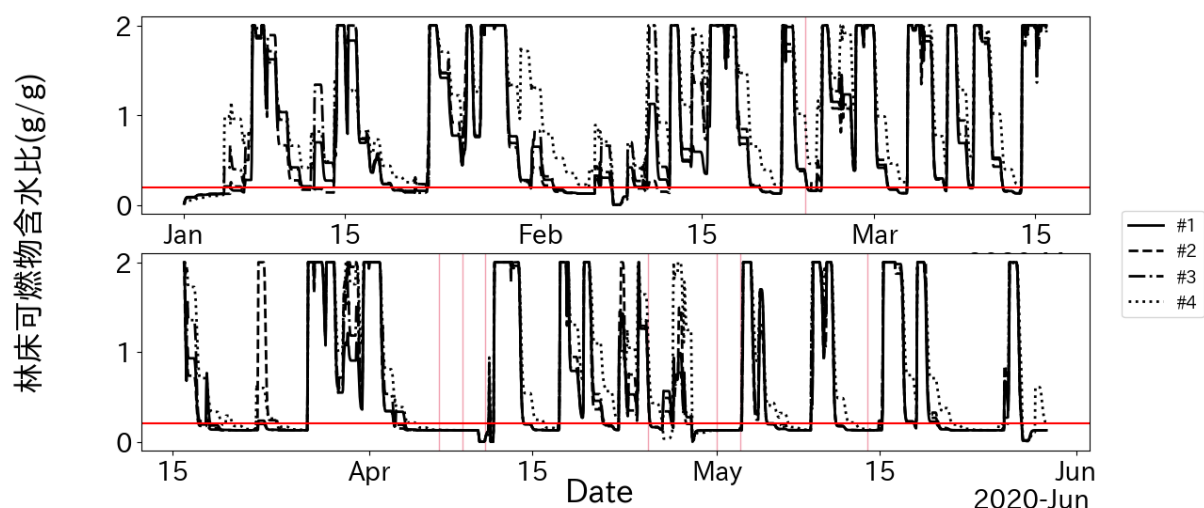


図17 兵庫県姫路市の樹冠密度と抽出地点



林野火災発生期間

図18 兵庫県姫路市の林床可燃物含水比の変動

表8 兵庫県姫路市の林床可燃物含水比まとめ

抽出地点	樹冠密度	樹種	相対日射率	含水比0.2g/g以下の日数割合	含水比0.2g/gより大きい日数割合
地点1 (#1)	43.4%	常緑・落葉混合	40%	42% (77/185日)	58%(108/185日)
地点2 (#2)	49.5%	落葉樹	40%	41%(76/185日)	59%(109/185日)
地点3 (#3)	37%	常緑・落葉混合	40%	48%(88/185日)	52%(97/185日)
地点4 (#4)	43%	常緑樹	20%	63% (116/185日)	37% (69/185日)

これらの検証の結果から、林野火災発生前後において、林床可燃物含水比が0.2g/g以下で乾燥していたことを明らかにできた。このことから、本業務で構築された計算方法は運用する上で十分に有用であることが示された。

3.3 検証結果のまとめ

大規模林野火災の事例、兵庫県神戸市及び姫路市の事例の検証結果のまとめを表9に示す。いずれの場合も、林野火災発生前後において林床可燃物含水比が概ね0.2g/g以下となり乾燥していたことが明らかとなった。このことから、本業務で構築した林野火災発生危険度予測システム及び危険度判定の基準を林床可燃物含水比0.2g/g以下とすることは妥当であることが示された。

表9 検証結果まとめ

火災事例	発生日に対し林野火災発生危険日として判定できたか	日最大林床可熱物含水比20%以下の日数
福岡県北九州市	○	79%(42日/53日)
栃木県足利市	○	68%(41日/60日)
群馬県みどり市	△	44%(27日/61日)
北海道標茶町	○	42%(25日/59日)
神戸市	○	4地点平均 59%(109日/185日)
姫路市	○	4地点平均 48%(89日/185日)

第4章 システム実用化に向けた課題の整理

林野火災発生危険度予測システムの構築、検証及びその結果を受けて、林野火災発生危険度予測システムを実用化する上での課題を抽出した。また、予測結果の効果的な周知方法や持続的な林野火災発生危険度予測システムの運用の形態等についても、本業務で明らかになった範囲をとりまとめた。抽出した課題は下記の通りである。

- ①森林現況反映のための樹冠密度データ定期更新システムの検討
- ②樹冠密度及び樹種による相対日射率の算出方法の改善
- ③気象予測データを用いた再現性の確認
- ④“リスク”の評価手法の検討
- ⑤土壌水分量(積雪・融雪の影響)の影響把握
- ⑥強風時における林野火災延焼危険度の検討
- ⑦林野火災発生場所自動抽出のためのMODIS⁹及びVIIRS¹⁰のデータの活用検討
- ⑧降水の樹冠等による遮断効果の検討
- ⑨林野火災発生危険日の示し方における統計的な判別方法の検討

⁹MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): アメリカ航空宇宙局(NASA:National Aeronautics and Space Administration)の地球観測衛星Aqua,Terraに搭載されたセンサで、0.4~14 μ mの光を36バンドで観測し、雲、エアロゾル、土地被覆、植生、地表(海面)温度等、広い分野の観測に利用されている。

¹⁰VIIRS(Visible/Infrared Imager and Radiometer Suite):MODISの後継機となる地球観測センサーで、0.4~12.5 μ mの光を22バンドで観測する。MODISと同様に、大気圏、陸圏、水圏の環境変動を観測する。

それぞれについて詳細を記載する。

①森林現況反映のための樹冠密度データ定期更新システムの検討

本業務においては、樹冠密度データの開発をGoogle Earth Engine を用いて行い、2019年～2022年までの月平均値のデータを作成した。実用化の際には、実際の森林状況を反映するために定期的に自動で樹冠密度データを更新するシステムを構築する必要があると考えられる。本業務においては、この樹冠密度データの自動更新システムについて、最適な方法を十分に検討する時間がなかったため、次年度以降の課題とする。

②樹冠密度及び樹種による相対日射率の算出方法の改善

本業務では、様々な樹冠密度及び樹種の地点を有する過去の林野火災事例を抽出し、検証にあたった。その結果、概ね過去の林野火災の事例において、林野火災発生危険度を出せることがわかった。一方、樹冠密度と樹種による相対日射率の算出方法は、運用を想定し森林現況を反映するために今回初めて取り入れたプロセスであり、相対日射率の算出方法の最適化は、長期的な事例検証が必要なため、次年度以降の課題とする。

③気象予測データを用いた再現性の確認

本業務では、解析値を用いて検証することで、ロジックの有効性の確認に重きを置いた。検証の結果から、林野火災発生危険度は運用に十分であると示された。一方で、実運用に乘せる際には、気象予測データを用いて、数日前から予測した林野火災発生危険度日について、どの程度の予測精度なのか確認することが必要になると考えられるため、次年度以降の課題とする。

④“リスク”の評価手法の検討

林野火災発生危険日の予測は、気象データと樹冠密度・樹種から求めて全国一様に算出している。一方で、海外の先行事例では、人口密度や居住区の近い場所や道路沿いなどで、着火そのもののリスクや着火した際の被害リスク等も加味して示すモデル(例:LPJmL4-SPITFIRE¹¹)がある。運用化に際しては、広く一般に伝わりやすくするために、被害の規模がどの程度になるのか、人口密度などによりどの程度差があるか、重みが考慮できるようなロジックの検討が望ましい。本業務では、十分に検討する時間がなかったため、次年度以降の課題とする。

¹¹LPJmL4-SPITFIRE:動的全球植生モデルであるLPJmL(Lund-Potsdam-Jena managed Land)とそれに使用される火災モジュールSPITFIRE(SPRead and InTensity of FIRE)のこと。

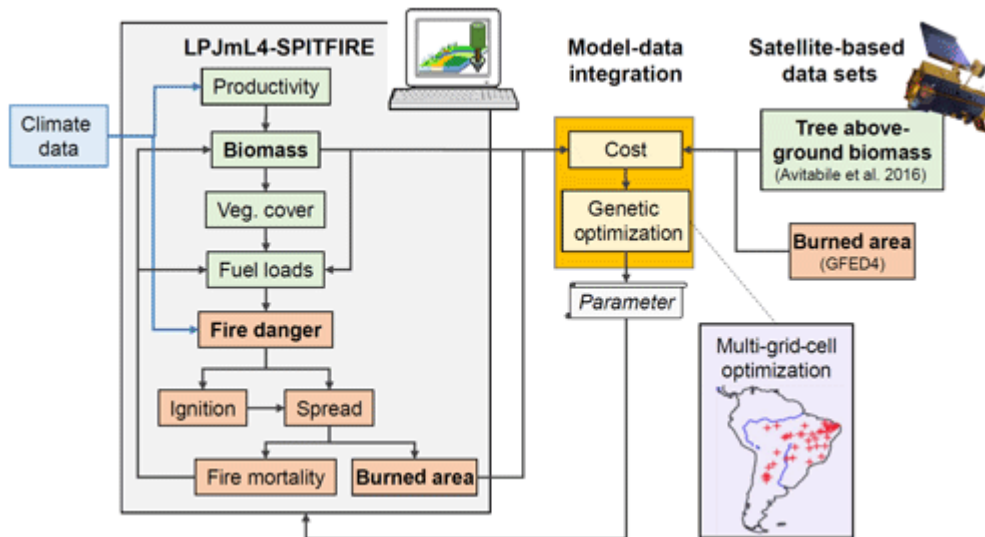


図19 LPJmL4-SPITFIREのパラメーターを推定するためのモデルとデータの統合アプローチの概要図
Drüke, M(2019)^[6]より引用し抜粋

⑤土壌水分量(積雪・融雪の影響)の影響把握

本業務では1時間の日射量と降水量から、林床可燃物含水比を算出しているが、この時、積雪がある場合には、林床可燃物含水比が低くても林野火災は発生しないと考えられ、実運用に際しては全国の積雪分布のデータが必要になる。ウェザーニューズでは、気象庁から配信されている解析積雪深(5km grid)を有している。これらのデータを適応し、③と併せ再現性を確認する必要があるため、次年度以降の課題とする。

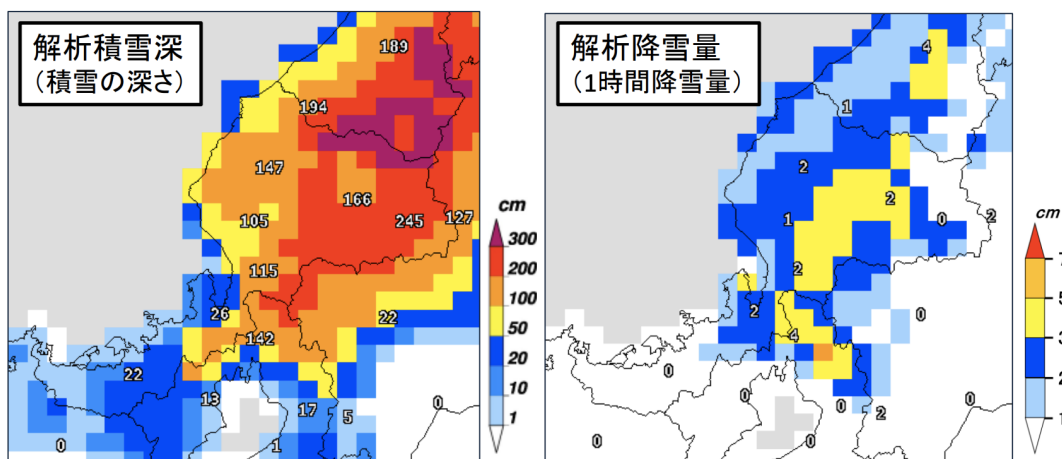


図20 解析積雪深(左)と解析降雪量(右)

気象・地震等の情報を扱う事業者等を対象とした講習会(第8回)^[7]より引用し抜粋

⑥強風時における林野火災延焼危険度の検討

本システムでは林野火災発生危険度を算出しているが、実際に林野火災が延焼し被害が拡大する主要な要因として風が挙げられる。本業務で検証をおこなった2021年の栃木県足利市の林野火災事例では、火災が拡大した2月23日に強風注意報が出されていた。足利市に隣接する佐野のアメダスの観測では、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。この強風にあおられて火は燃え広がり延焼が拡大したとみられることから、風による林野火災への影響の評価について、次年度以降の課題とする。

⑦林野火災発生場所自動抽出のためのMODIS及びVIIRSのデータの活用検討

検証を実施した神戸市、姫路市においては詳細な林野火災地域のデータがなかったため市内からランダムで地点を4点選定した。一方で、NASAは衛星Terra/Aquaに搭載されているMODISセンサ、衛星Suomi-Npp/NOAA-20に搭載されているVIIRS(ビーズ)センサから解析された林野火災発生源Hotspotのデータを公開している。これらを用いることで客観的に林野火災の事例を抽出できる可能性がある。しかし、衛星から解析されたHotspotデータには実際に林野火災が発生していない地点でもHotspotとして解析してしまう場合があり、これらの誤検知のデータを排除する処理が必要になる。今回は誤検知のデータの除去方法の検討など十分な時間がなかったため、次年度以降の課題とする。

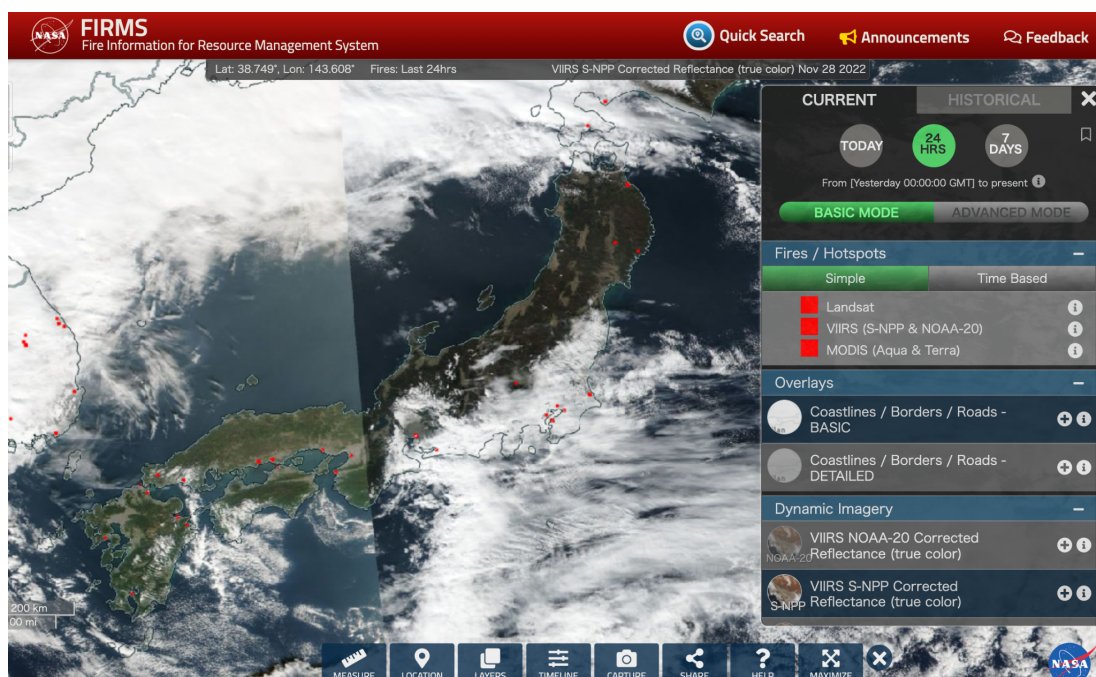


図21 MODIS、VIIRSのHotSpot解析データ

Fire Information for Resource Management System (FIRMS)^[8]を参照

⑧降水の樹冠等による遮断効果の検討

雨が降っている時に林野火災が発生していることについての解釈として、樹冠等による遮断効果が働いていることが考えられる。群馬県みどり市の事例については、降雨時の林床可燃物含水比は 2.0g/g 以下で、雨は 1mm 未満であった。雨が降った時の森林内の雨の動きとして、雨の降り始めは雨水が樹冠等に遮断されて、雨が林床面に到達するまでに時間がかかることがある。現在のモデルにその効果は入っていないため、雨の降りはじめの樹冠等による遮断効果について運用上考慮するかどうかは別途検討する必要があることが示唆されたため、次年度以降の課題とする。

⑨林野火災発生危険日の示し方における統計的な判別方法の検討

実運用を考慮した場合に、情報を受け取る側の混乱を招かないような工夫が必要である。林野火災発生危険日の情報だけでなく、林野火災発生危険日以前の林床可燃物含水比など、林野火災発生危険日より前の一定期間の情報も判別に入れた方が良い可能性がある。含水比の頻度分布などを作成し、時空間の統計的な処理をして判別基準にロバスト性¹²を持たせるなどの必要性について、次年度以降の課題とする。

第5章 まとめ

玉井ら(2019)^[1]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した。また、過去の事例解析(直近2年分の代表事例)を通して、1.発生日に対し林野火災発生危険日(日最大林床可燃物含水比 0.2g/g 以下)として判定できるか、2.未発生日に対して日最大林床可燃物含水比 0.2g/g 以下の日数の検証を実施した。

その結果、構築したシステムで林野火災発生危険日として判定できることを確認し、実用化可能であることを示した。また、構築したシステムを実用化する上での課題を抽出・整理を行い、次年度以降取り組むべき事項を明確にした。

¹²ロバスト性:データ解析などの場合、値の欠損や外れ値などがあっても結果が大きく変化したり精度が極端に劣化したりせず、安定している手法やモデルなどのことをロバストという。

【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, 84-98
- [2]小林忠一・玉井幸治・服部重昭・西山嘉寛(1991) 林野火災の延焼速度に関する実験的研究—Rothermelの延焼速度予測モデルを用いたByramの火線強度の推定—, 日本林学会誌, 87, 193-201
- [3]Rikimaru, A. (1996) LANDSAT TM Data Processing Guide for Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model. ITTO Workshop on Utilization of Remote Sensing in Site Assessment and Planning for Rehabilitation of Logged-Over Forests, Bangkok, 30 July-1 August 1996, 1-8.
- [4]1/25,000植生図GISデータ(環境省生物多様性センター)
(<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-043.html>)
- [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]Drücke, M., Forkel, M., von Bloh, W., Sakschewski, B., Cardoso, M., Bustamante, M., Kurths, J., Thonicke, K. (2019). Improving the LPJmL4-SPITFIRE vegetation-fire model for South America using satellite data. Geoscientific Model Development, 12(12), 5029-5054.
- [7]気象・地震等の情報を扱う事業者等を対象とした講習会(第8回).解析積雪深・解析降雪量について
(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/koushu191010/shiryou3.pdf>)
- [8]Fire Information for Resource Management System (FIRMS)
(<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>)