

2025年今治山林火災の被害と今後の影響について

愛媛大学 大学院農学研究科 木村 誇

• 本日の話題提供:

• 話題① 愛媛県における山林火災の発生状況

- 今年 of 山林火災の概要
- 山林火災の年間発生件数、焼損面積の推移
- 過去の主な山林火災事例

• 話題② 山林火災の被害推定

- 衛星リモートセンシングによる山林火災の検知手法
- 2025年と2008年に今治市で発生した山林火災の被害推定

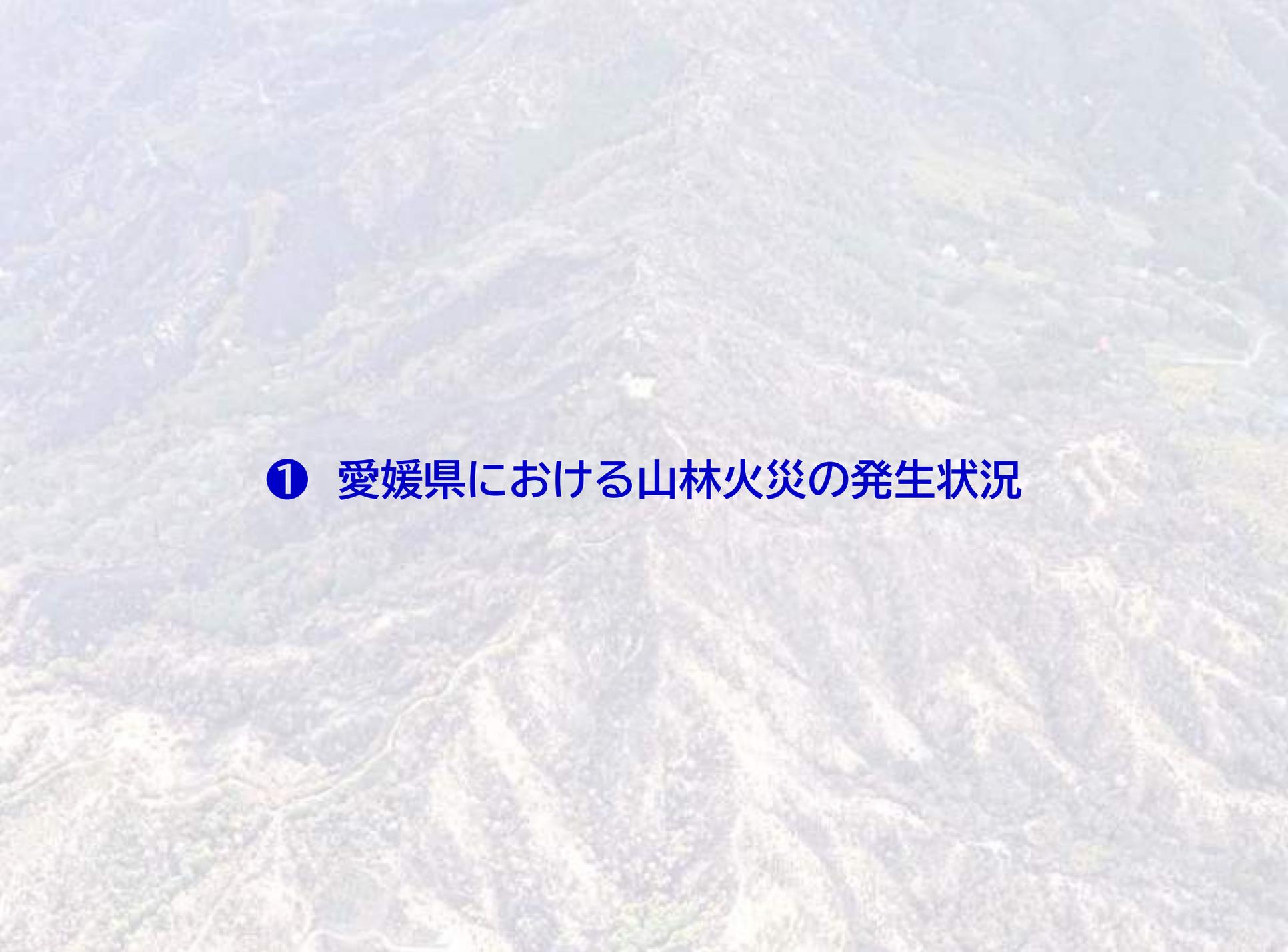
• 話題③ 山林火災後の水・土砂移動の変化

- 山林火災が水・土砂移動に及ぼす影響について
- 2025年3月の火災発生から半年後までの現地調査結果

• 話題④ 山林火災後の土砂流出予測に向けて

- 山林火災後の土砂流出の予測手法
- 過去の国内火災事例を用いた検証

【謝辞】 以下の方々にご協力いただきました: 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム、国土交通省九州地方整備局九州防災・火山技術センター、国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所、林野庁四国森林管理局愛媛森林管理署、愛媛県農林水産振興部、環境省中国四国地方環境事務所四国事務所、公益社団法人砂防学会、(株)国際航業
本調査の一部は、JSPS科研費課題(25K01473)として、若井明彦教授(群馬大学)、内田太郎教授(筑波大学)、佐藤剛教授(東京都市大学)、越智貴子准教授(埼玉大学)らと共同で行ったものです。



① 愛媛県における山林火災の発生状況

2025年今治山林火災の概要

• 発生日時等

- 覚知: 2025年 3月23日 15:53
- 鎮圧: // 3月31日 11:00 (9日目)
- 鎮火: // 4月14日 15:00 (23日目)

• 出火場所

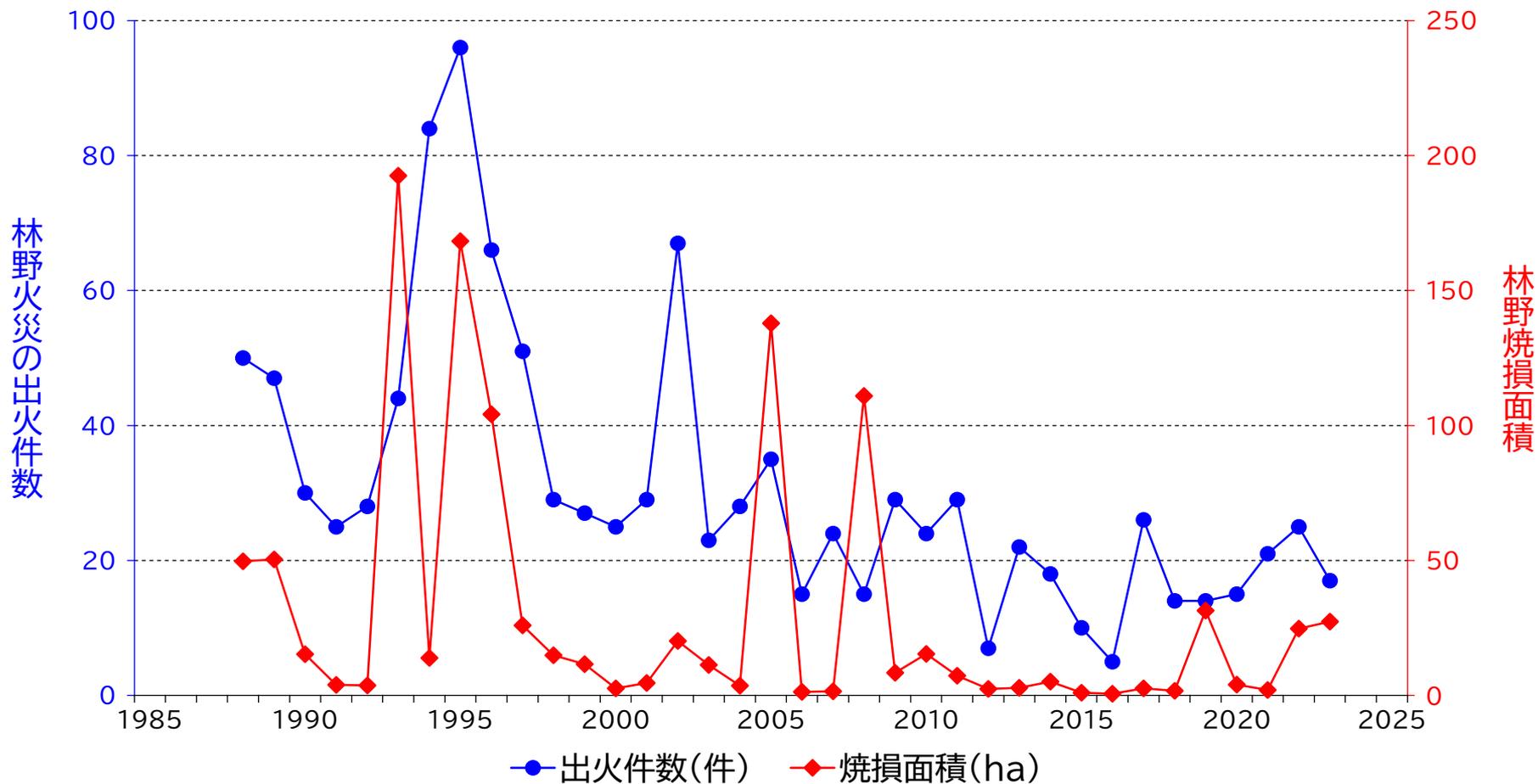
- 愛媛県今治市長沢付近

• 被害状況

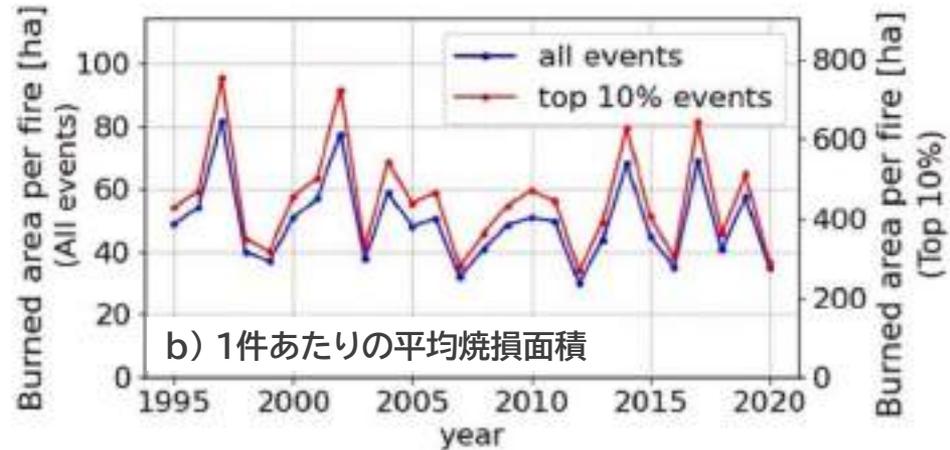
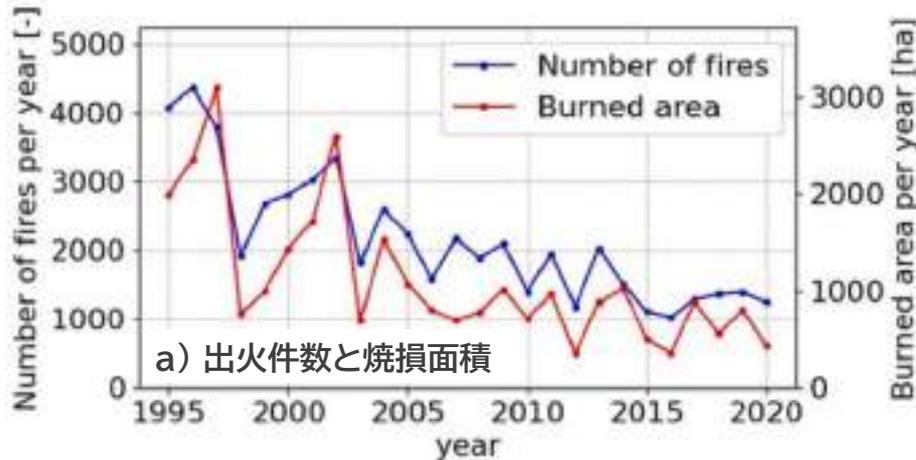
- 林野被害: 焼損面積 481.6 ha
(今治市448.0 ha、西条市 33.6 ha)
- 人的被害: 負傷者 4名
- 建物被害: 住家・非住家を含めて 27棟
(今治市 26棟、西条市 1棟)



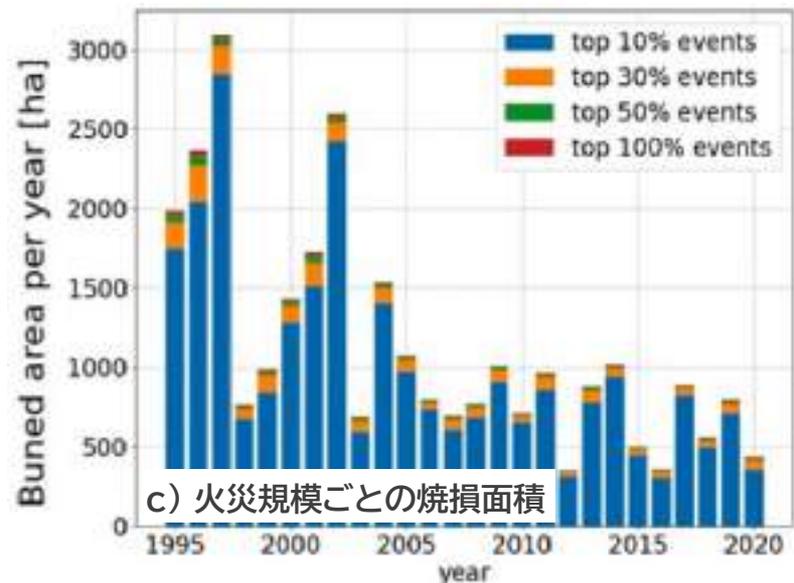
愛媛県における山林火災の動向



日本における山林火災の動向

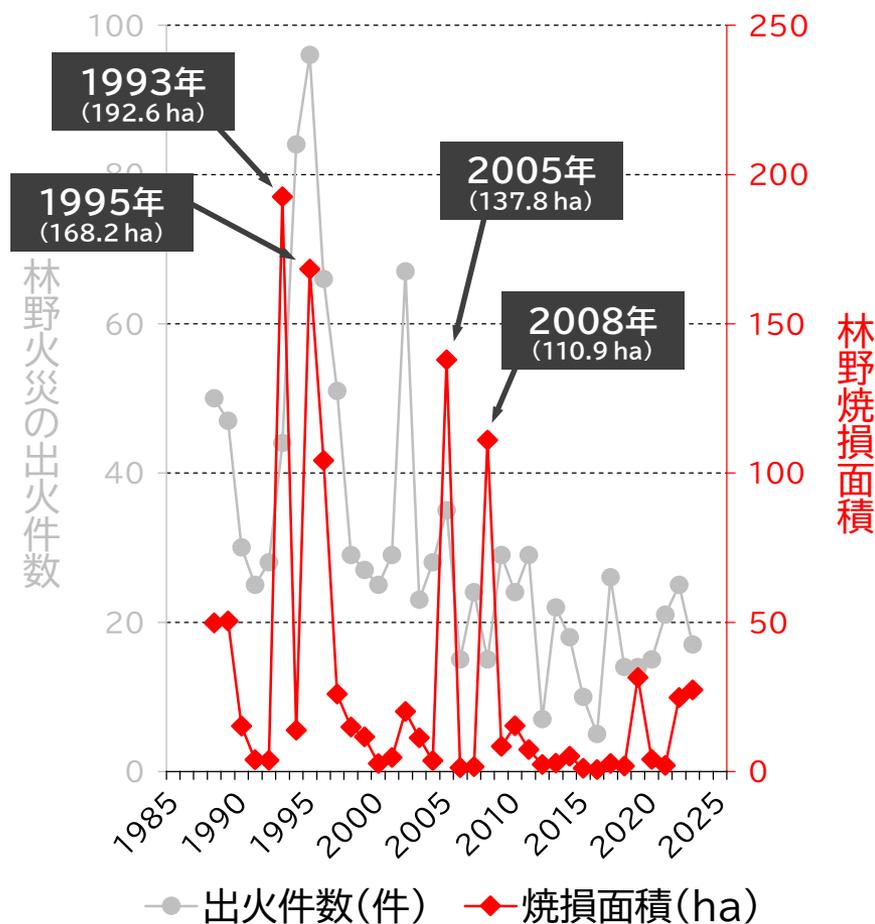


- a) 各年の山林火災の出火件数と焼損面積は、1995年以降、一貫して減少傾向
- b) 山林火災1件あたりの平均焼損面積は、年による変動が大きく、増減傾向は認められない（焼損面積上位10%の火災に限ってみても同様）
- c) 各年の焼損面積は、上位10%の火災による焼損面積の大きさでほぼ決まっている
- 過去数十年をみると愛媛県内でも全国でも同様の動向を辿っており、出火件数は低減できているが、大規模火災の発生をいかに抑止するかは依然として課題



愛媛県における過去の主な山林火災事例

- **1993年 (平成5年) 2月13日～16日**
 - 四国中央市土居町天満
 - 焼損面積: 145.2 ha
- **1995年 (平成7年) 3月9日～16日**
 - 越智郡岩城村長江 (現・上島町)
 - 焼損面積: 142.0 ha
- **2005年 (平成17年) 5月28日～6月2日**
 - 今治市大三島町
 - 焼損面積: 133.0 ha
- **2008年 (平成20年) 8月24日～29日**
 - 今治市朝倉上
 - 焼損面積: 105.0 ha (国有林2.0 haを除く)



愛媛県における過去の主な山林火災事例

- **2008年** (平成20年) 8月24日～29日
 - 今治市朝倉上
 - 焼損面積: 105.0 ha (国有林2.0 haを除く)
- **2025年** (令和7年) 3月23日～4月14日
 - 今治市長沢ほか
 - 焼損面積: 481.6 ha
- 笠松山周辺では、平成以降2回にわたって焼損面積100 haを超える山林火災が発生している

2008年8月に笠松山周辺で発生した山林火災



(江崎ら, 2009)

2025年3月に笠松山周辺で発生した山林火災



©共同通信社



野々瀬地区朝北東方向へ張り出す尾根状況



被災地東側方向へ張り出す尾根状況

今治市 笠松山山林火災復旧計画書 より (今治市 笠松山山林火災復旧計画策定会, 2008)



江崎次夫ら(2009) 平成21年度砂防学会研究発表会概要集「今治市笠松山山林火災跡地の森林再生」より



東側斜面に発生した崩壊地2箇所





今治市 笠松山山林火災復旧計画書 より
(今治市 笠松山山林火災復旧計画策定会, 2008)

2025年3月に笠松山周辺で発生した山林火災



令和7年今治市林野火災復旧・復興計画策定検討会資料
(<https://www.city.imabari.ehime.jp/rinyakasai/>)





出火元となった今治市長沢地区周辺の様子。広範囲にわたって植生が焼失し、灰や炭化物で地表が黒くなったところが目立つ。



笠松山山頂周辺の様子。正面に写る斜面は山肌が剥き出しなのに対し、周辺では灰や炭化物に覆われ黒色を呈する斜面が広がる。



今治市長沢地区周辺の様子。近距離から観察すると植生が残っているところもあって、燃焼強度が異なっていたことがうかがえる。



多くの樹木が樹冠部まで焼かれており、灰になったリター層や燃え落ちた枝とみられる炭化物の破片が地表を覆っている。





地表を覆う灰や炭化物の破片の層は数センチ程度の厚み。もともと地表にあったリター層がほぼすべて燃焼したような状態。



鎮圧直後の段階では、急斜面や凹形の集水斜面でも地表の灰などの層の下方移動や表面侵食が顕著な様子ではない。





地表火により林床や樹幹の下部が局所的に焼かれているものの、樹冠部までは焼かれず生立木として残っている。

① 愛媛県における山林火災の発生状況

- 今年（2025年）の山林火災の概要

- **2025年（令和7年）3月23日～4月14日**

- 今治市長沢付近で発生、焼損面積は481.6 haに及ぶ
- 笠松山周辺の山林（主に、アカマツや広葉樹からなる自然林）が重度の焼損被害を受ける

- 山林火災の年間発生件数、焼損面積の推移

- **発生件数は減少傾向だが、焼損面積は年々の変動が大きい**

- 焼損面積は、発生件数の多寡よりも大規模火災の有無によって決まる
- 全国的にも同様の傾向で、大規模火災の発生をいかに抑止するかが課題

- 過去の主な山林火災事例

- **大規模な山林火災はいずれも瀬戸内地方で発生（越智郡、今治市、四国中央市）**

- 笠松山周辺では、2008年と2025年の2回にわたって大規模な山林火災が発生



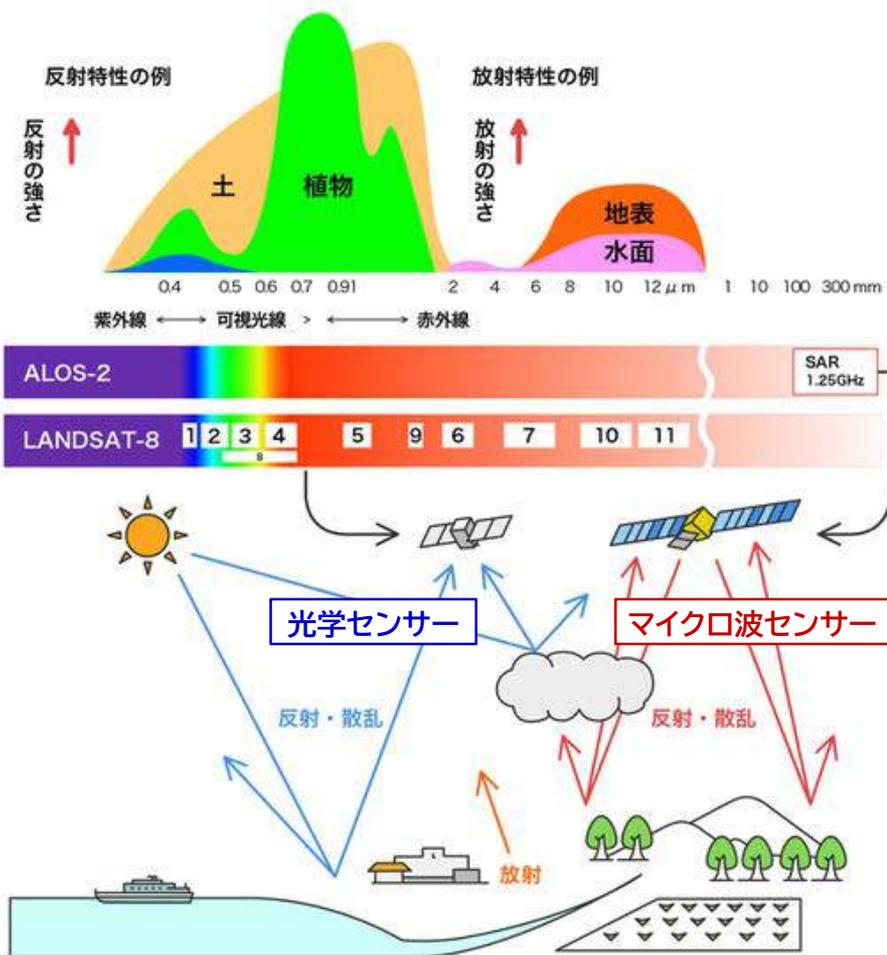
② 山林火災の被害推定

山林火災検知、被害推定のための衛星利用の有効性

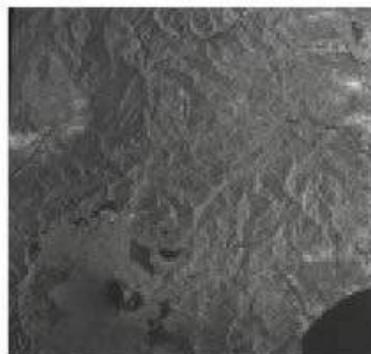
- 山林火災の特徴
 - 地域を問わず発生する
 - 突発的に発生する
 - 大規模化する可能性がある
日本においても数百～数千 haの規模に
 - 被害や影響の程度が一様でない
広範囲に対して詳細な状況把握が求められる
 - 影響が長期におよぶ可能性がある
火災後の継続観測や履歴の把握も重要になる
- 地球観測衛星の利点
 - 地球上のどこでも観測が可能
人が直接行くことが困難・危険な現場など
 - 広範囲の観測が可能
地上からは捉えきれない大規模な現象など
 - 即時観測が可能
時々刻々と変化する現象、状況の把握など
 - 長期間の定点観測が可能
過去数十年におよぶ環境変化の把握など
 - さまざまなセンサーを搭載して多岐にわたる観測を行っている
火災検知に有効な指標など、
さまざまな技術開発が進められている

地球観測衛星の利点を活かした山林火災検知、被害推定が期待されるが、
海外の山火事多発地域に比べると日本国内での利用例は少ない

地球観測衛星に搭載されているセンサーの種類



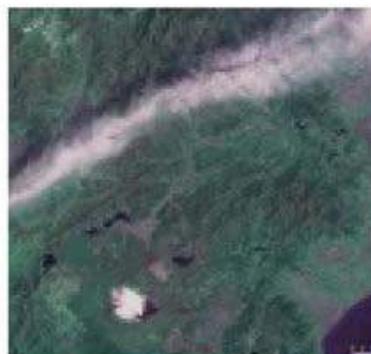
マイクロ波センサ



• SAR画像で見えるもの

- 対象物の構造や材質 (人工物か自然物か)
- 対象物の有無や変化
- 土壌水分量

光学センサ



• 光学画像で見えるもの

- 対象物の詳しい特徴 (色、大きさ、数、形状など)
- 土地利用・被覆の状況 (森林か田畑か市街地か、など)
- 植生の状況 (植物の種類、活性度など)

衛星リモートセンシングによる山林火災の検知手法

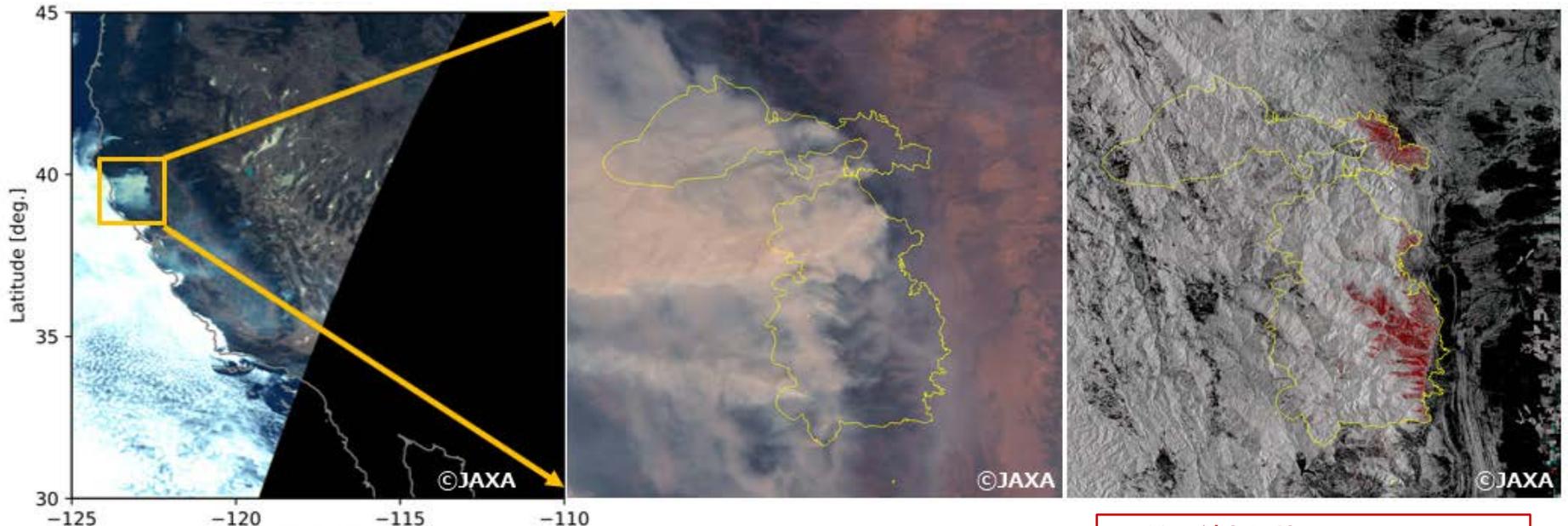
- 光学(受動)センサーを用いた山林火災の検知
 - 煙や燃焼熱の発生 (出火、延焼の即時検知)
 - 煙により大気中で可視光が散乱 (雲と同様、白っぽく見える)
 - 炎から中間赤外～熱赤外が放射 (異常高温域として検出)
 - 燃焼による地表環境の変化 (火災による被害状況の把握)
 - 可視光の反射特性が変わる (見た目の変化)
 - 植物が消失して近赤外の反射が弱まる
 - 植物や土壌の水分損失などで短波赤外の吸収が弱まる
- マイクロ波(能動)センサーを用いた山林火災の検知
 - 燃焼による地表環境の変化 (火災による被害状況の把握)
 - 植生などが焼失してマイクロ波の後方散乱が低下

山林火災検知手法の実用例

- マイクロ波(能動)センサーによる火災検知例

- **米国カリフォルニア州で2020年8月に発生した大規模火災**

- 左および中央の可視画像では、煙が立ち上がり火災が発生しているのはわかるが、地表面の被害状況はわからない
- 右の強度差分SAR画像で赤く示されているところは、火災による植生の焼失などが原因でマイクロ波の反射強度(後方散乱係数)が低下



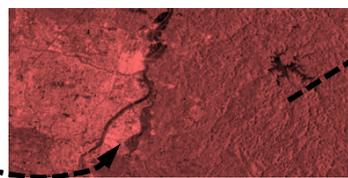
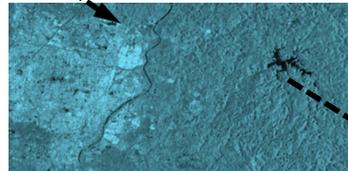
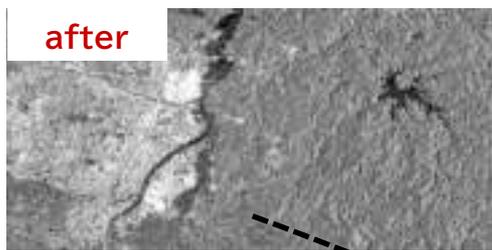
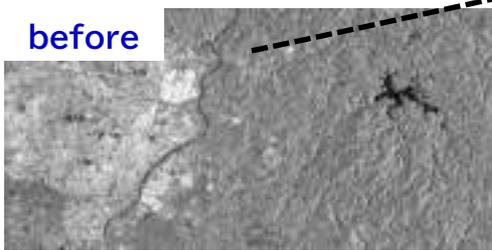
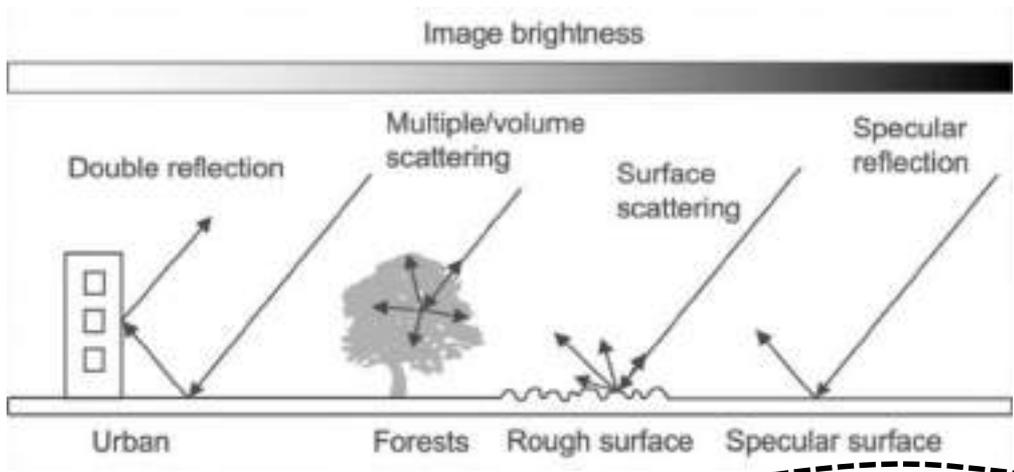
光学センサー(煙の検知)

光学センサー(煙の検知)

マイクロ波センサー
(燃焼で植生が焼失した領域の検知)

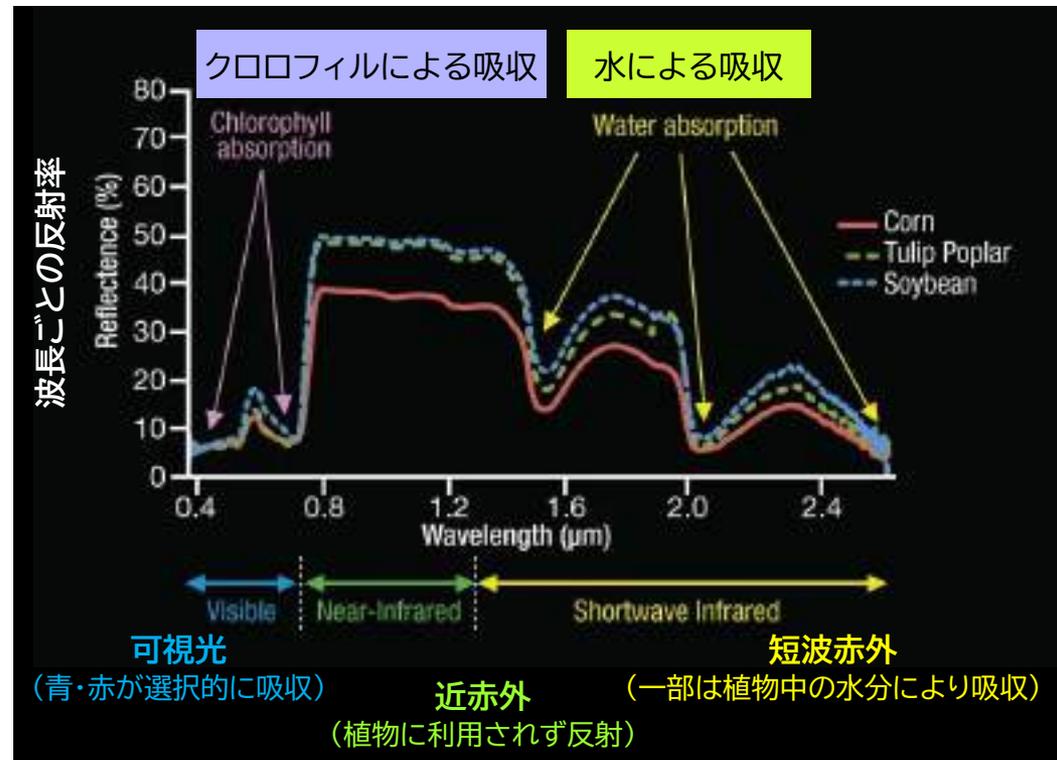
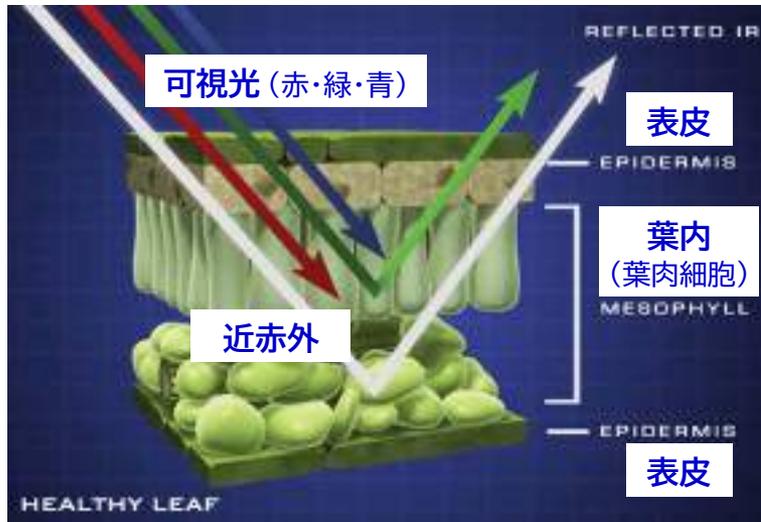
衛星リモートセンシングによる山林火災の検知手法

- マイクロ波(能動)センサーを用いた山林火災の検知
 - 燃焼による地表環境の変化 (火災による被害状況の把握)
 - 植生などが焼失してマイクロ波の反射強度 (後方散乱係数) が変化



衛星リモートセンシングによる山林火災の検知手法

- 光学(受動)センサーを用いた山林火災の検知
 - 燃烧による地表環境の変化 (火災による被害状況の把握)
 - 植物が消失して近赤外の反射が弱まる
 - 植物や土壌の水分損失などで短波赤外の吸収が弱まる



山林火災検知手法の実用例

- 光学(受動)センサーによる火災検知のための指標

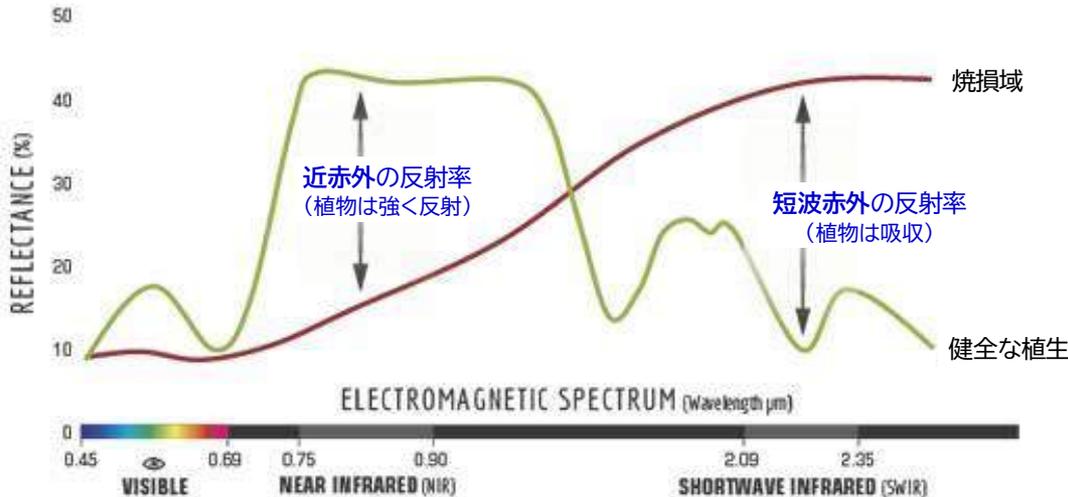
- **NBR (Normalized Burn Ratio; 正規化焼損比)**

- 近赤外(NIR)と短波赤外(SWIR)の反射率の比
$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

- **dNBR (differenced Normalized Burn Ratio)**

- 火災前後での正規化焼損比(NBR)の差分
$$dNBR = NBR_{\text{prefire}} - NBR_{\text{postfire}}$$

- 焼損度を7段階に区分する被害推定手法が提案されている (Lutes *et al.*, 2006)

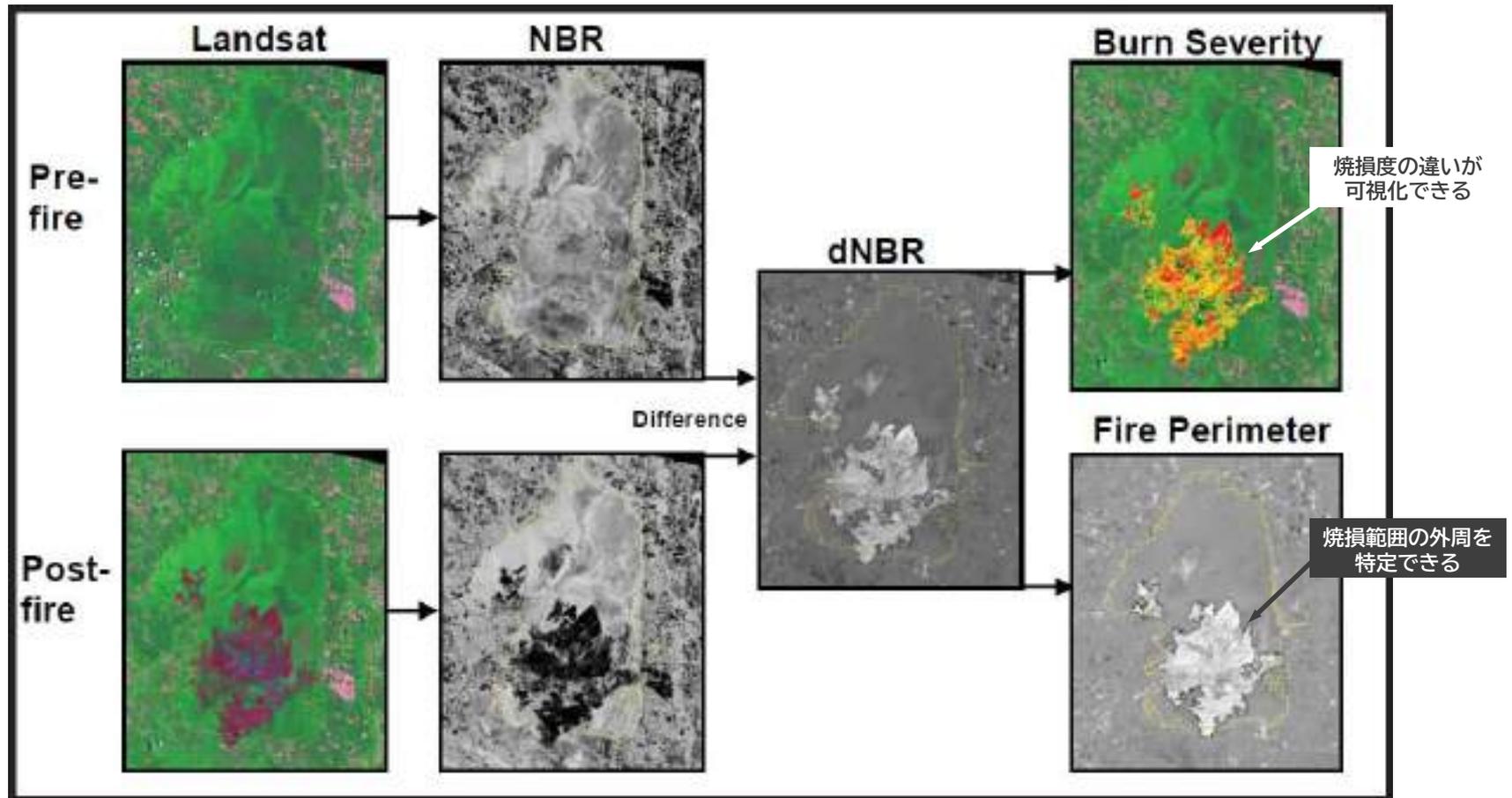


dNBR値に基づく焼損度レベル (Lutes *et al.*, 2006)

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)
高い水準での植生回復 (火災後)	-500 to -251
低い水準での植生回復 (火災後)	-250 to -101
焼損せず	-100 to +99
低強度の焼損	+100 to +269
低~中強度の焼損	+270 to +439
中~高強度の焼損	+440 to +659
高強度の焼損	+660 to +1300

山林火災検知手法の実用例

- 光学(受動)センサーによる山林火災の焼損度観測
- **NBR値およびdNBR値に基づく焼損度区分、焼損範囲の特定**



2025年3月の山林火災の被害推定

(Landsat画像の解析①、2025年3月～2025年4月)



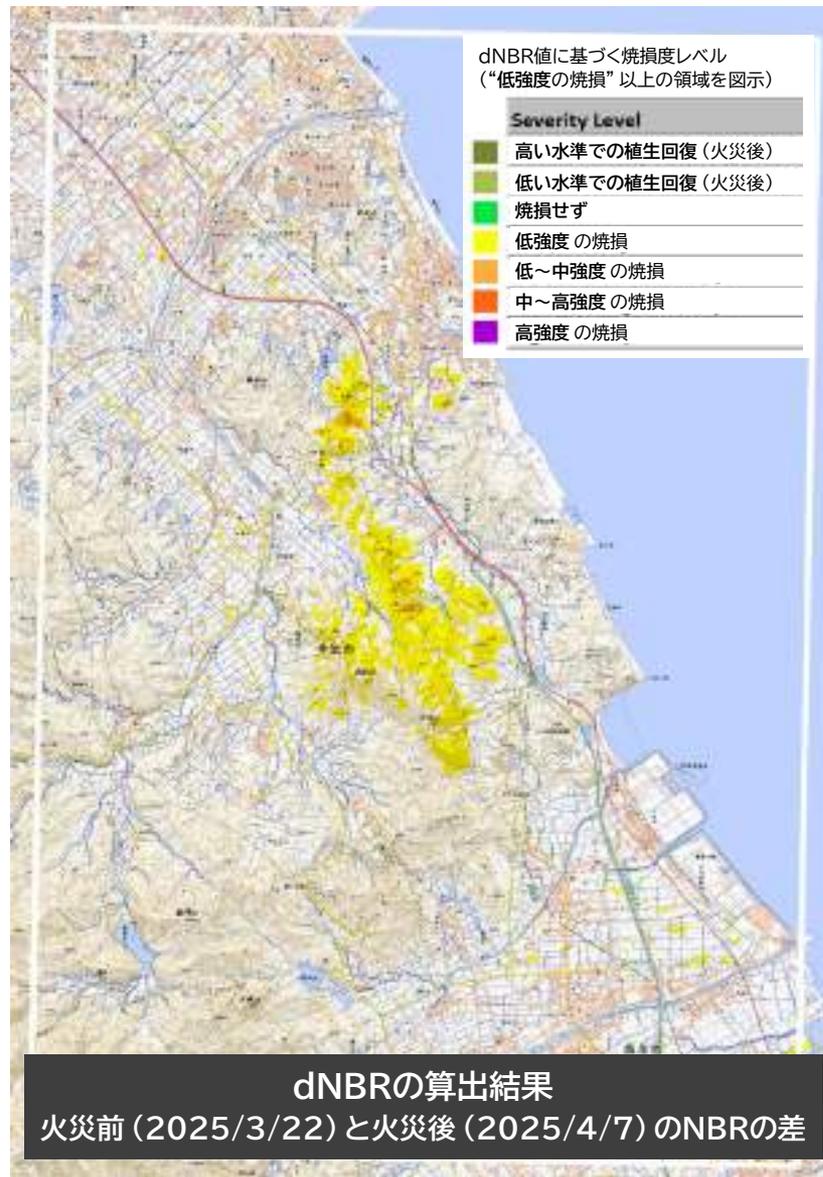
火災前 (2025/3/22) 火災後(2025/4/7)

Landsat-8 トルーカラー画像



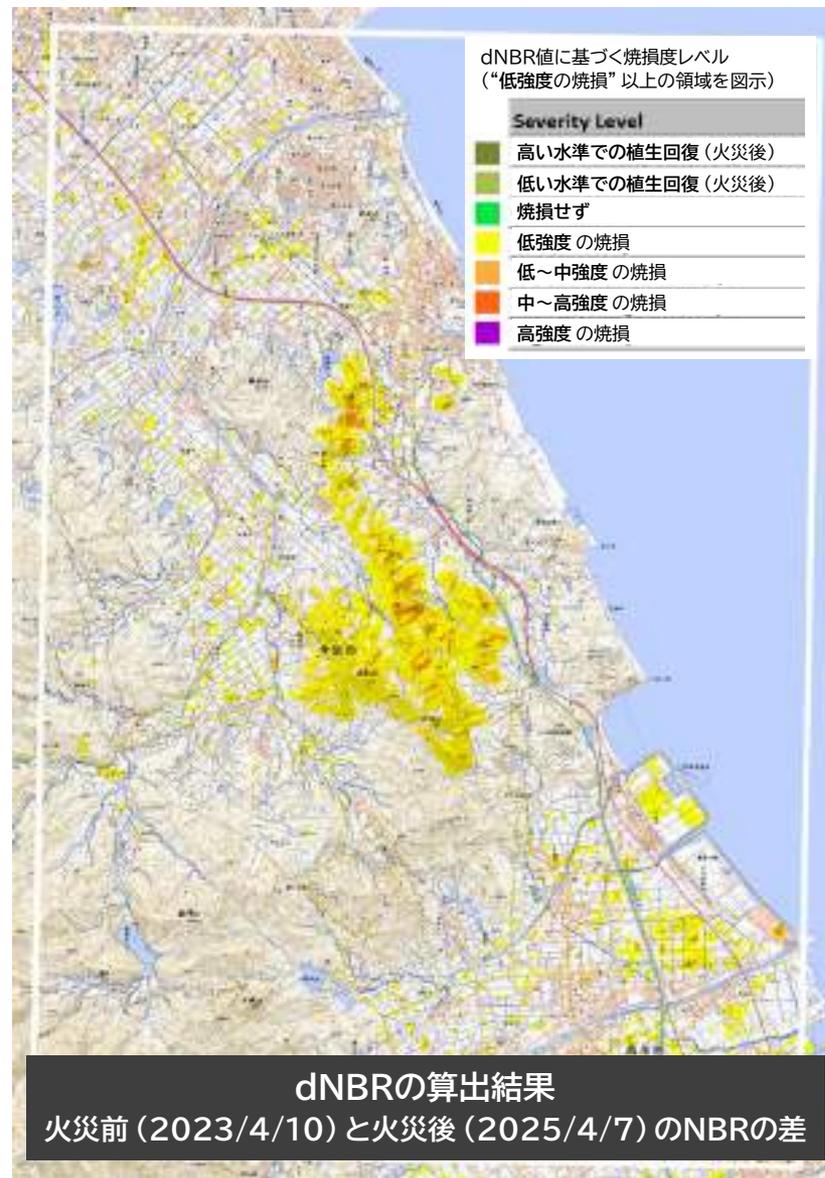
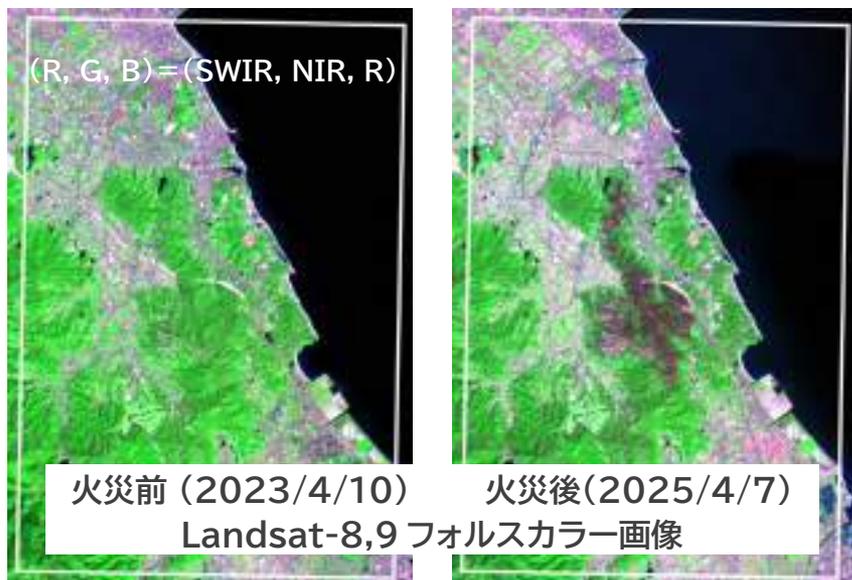
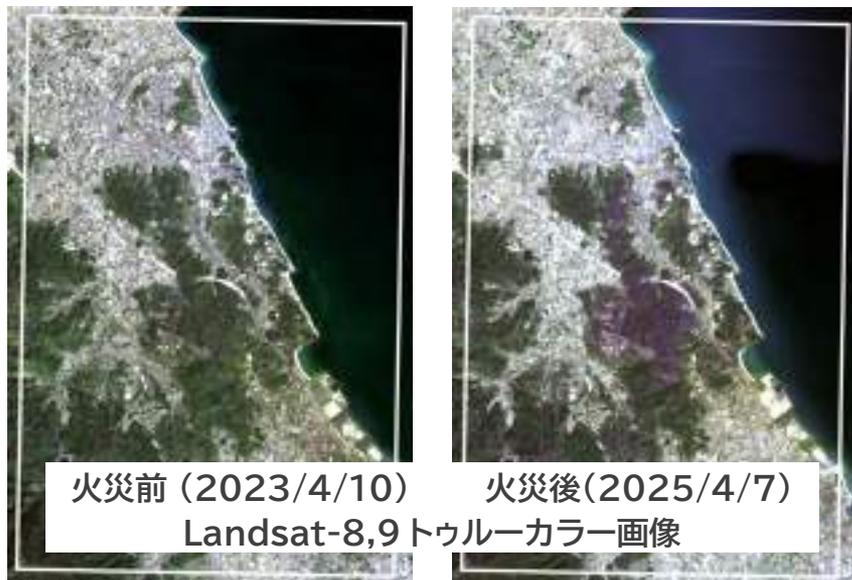
火災前 (2025/3/22) 火災後(2025/4/7)

Landsat-8 フォルスカラー画像



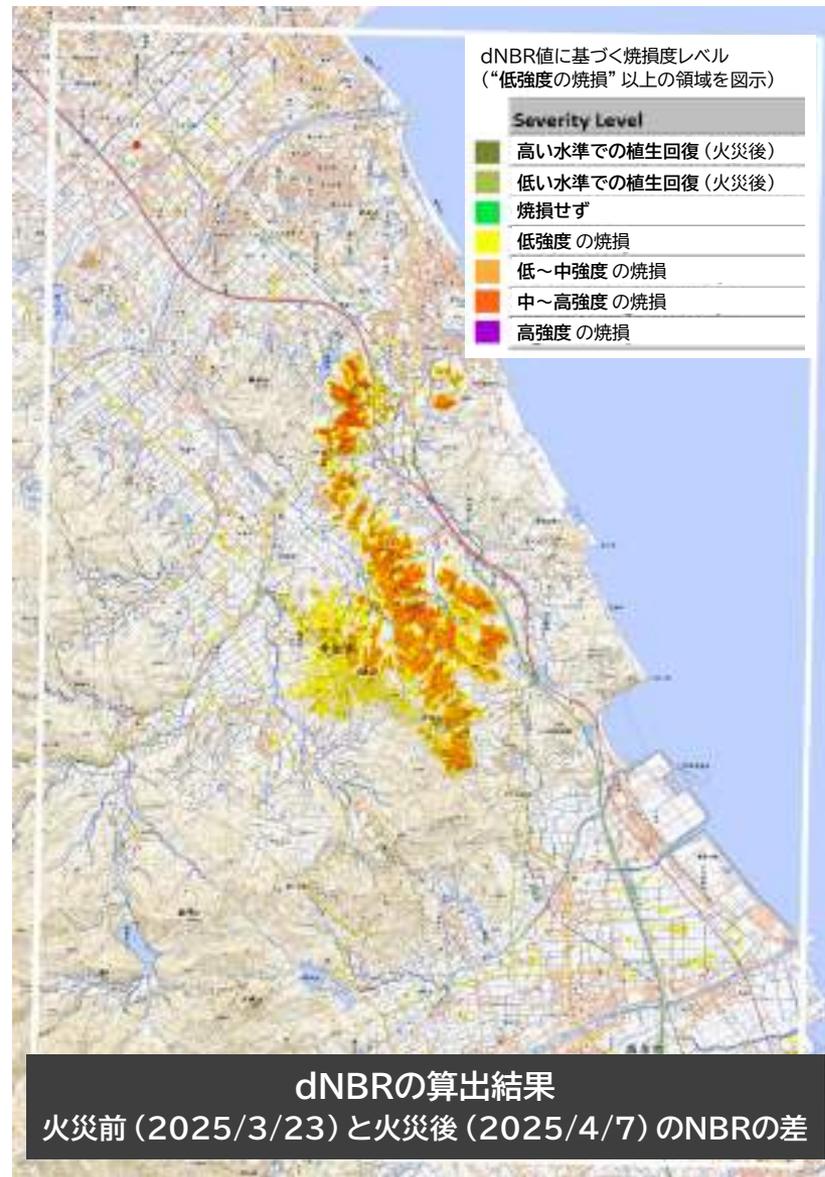
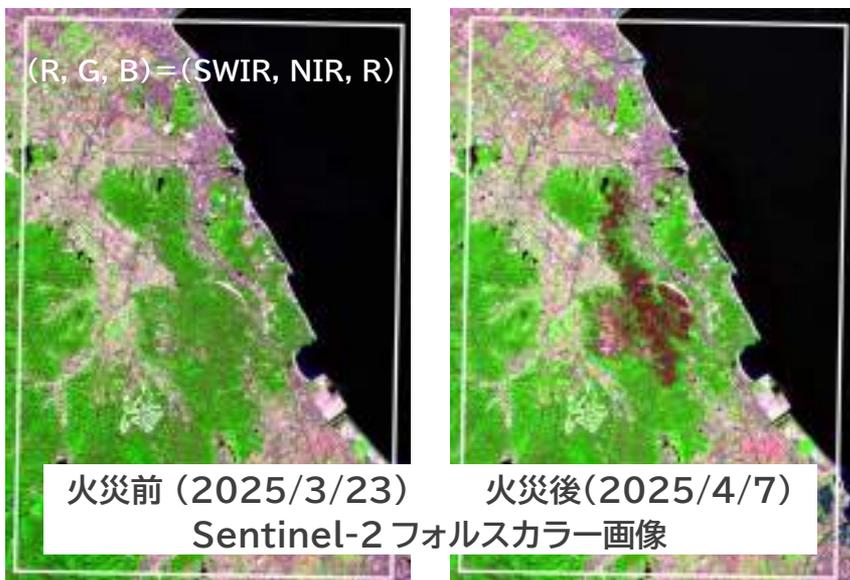
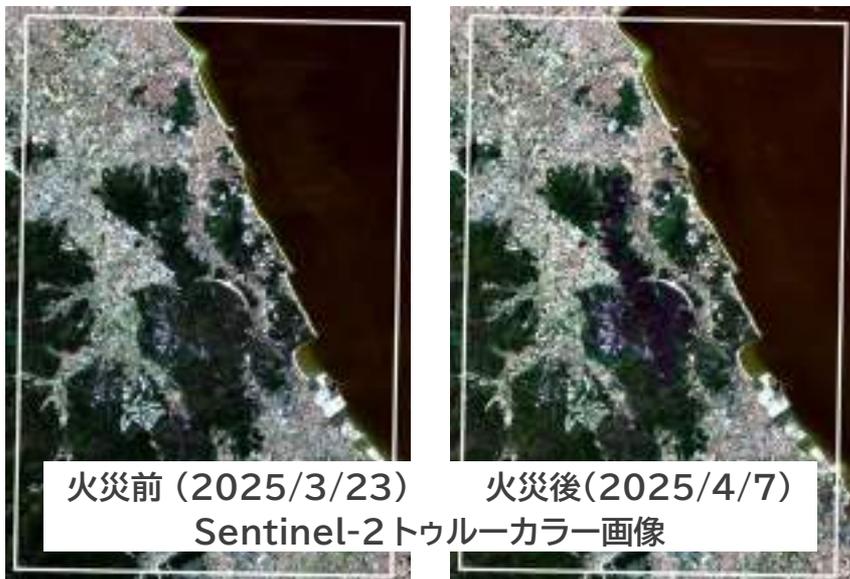
2025年3月の山林火災の被害推定

(Landsat画像の解析②、2023年4月～2025年4月)

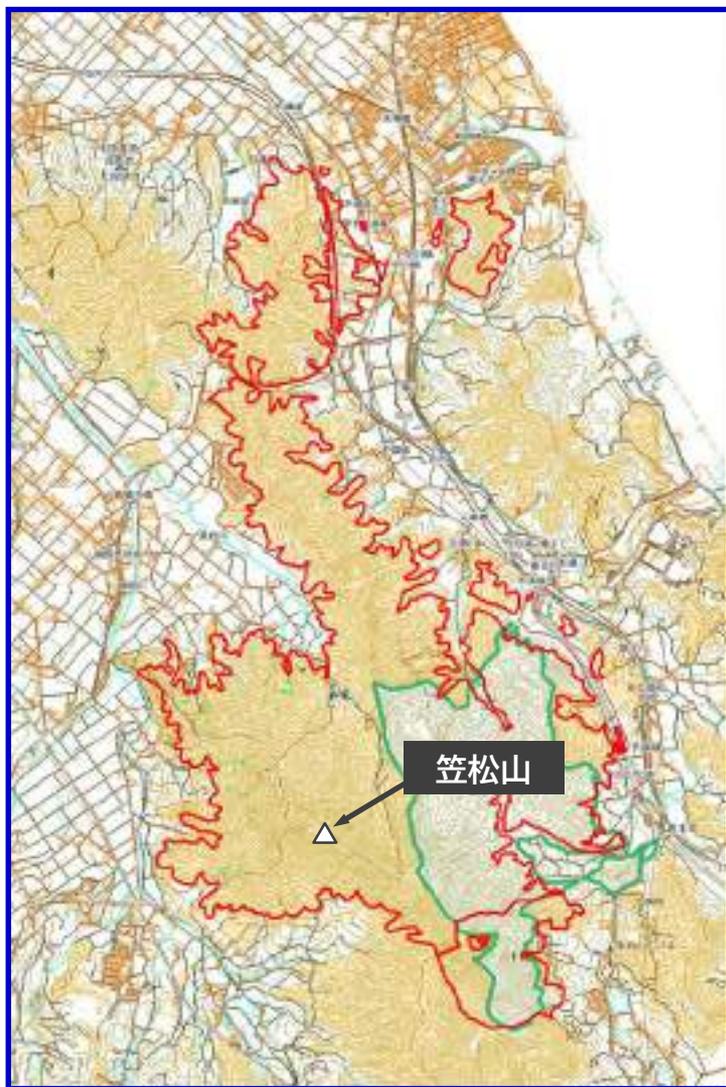


2025年3月の山林火災の被害推定

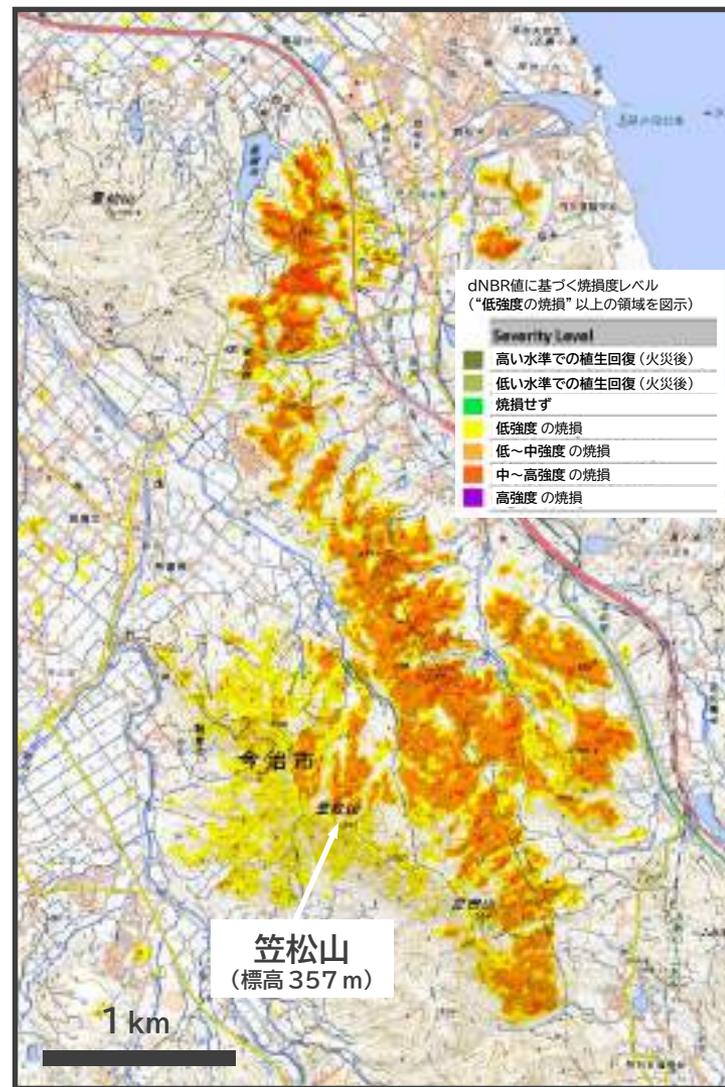
(Sentinel画像の解析、2025年3月～2025年4月)



2025年3月の山林火災の被害推定精度 (復旧・復興計画策定検討会資料にある焼損区域との比較)



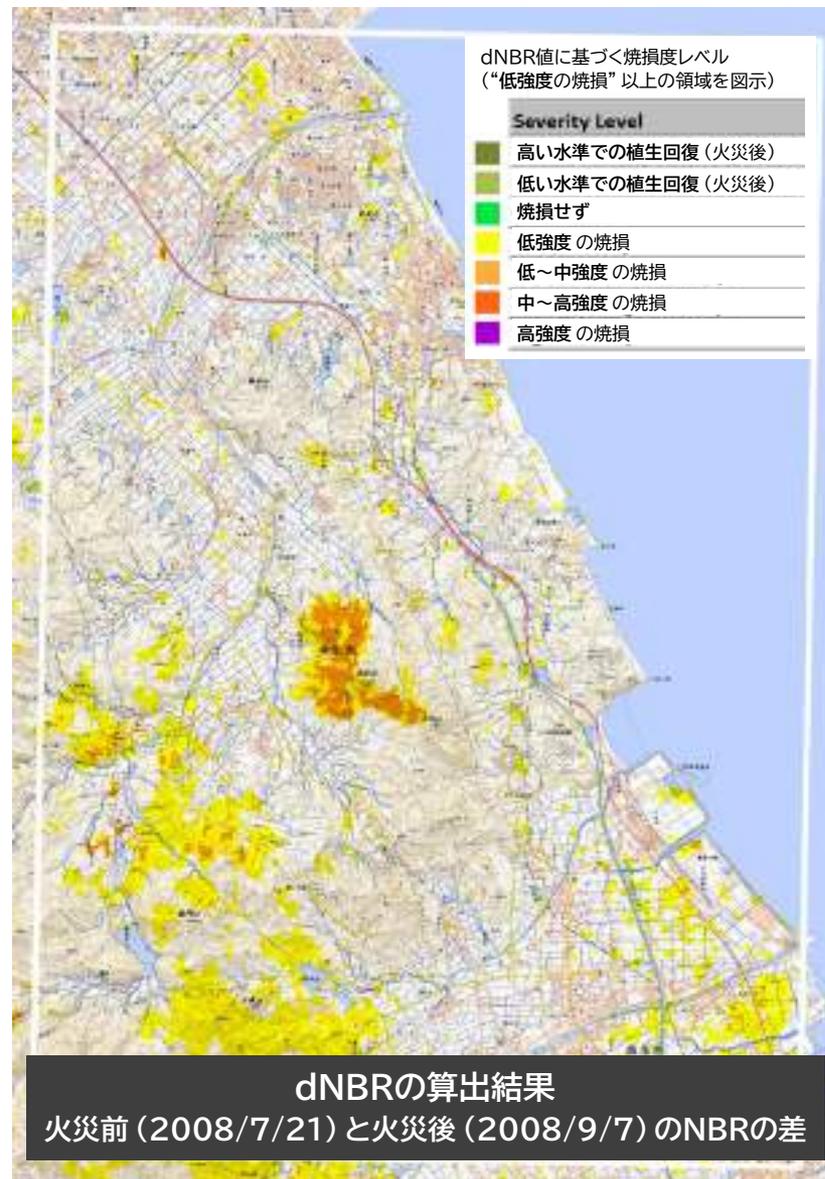
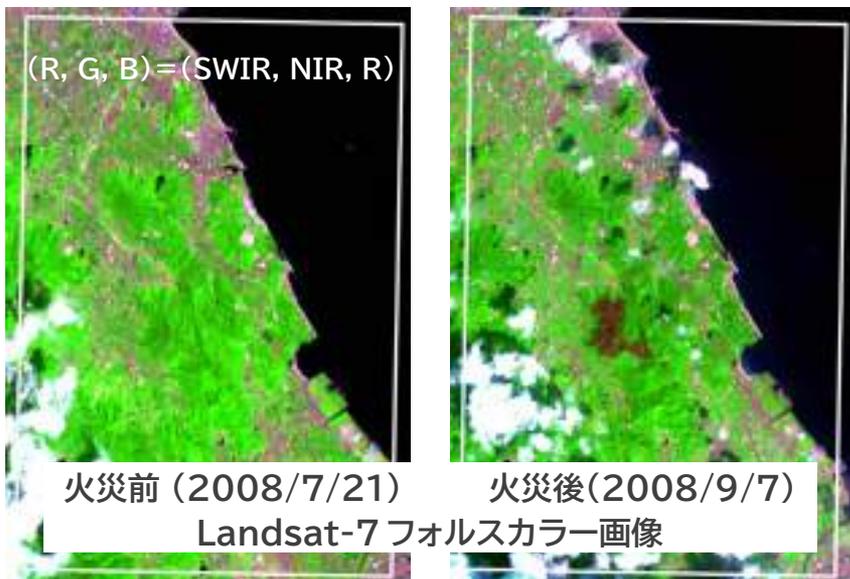
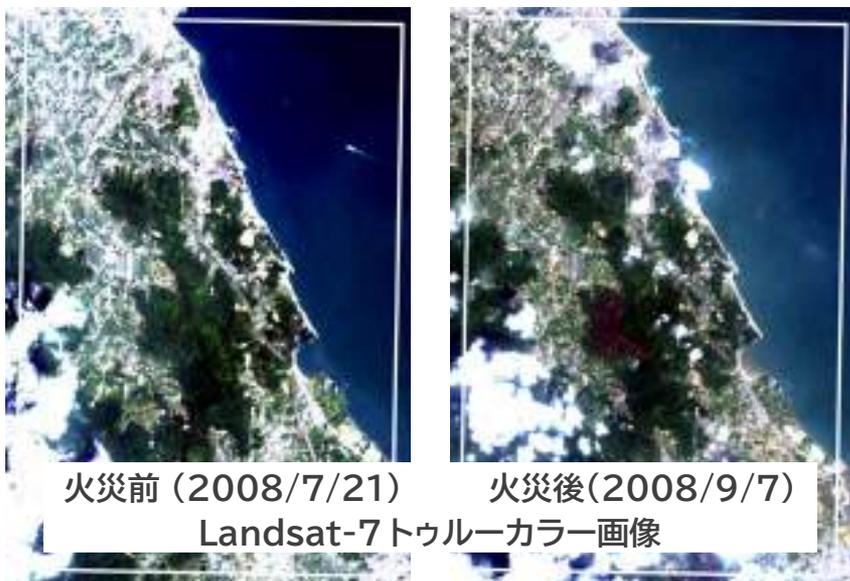
令和7年今治市林野火災復旧・復興計画策定検討会資料
(<https://www.city.imabari.ehime.jp/rinyakasai/>)



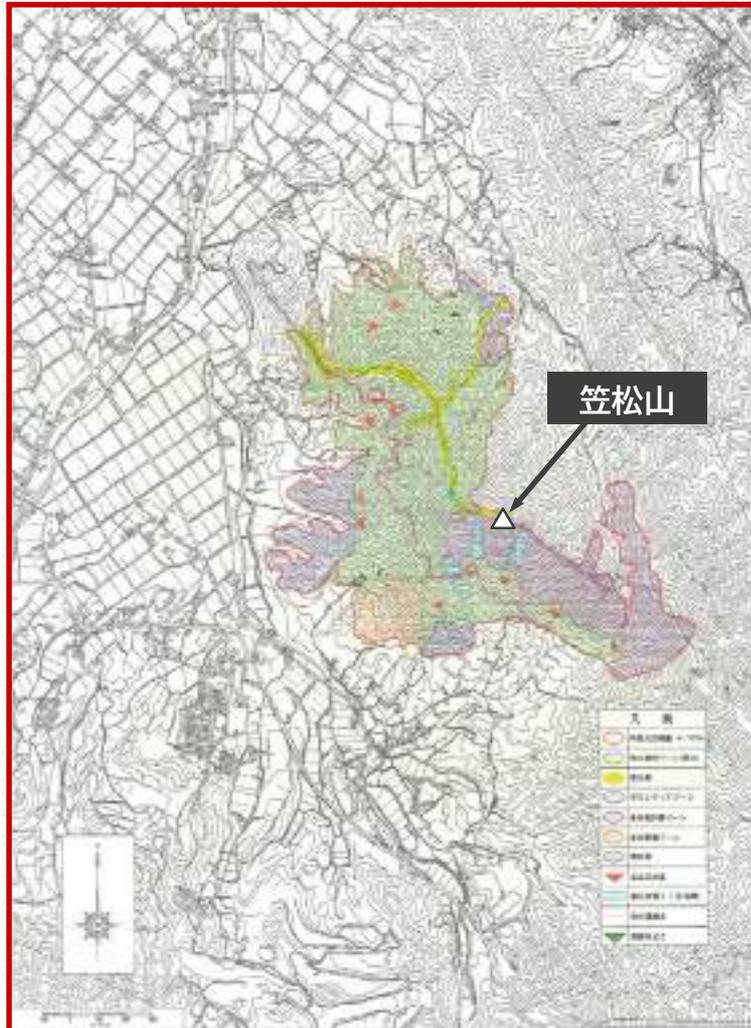
dNBRの算出結果
火災前 (2025/3/23) と火災後 (2025/4/7) のNBRの差

2008年8月の山林火災の被害推定

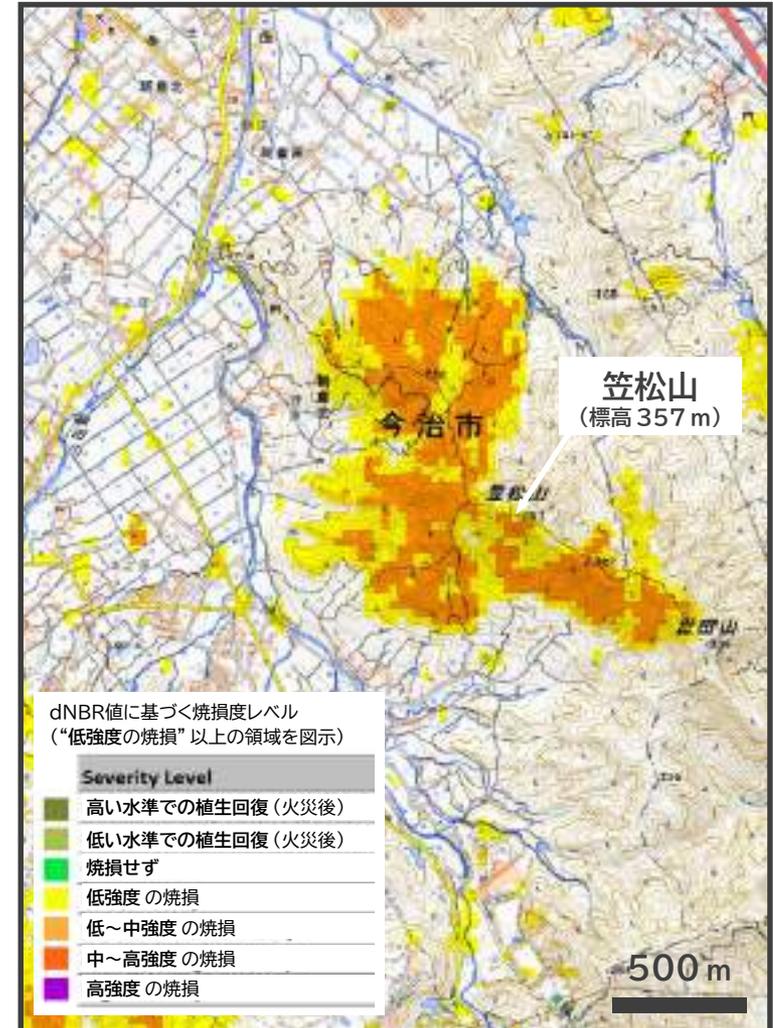
(Landsat画像の解析、2008年7月～2008年9月)



2008年8月の山林火災の被害推定精度 (復旧計画書にある林野火災範囲との比較)



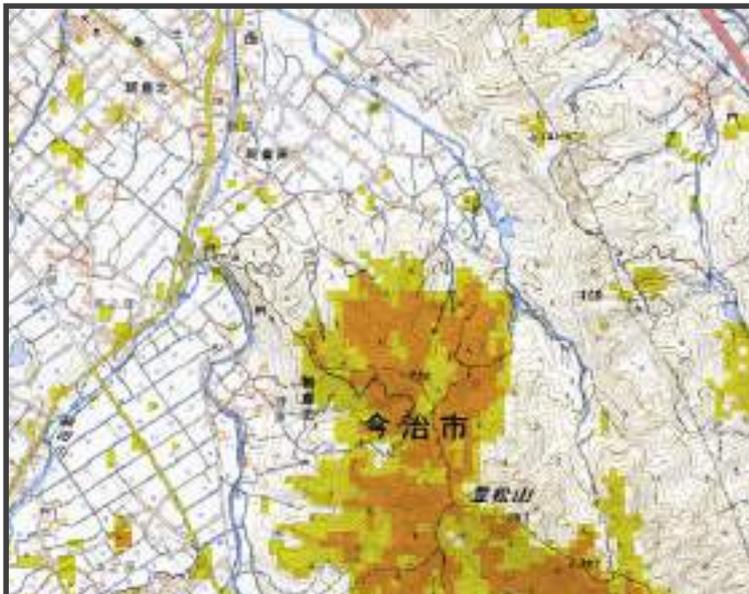
今治市 笠松山山林火災復旧計画書より
(今治市 笠松山山林火災復旧計画策定会, 2008)



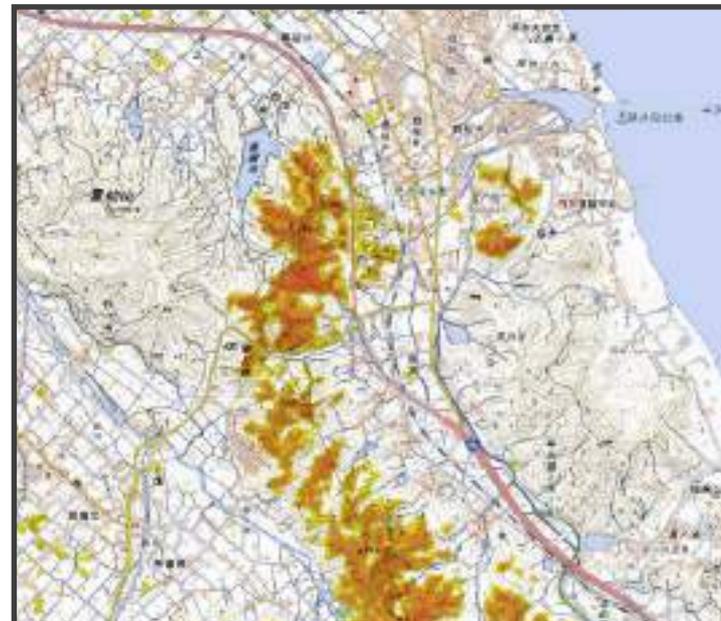
dNBRの算出結果
火災前(2008/7/21)と火災後(2008/9/7)のNBRの差

2つの山林火災の焼損範囲の比較

(報告資料等にある林野火災範囲との比較)



- **報告された焼損面積: 107.0 ha**
 - 国有林2 haを含む
 - 今治市 笠松山山林火災復旧計画書 より
- **dNBR値に基づく焼損面積: 109.8 ha**
 - dNBR値で“低強度の焼損”以上の領域を抽出した場合
 - “中～低強度の焼損”以上の領域に限ると、焼損面積は55.3 haに
- **報告面積の103%ほど 妥当な見積り**



- **報告された焼損面積: 481.6 ha**
 - 今治市448.0 ha、西条市 33.6 ha
 - 令和7年 今治市林野火災復旧・復興計画策定検討会資料 より
- **dNBR値に基づく焼損面積: 346.4 ha**
 - dNBR値で“低強度の焼損”以上の領域を抽出した場合
 - “中～低強度の焼損”以上の領域に限ると、焼損面積は178.4 haに
- **報告面積の72%ほど やや過小な見積り**

2008年8月の山林火災

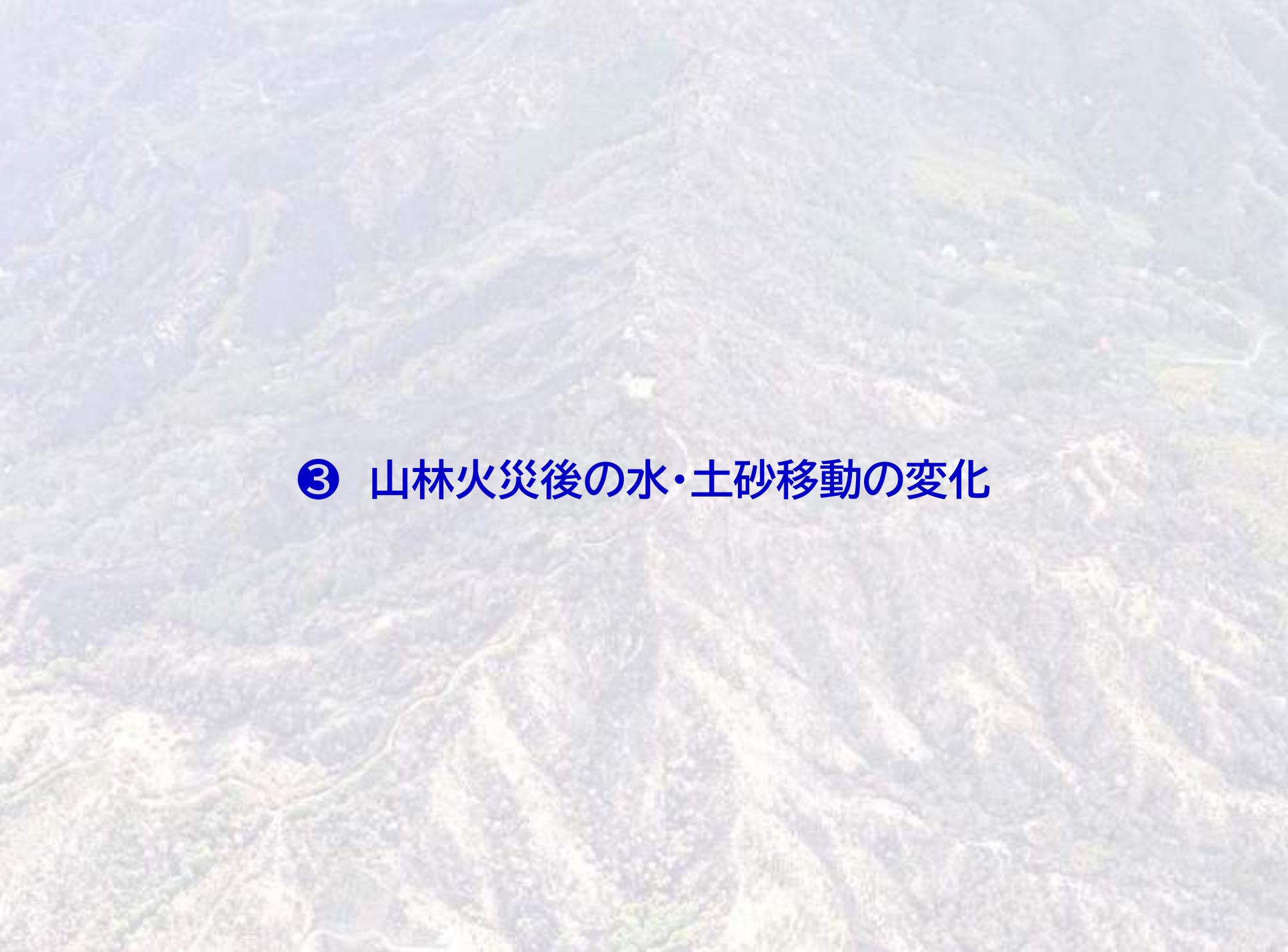
火災前(2008/7/21)と火災後(2008/9/7)のNBRの差

2025年3月の山林火災

火災前(2025/3/23)と火災後(2025/4/7)のNBRの差

② 山林火災の被害推定

- 衛星リモートセンシングによる山林火災の検知手法
 - 地球観測衛星には多くの利点があり、山林火災検知、被害推定に適している
 - 地球上のどこでも／広範囲で／即時の／長期間にわたり定点での観測が可能
 - 海外の山火事多発地域を中心に、火災検知に有効な指標など、さまざまな技術開発が進められている
 - 光学(受動)センサーを用いた山林火災の被害状況検知
 - 植物が焼損・消失することで近赤外の反射が弱まる特性を利用した指標 (NBR, dNBR) が広く用いられている
 - 指標値を分析することで、焼損範囲 (外周、面積) だけでなく焼損度分布の推定が可能
- 2025年と2008年に今治市で発生した山林火災の被害推定
 - 両事例とも、衛星アーカイブデータ (Landsat, Sentinel-2) から焼損範囲や焼損度分布を求めることができた
 - 焼損面積を比較すると、報告資料等と同等かやや過小な見積りとなった
 - 使用するデータ (衛星の種類、火災前後ペア画像の観測日) 次第で焼損範囲や焼損度分布が大きく変わることもあるため、適切なデータ選定をどのように行うかが課題

An aerial photograph of a mountainous region. The terrain is rugged with numerous ridges and valleys. A prominent river valley runs through the center of the image, with a river winding through it. The vegetation is dense and green, covering most of the slopes. The overall scene is a natural, mountainous landscape.

③ 山林火災後の水・土砂移動の変化

山林火災が水・土砂移動に及ぼす影響

- 山林火災による地表環境への影響

- 植生の燃烧による林冠被覆や地表被覆の焼失、焼損**

遮断損失など蒸発散量の低下、土壌の侵食に対する抵抗力や根系緊縛力の低下、地表面粗度の低下

- 地表の燃烧による土壌の性質変化**

撥水性をもつ層の形成、灰の被覆や目詰まりなどによる透水性の低下、粒度や孔隙組成の変化

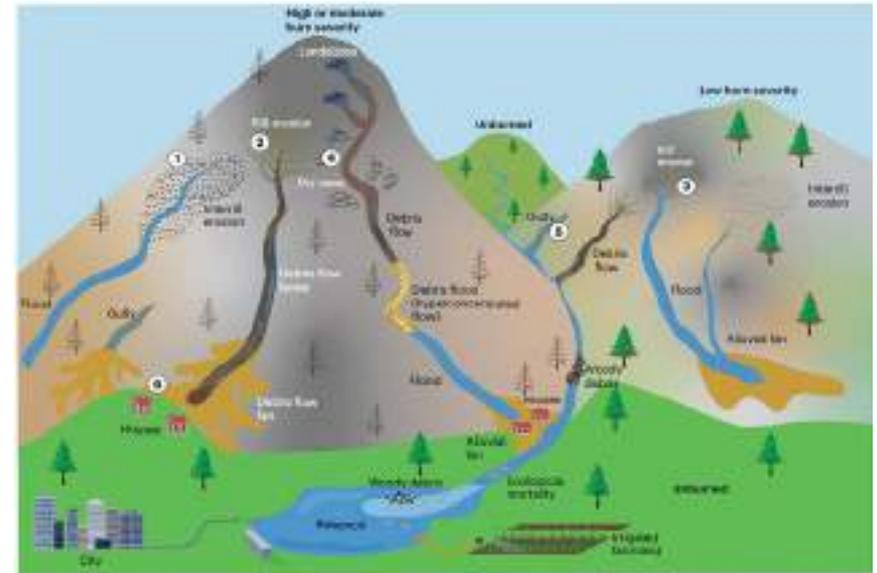
- 降雨流出や土砂移動の変化

- 遮断損失の減少、表面流の増加**

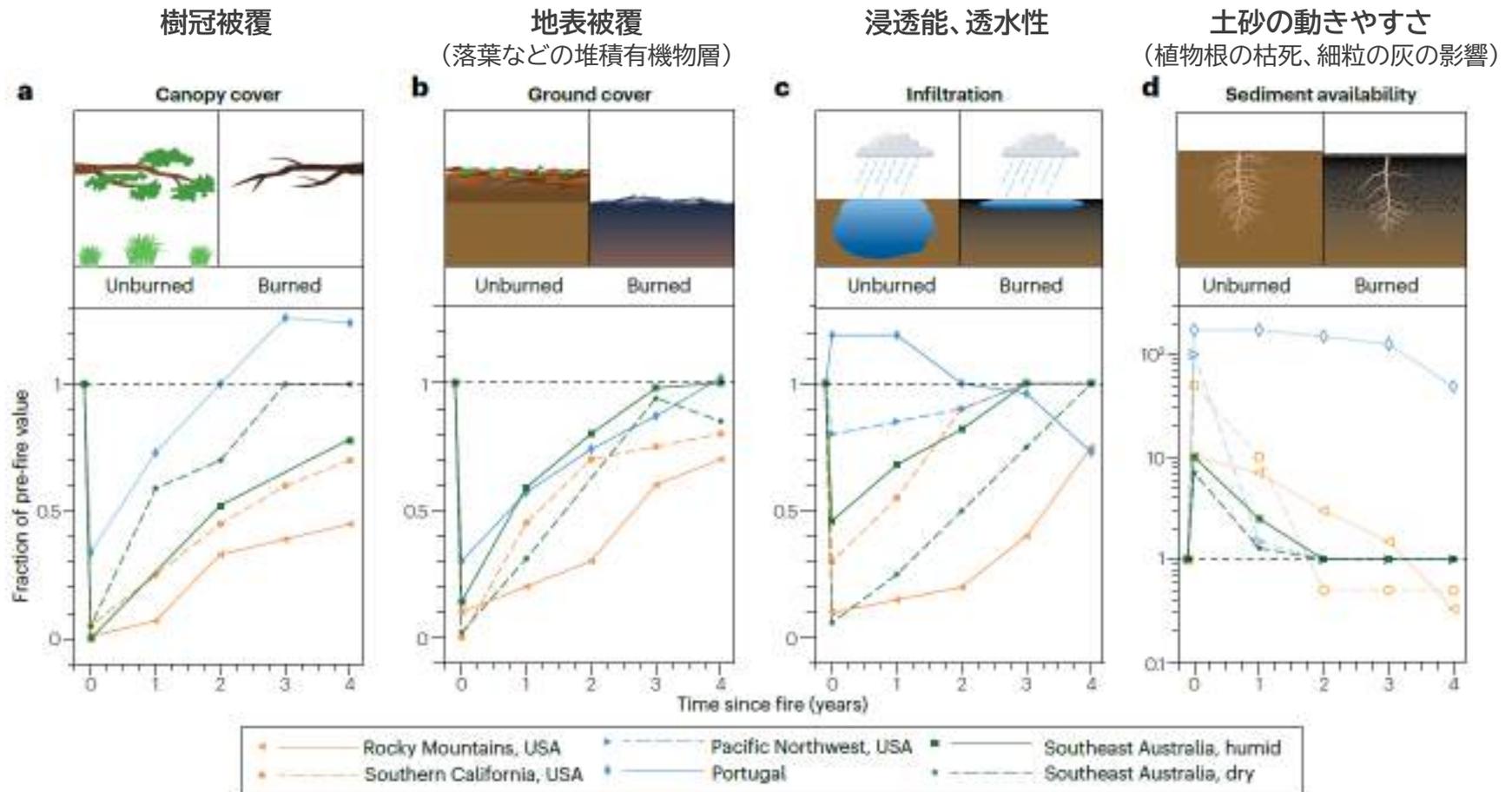
侵食作用の増加

- 表面侵食(リル間侵食)、リル・ガリー侵食、ドライラベル、土石流、斜面崩壊**

(降雨に伴う)斜面上での土砂移動が活発に



山林火災が水・土砂移動に及ぼす影響



水・土砂移動への影響の程度やその持続期間は、植生や火災の特性を反映して、地域ごと、事例ごとに異なる可能性がある

調査方法

● 調査地点の選定

● 山林火災の影響の空間変異や時間変化を明らかにするため

- 焼損度の異なる領域が近接
(軽度～重度の被害領域と無被害の領域が比較可能)
- 類似した地形・植生条件
(火災前には同様の環境であったとみなせる)
- 各種現地試験の実施が可能
(散水式浸透能試験が困難な急斜面は避ける)

● 調査項目

● 浸透能、透水性

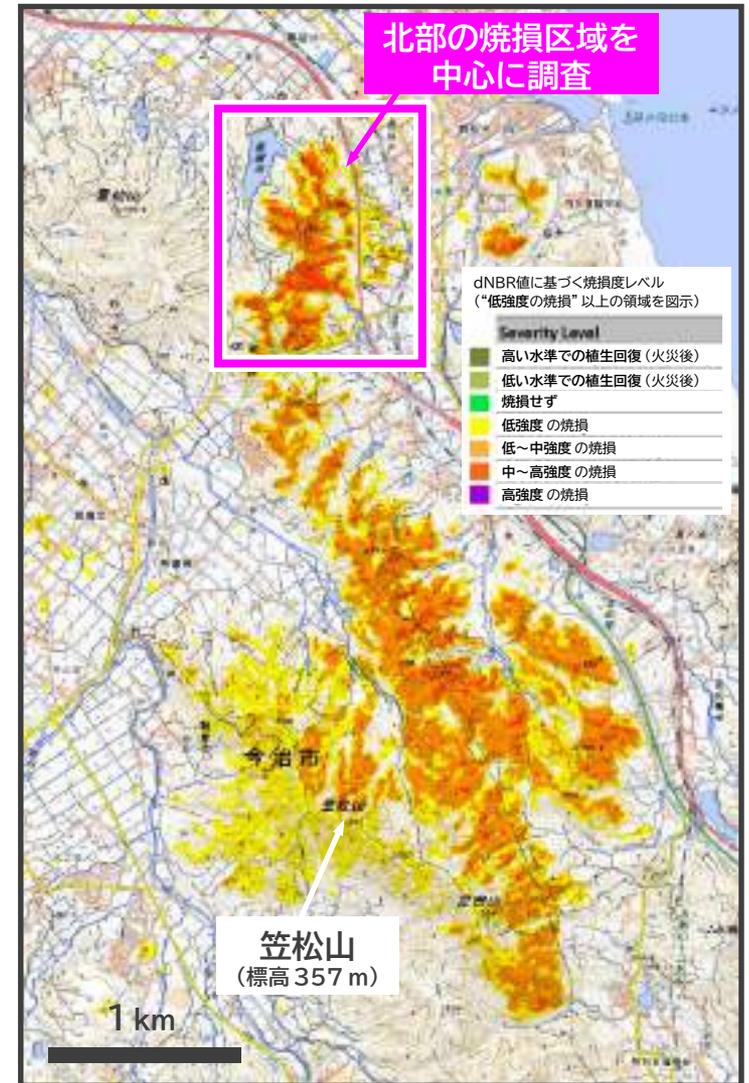
- 散水式浸透能試験 (地頭菌, 2020)
- インフィルトロメーター (Lewis *et al.*, 2006など)

● 表面侵食量 (※分析中)

- 浸透能試験時の流出土砂等の量を計測

● 撥水性

- WDPT法 (Dekker & Ritsema, 1994など)



dNBRの算出結果
火災前 (2025/3/23) と火災後 (2025/4/7) のNBRの差

調査地点



※ Sentinel-2によるdNBRの解析結果と現地での火災被害状況(焼損度区分:村井, 1972)をもとに現地調査地点を選定した。調査地点の位置を2025年4月3日撮影の斜め写真(国際航業株式会社より提供)上に示す。

調査地点



無被害: 焼損範囲外の自然林
(dNBR値で“焼損せず”)



軽度: 林床～樹幹基部の一部が焼損
(dNBR値で“焼損せず”)



重度: 林床～樹幹～樹冠がすべて焼損
(dNBR値で“中～高強度の焼損”)

山林火災後の斜面における表土層の浸透能の計測 (簡易的な散水式浸透能試験の実施)



- 散水式浸透能試験 (地頭蘭, 2020)

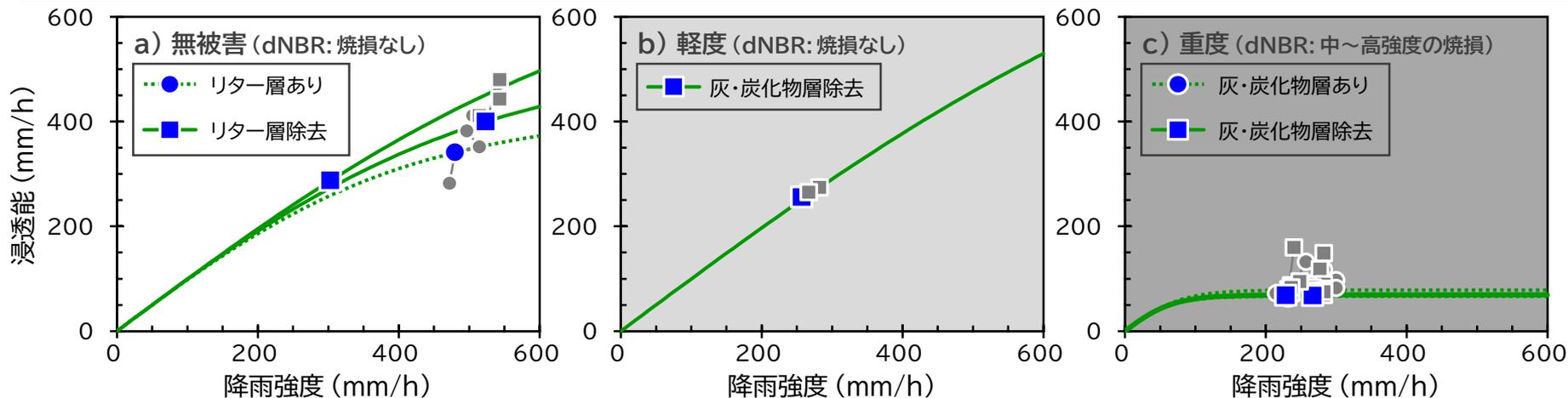
- **じょうろによる散水で発生した表面流出量から浸透能を測る簡易な試験法**

- 100×50 cmの方形区内に2～4 lの水を散水して表面流出量を計測、表面流出量が概ね一定になるまで繰り返し、最終浸透能を求める (地点により散水強度が異なることを考慮して、田中・時岡(2007)が提案した降雨強度－浸透能関係式で得られる近似曲線と最大浸透能を比較)
- リター層や灰・炭化物層などを残したままの場合と除去した場合の2通りの試験を行う

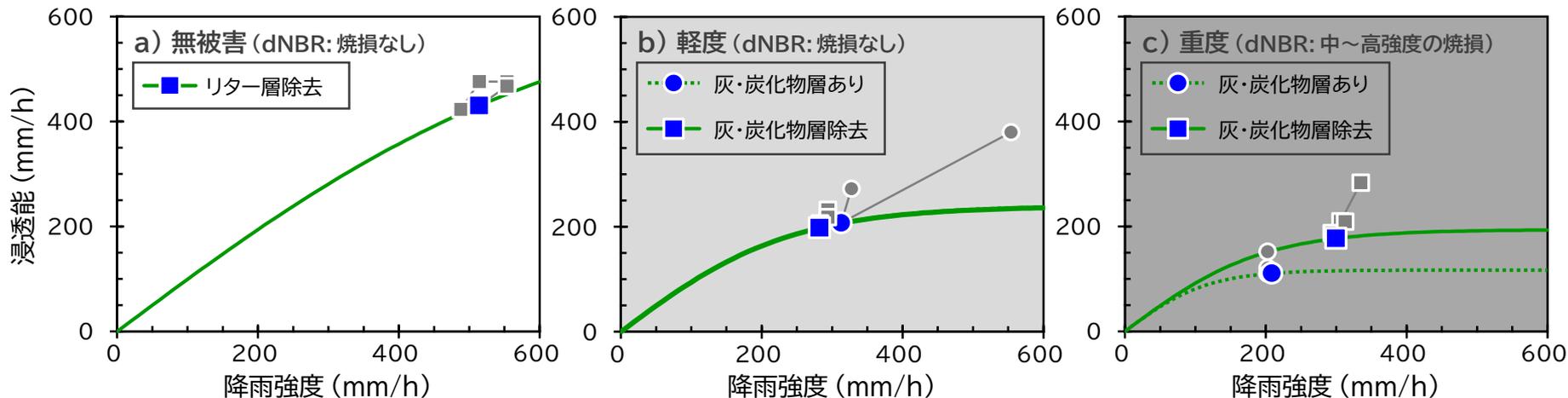
山林火災後の斜面における表土層の浸透能

(簡易的な散水式浸透能試験による計測結果※)

火災約2ヵ月後 (2025/5/27~2025/6/5)



火災約6ヵ月後 (2025/10/1~2025/10/6)



※ 各図に、散水式浸透能試験の測定結果をプロットし、それぞれの試験での最終浸透能の値に合わせて近似した降雨強度－浸透能関係式(田中・時岡, 2007)を曲線で示した。

山林火災後の斜面における表土層の撥水性の測定 (水滴侵入時間(WDPT)法の実施)



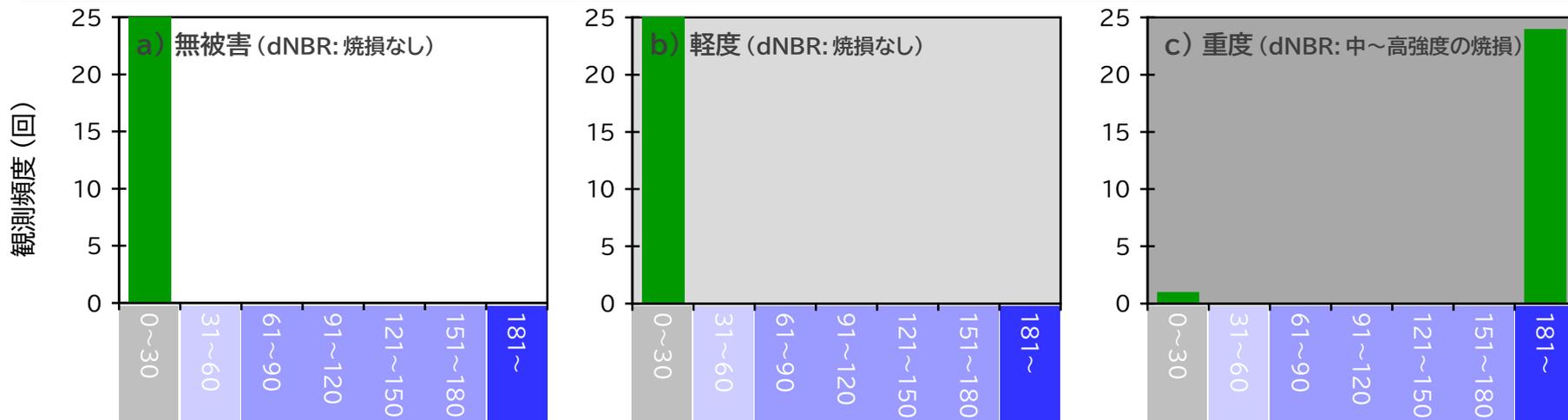
• 水滴侵入時間(WDPT)法

• 滴下した水滴が消えるまでの時間から土の撥水性を測る簡易な試験法

- 現地でリター層や灰・炭化物層などを除去して表土を1～2 cm剥いだ面に水を滴下し、水滴が消えるまでの時間を計測 (20×20 cmの方形区内で、位置をずらしながら25～35回滴下、測定)
- Dekker & Ritsema (1994)などの方法に則り、撥水性なし(0～30秒)・弱(31～60秒)・中(61～180秒)・強(181～360秒)に区分

山林火災後の斜面における表土層の撥水性 (水滴侵入時間(WDPT)法による測定結果※)

火災約2ヵ月後 (2025/6/2~2025/6/5): リター層、灰・炭化物層を除去して表土を1~2 cm剥いだ面に水を滴下して計測



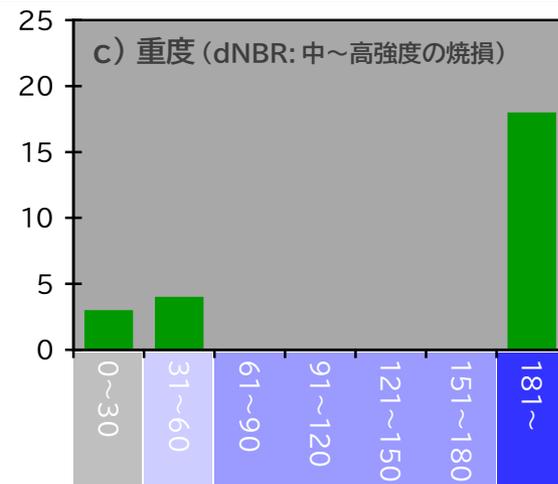
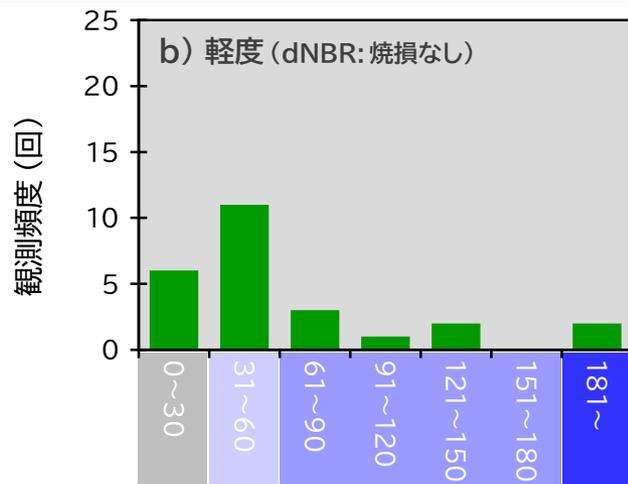
火災約6ヵ月後 (2025/10/24): リター層、灰・炭化物層を除去して表土を1~2 cm剥いだ面に水を滴下して計測



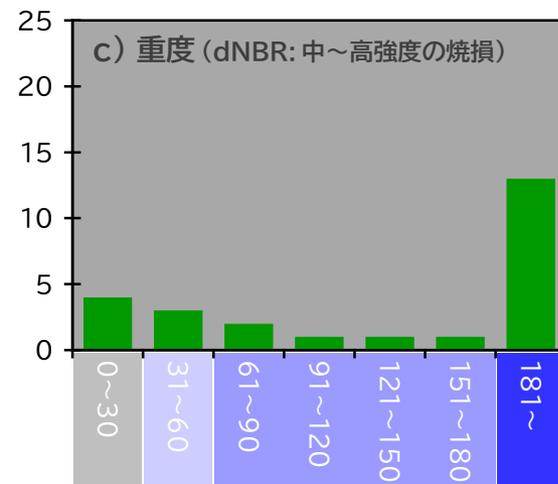
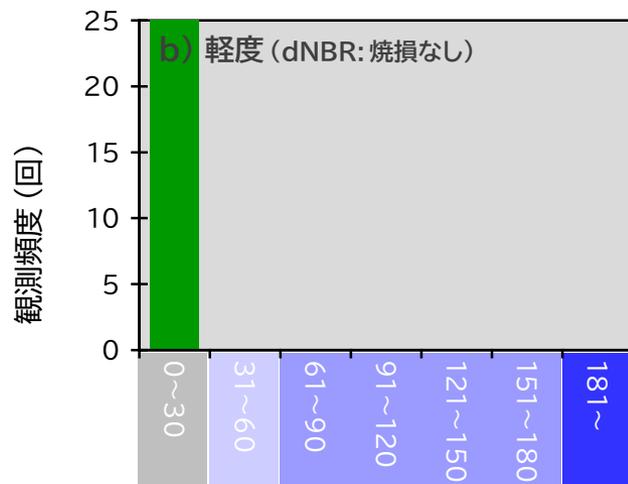
※ Dekker & Ritsema (1994)などの方法に則り、撥水性なし(0~30秒)・弱(31~60秒)・中(61~180秒)・強(181~360秒)に区分

山林火災後の斜面における表土層の撥水性 (水滴侵入時間(WDPT)法による測定結果※)

火災約2ヵ月後 (2025/6/2~2025/6/5): リター層、灰・炭化物層を除去して表土を1~2 cm剥いだ面に水を滴下して計測



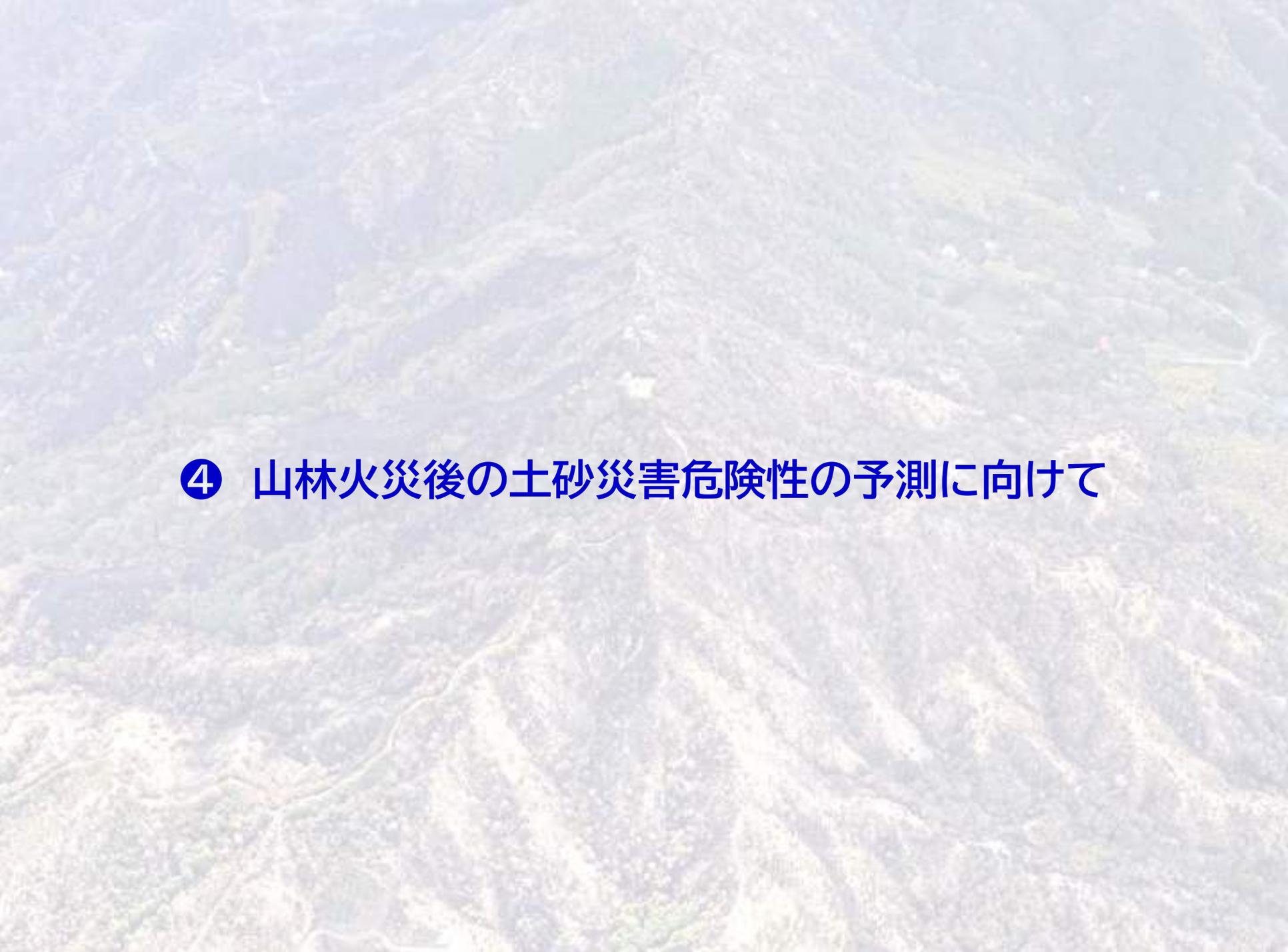
火災約6ヵ月後 (2025/10/24): リター層、灰・炭化物層を除去して表土を1~2 cm剥いだ面に水を滴下して計測



※ Dekker & Ritsema (1994)などの方法に則り、撥水性なし(0~30秒)・弱(31~60秒)・中(61~180秒)・強(181~360秒)に区分

③ 山林火災後の水・土砂移動の変化

- 山林火災が水・土砂移動に及ぼす影響について
 - 林冠被覆や地表被覆の焼失・焼損、地表の燃焼による土壌の性質変化が原因で水移動が変化、侵食作用が増加して斜面上での土砂移動が活発に
 - 水移動：遮断損失（植生による蒸発散量）の減少、表面流の増加
 - 土砂移動：表面侵食（リル間侵食）、リル・ガリー侵食、ドライラベル、土石流、斜面崩壊
 - しかし、水・土砂移動への影響の程度やその持続期間は、植生や火災の特性を反映して地域ごと、事例ごとに異なる可能性がある
 - 現地における基礎的な調査観測データの蓄積がまだまだ必要
- 2025年3月の火災発生から半年後までの現地調査結果
 - 焼損度の高い斜面で認められた著しい浸透能の低下は、半年後には回復の兆し
 - 火災2ヵ月後よりも浸透能は高くなり、撥水性も弱くなった
 - ただし、無被害の森林斜面と比べると浸透能は低く、まだ、火災前の状態に回復したとは考えにくい
 - 浸透能試験による表面流出量と侵食量（流出土砂量の計測）を継続し、今回の火災の影響の程度や持続期間を明らかにしたい

An aerial photograph of a mountainous region. The terrain is rugged with steep slopes and a network of roads or paths. A prominent river valley runs through the center of the image, with a winding road following its course. The vegetation appears dense and green, though some areas show signs of being cleared or affected by fire. The overall scene is a complex topography with significant elevation changes.

④ 山林火災後の土砂災害危険性の予測に向けて

山林火災後の土砂災害危険性の予測

アメリカ西海岸における土砂・洪水氾濫対策 (内田ら, 2019)

- 山林火災後の土砂災害危険性の予測に関して、山火事が多発するアメリカでは、火災の影響を考慮したプロセスベースの侵食予測モデルの開発、**経験的な流出土砂量予測手法**の提案が進められている
- ただし、侵食予測モデルによる数値解析は対策施設の配置・除石計画、設計にはまだ十分に活用されておらず、経験的な手法による流出土砂量予測が主

流出土砂量の予測に用いられる経験的手法の比較

(Gartner *et al.* (2014) からの抜粋、内田太郎教授の提供資料(2019年度 砂防学会研究発表会・講演資料)をもとに作成)

Reference	Rainfall	Surface hydrology	Fire	Terrain
Rowe <i>et al.</i> (1949)	Storm frequencies	Peak discharge, erosion rates	Correction factors, vegetation index	Relief ratio
Scott and Williams (1978) – model 1	10 day antecedent rainfall × peak 24 hour rainfall	Area of slope failures within the watershed	Fire factor – based on the percentage of the watershed area burned and the time since the most recent fire	Watershed area, elongation ratio, area of slope failures within the watershed
Scott and Williams (1978) – model 2	Mean annual precipitation	n/a	Fire factor – based on the percentage of the watershed area burned and the time since the most recent fire	Watershed area, elongation ratio, area of slope failures within the watershed
Gatwood <i>et al.</i> (2000)	Peak 1 hour precipitation	Peak discharge	Fire factor based on years since 100% wildfire occurrence and watershed area	Relief ratio, watershed area
Los Angeles County Department of Public Works (LACDPW) (2006)	Design storm with a 24-hour duration and 50-year recurrence interval	Existing sediment control structures, urban development, debris production rates	n/a	Watershed area
Palk and Lee (2008)	Peak 1-hour rainfall intensity, total storms rainfall, threshold maximum rainfall intensity, total minimum rainfall amount	n/a	Fire factor based on percentage of watershed burned, number of years since burn, number of sediment-producing precipitation events	Relief ratio, watershed area
Gartner <i>et al.</i> (2008) – Western U.S. Model; Cannon <i>et al.</i> (2010b)	Total storm rainfall	n/a	Watershed area burned at moderate and high severity	Watershed area with slopes greater than or equal to 30%
Gartner <i>et al.</i> , 2009	Peak 1-hour rainfall intensity	n/a	Watershed area burned by most recent fire, time since most recent fire	Watershed area, average watershed gradient, relief ratio

火災に関する説明変数 (例えば、流域単位の焼損面積 など)

山林火災後の土砂災害危険性の予測

- 既存の経験的手法をふまえた新たなモデルを提案し、火災直後に発生する土石流の規模の予測、火災後長期に及ぶ流出土砂量の予測への有効性を示す (Gartner *et al.*, 2014)

- 長期モデル (Long-term model)**

- 土石流や大規模な土砂流出 (debris flows, sediment-laden floods) による344地点での堆砂量データをもとに構築

$$\ln V = 6.07 + 0.71 \cdot \ln i_{60} + 0.22 \cdot \ln B_t - 0.24 \cdot \ln T + 0.49 \cdot \ln A + 0.03 \cdot \sqrt{R}$$

流出土砂量 (m ³)	ピーク1時間雨量 (mm/h)	流域の焼損面積 (km ²)	山林火災からの経過年数 (years)	流域面積 (km ²)	流域の起伏量 (m)
----------------------------	--------------------	-------------------------------	------------------------	----------------------------	---------------

- 緊急評価モデル (Emergency assessment model)**

- 火災後2年以内に発生した土石流による92地点での堆砂量データをもとに構築

$$\ln V = 4.22 + 0.39 \cdot \sqrt{i_{15}} + 0.36 \cdot \ln B_{mh} + 0.13 \cdot \sqrt{R}$$

流出土砂量 (m ³)	ピーク15分雨量 (mm/h)	“中・高強度の焼損”による焼損面積 (km ²)	流域の起伏量 (m)
----------------------------	--------------------	---	---------------

過去の国内火災事例を用いた検証

- 1994年8月に広島県竹原市で発生した山林火災

- 発生および被害状況 (広島県竹原土木事務所, 1995)

- 8月11日に出火し、9日後の8月20日に鎮火
 - 林野の焼損面積は378.0 haに及ぶ

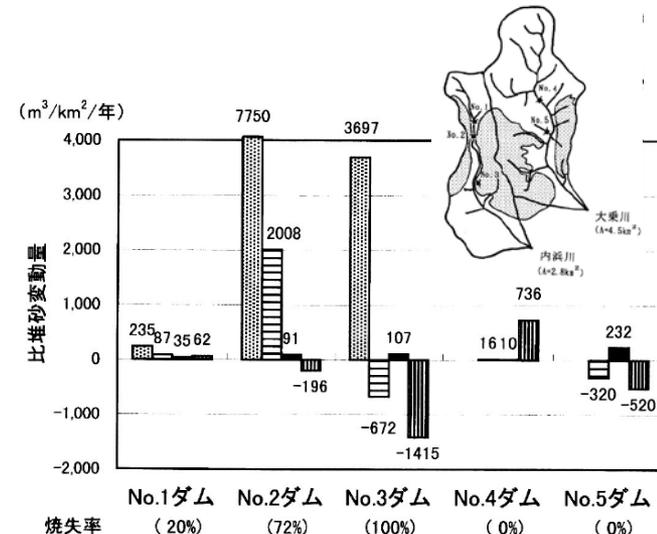
- 検証事例に選んだ理由

- 山林火災後の土砂移動に関する記録がある

- 翌年の降雨で顕著な土砂流出 (石井ら, 2000)

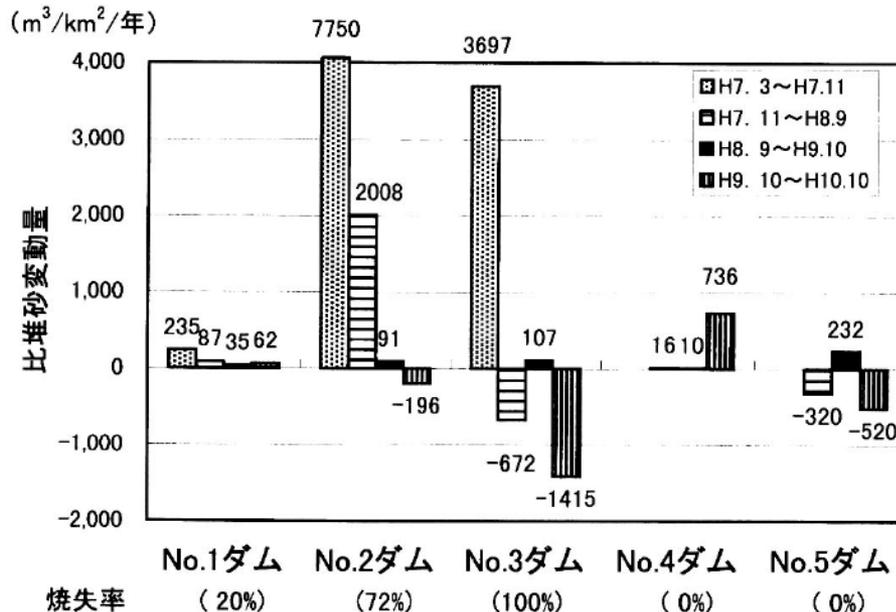
- モデル計算に必要なパラメータが得られる

- 焼損範囲: 報告資料 (広島県竹原土木事務所, 1995など)
 - 焼損度: Landsat-5 (1984~2013)
 - 降水量: 気象庁・竹原観測所 (出火地点の約4km東方)
 - 地形量: 国土地理院・基盤地図情報 (5mメッシュDEM)

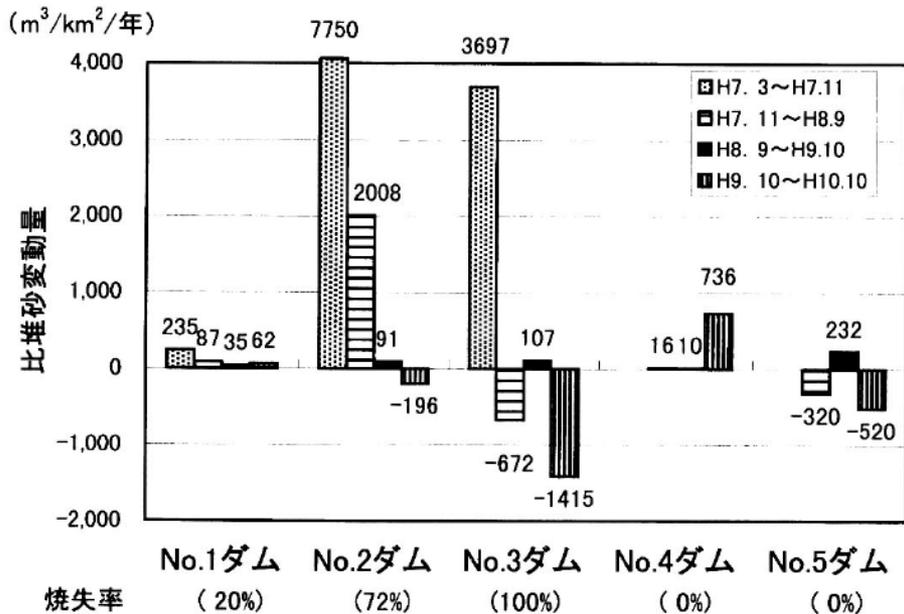


検証に用いる流出土砂量の実測値の取得 (砂防ダムの比堆砂変動量に基づく推定)

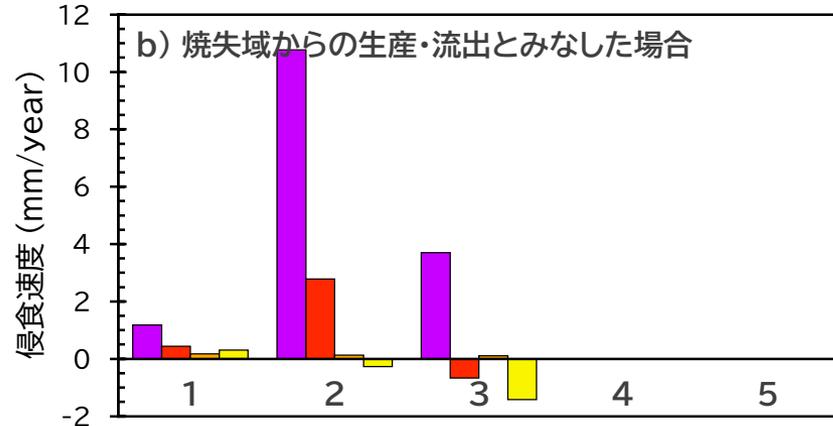
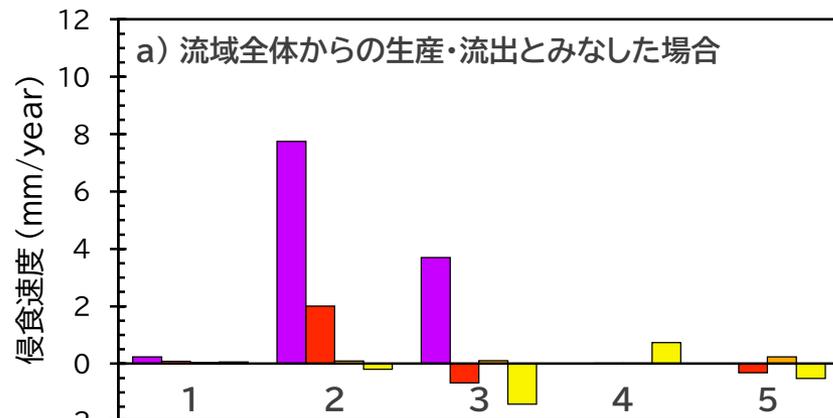
- 1994年8月山林火災後の土砂移動に関する報告 (石井ら, 2000)
- 既設の砂防ダム5基で約1年おきに堆砂測量を行い、その増減から1年ごとの比堆砂変動量 ($m^3/km^2/year$) を算出
- 検証のために、次の手順で期間ごとの流出土砂量を算出
 - 比堆砂変動量が正值の期間、地点のみを対象
 - 各ダム上流域の流域面積で除して、比堆砂変動量を流出土砂量 (m^3) に換算



流出土砂量から見積もられる侵食速度 (砂防ダムの比堆砂変動量に基づく推定)



石井ら(2000) 砂防学会誌53(1)

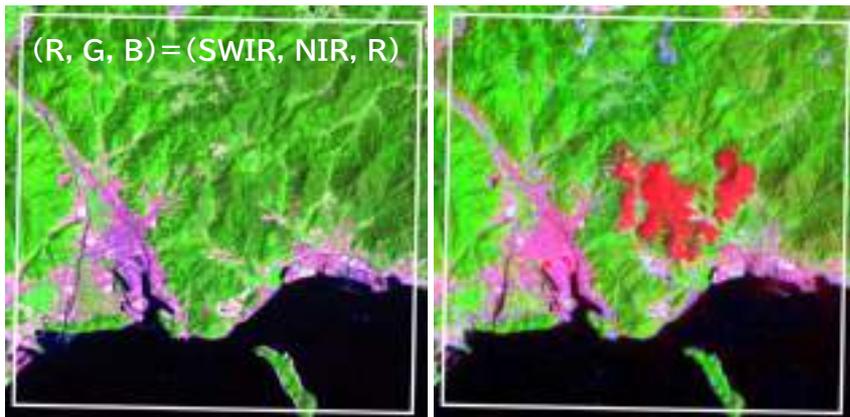


- 火災1年後 (1995年7月~1995年11月)
- 火災2年後 (1995年11月~1996年9月)
- 火災3年後 (1996年9月~1997年10月)
- 火災4年後 (1997年10月~1998年10月)

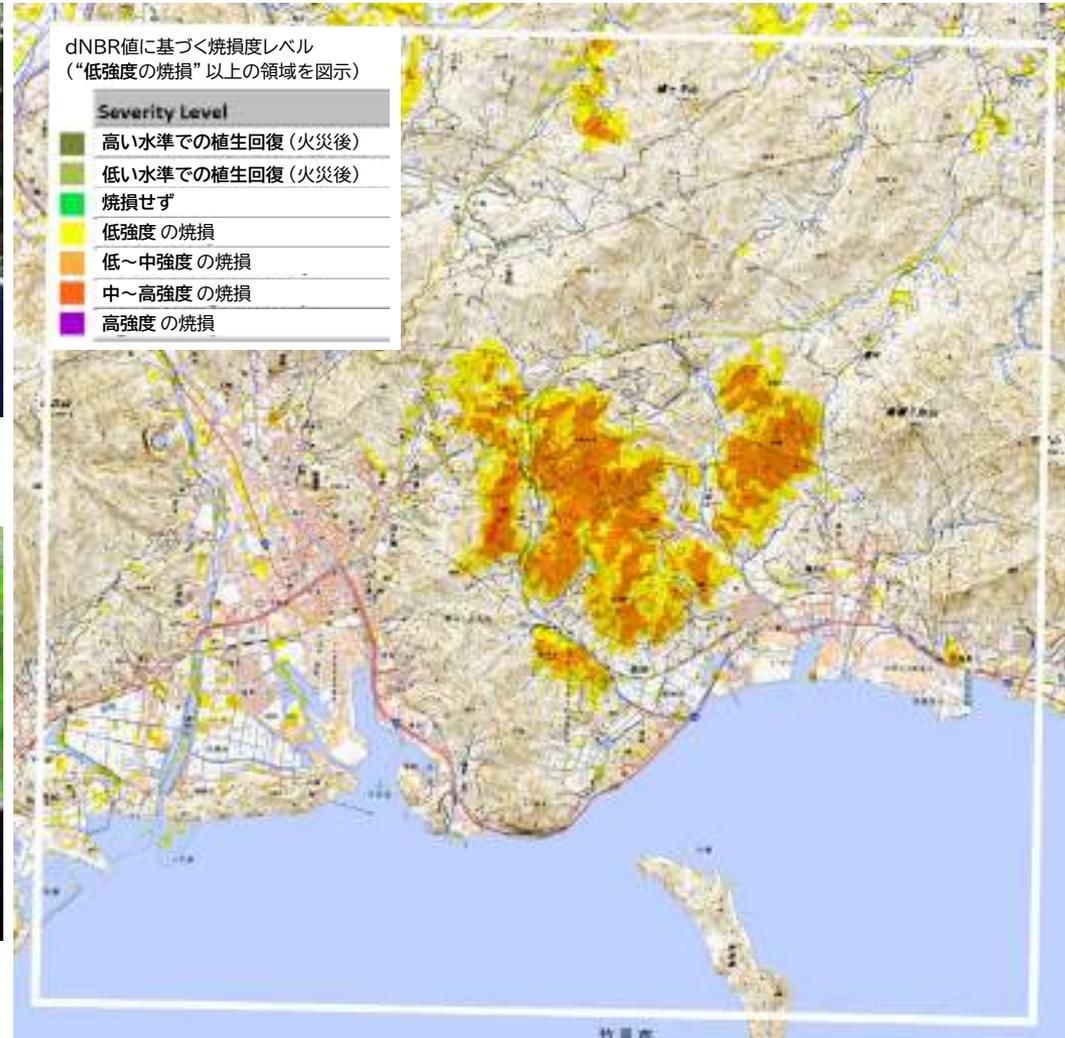
モデル計算に用いるパラメータの取得 (Landsat画像解析による焼損範囲、焼損度の推定)



火災前 (1990/8/29) 火災後(1994/8/24)
Landsat-5 トゥルーカラー画像

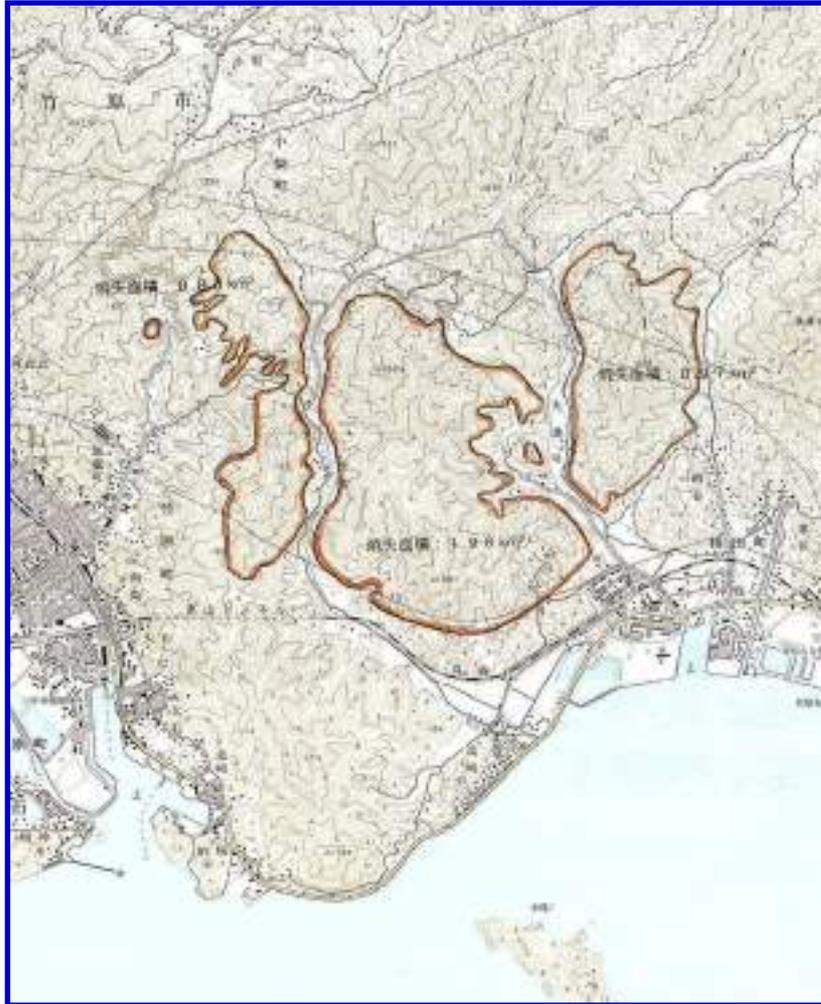


火災前 (1990/8/29) 火災後(1994/8/24)
Landsat-5 フォルスカラー画像

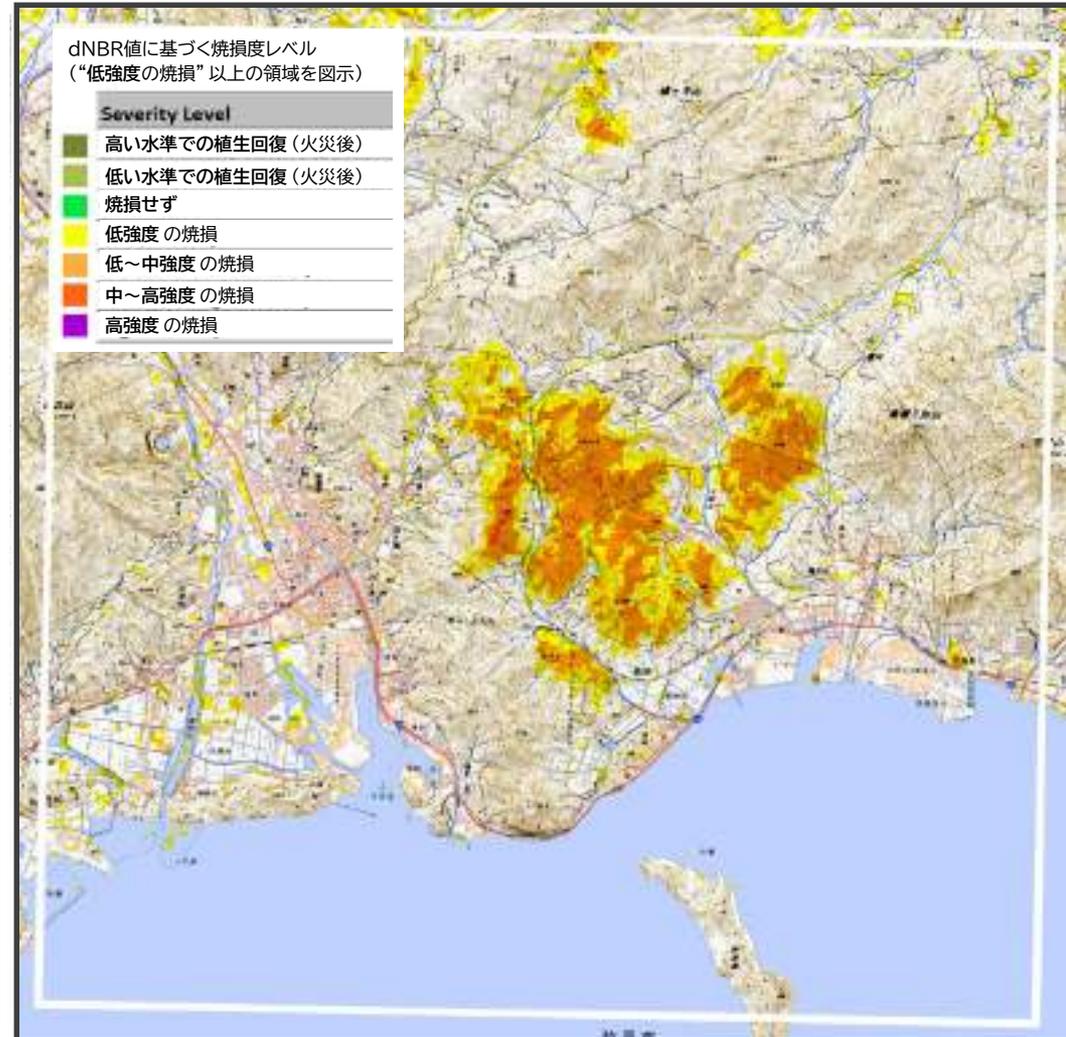


dNBRの算出結果
火災前 (1990/8/29) と火災後 (1994/8/24) のNBRの差

山林火災の焼損範囲、焼損度分布の推定精度 (緊急砂防事業報告書にある焼失面積との比較)



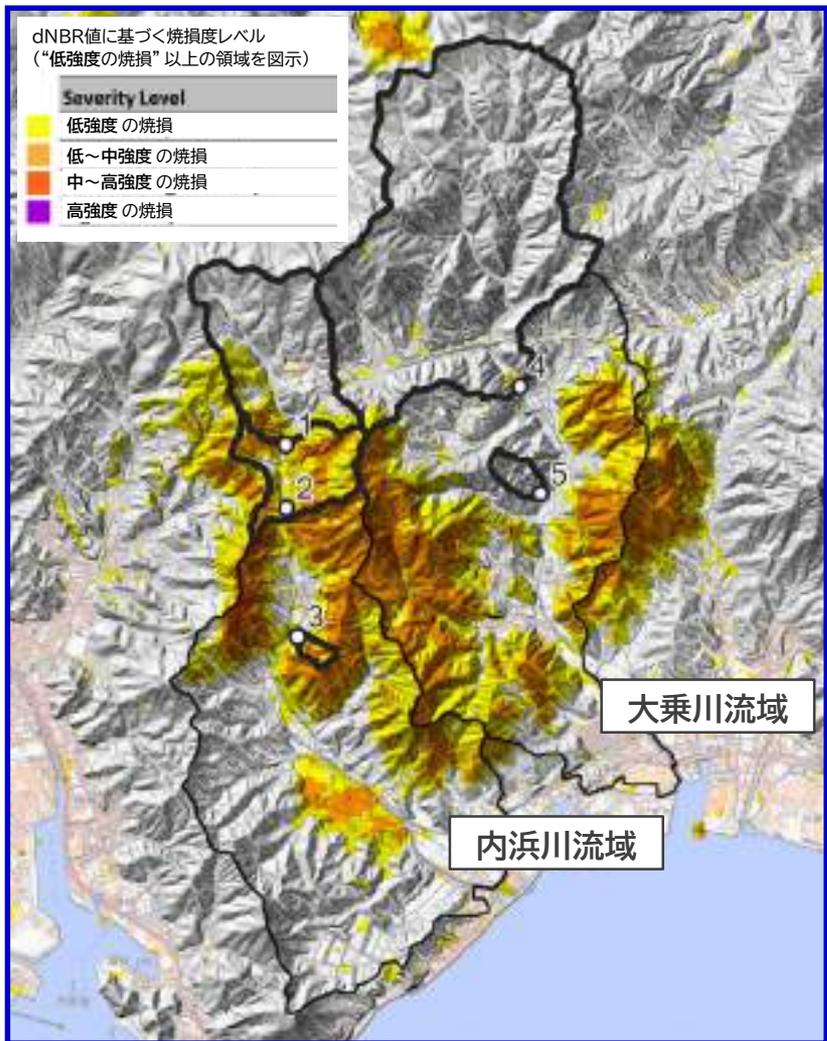
竹原市山林火災と緊急砂防事業より
(広島県竹原土木事務所, 1995)



dNBRの算出結果

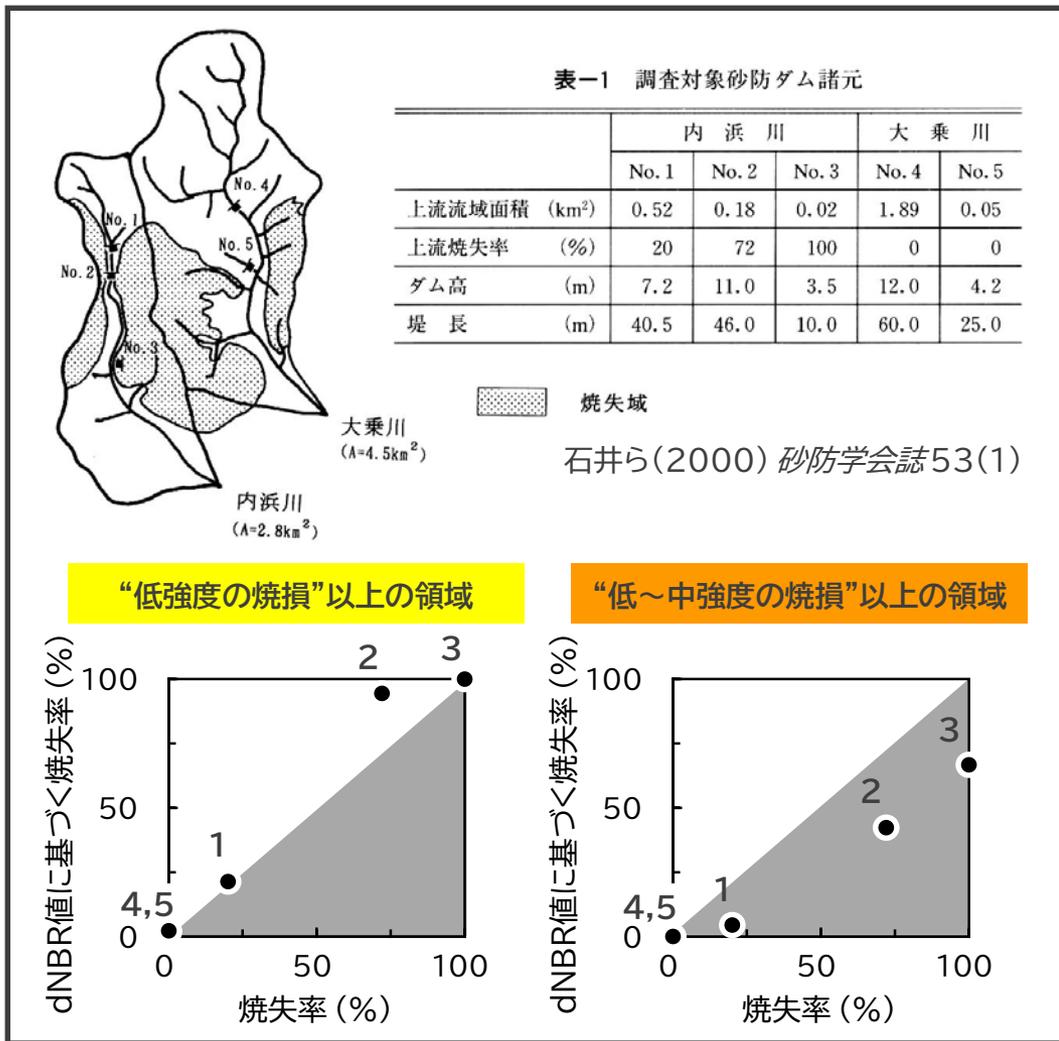
火災前 (1990/8/29) と火災後 (1994/8/24) のNBRの差

砂防ダム堆砂量を観測した流域の焼損度分布 (流域ごとの焼失率の比較)



dNBRの算出結果

火災前(1990/8/29)と火災後(1994/8/24)のNBRの差

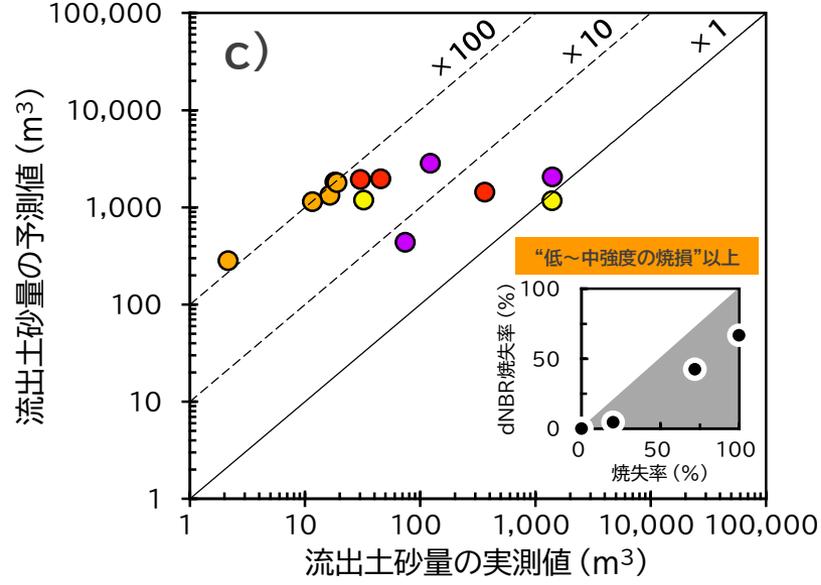
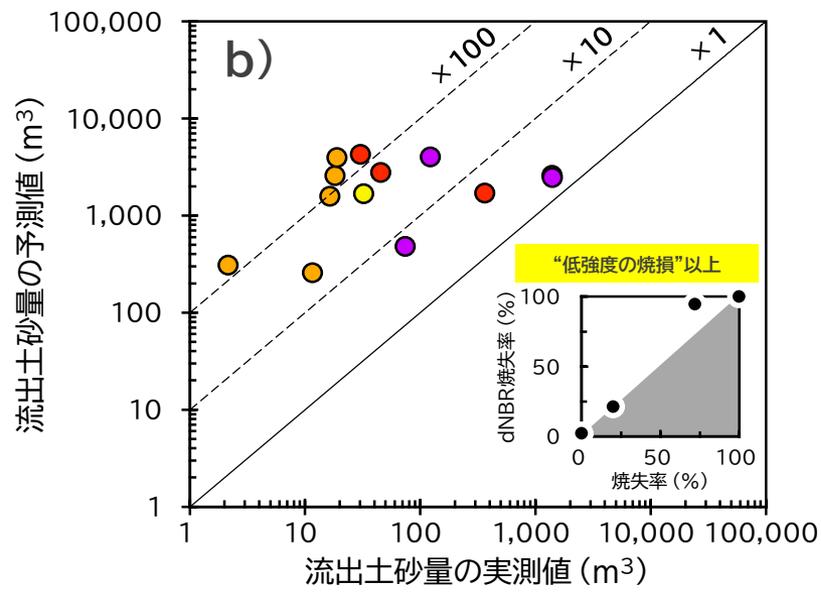
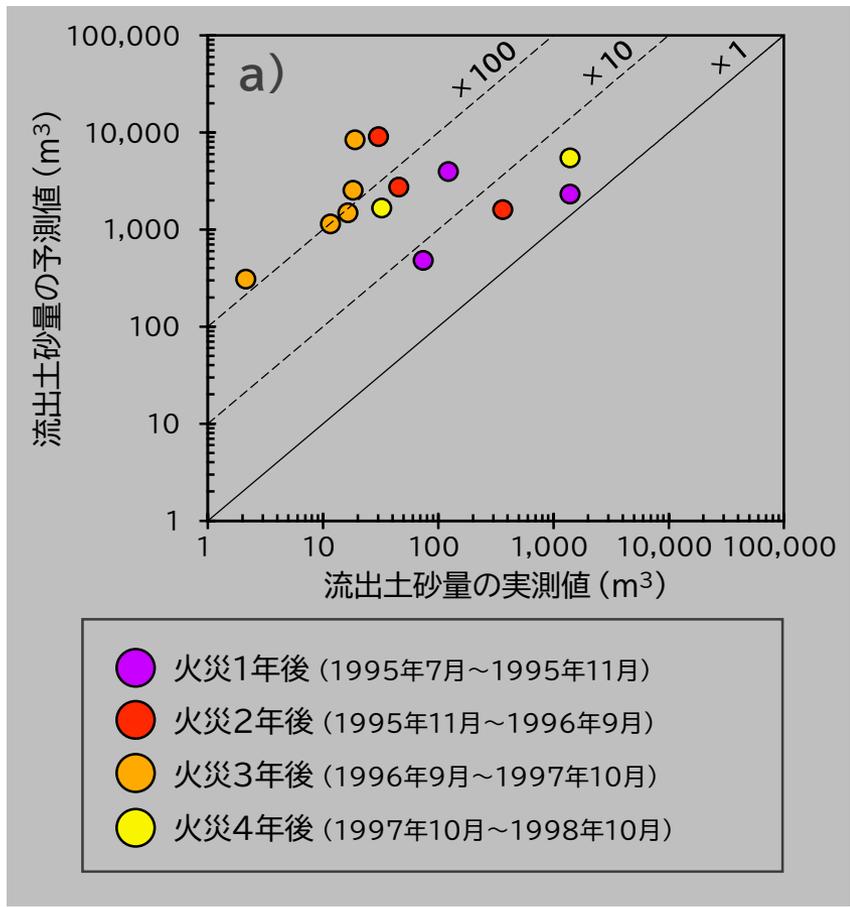


流域ごとの焼失率(焼損面積の割合)の比較

dNBR値を基に区分した焼損度レベルから、2パターンの方で流域ごとの焼損面積割合を推定し、石井ら(2000)で報告されている上流焼失率と比較

山林火災後の流出土砂量の実測値と予測値の比較

(Gartner *et al.*(2014) 長期モデルを適用した結果)



- a) 石井ら(2000)の焼失率より求めた焼損面積を入力
- b) dNBR値で“低強度の焼損”以上の領域を焼損面積に入力
- c) dNBR値で“低~中強度の焼損”以上の領域を焼損面積に入力

④ 山林火災後の土砂災害危険性の予測に向けて

- 山林火災後の土砂流出の予測手法
 - 山林火災の影響を考慮した経験的な流出土砂量予測手法の一例として、**Gartner *et al.* (2014) の重回帰モデル**（長期モデル、緊急評価モデル）を紹介した
 - 長期モデル：
土石流や大規模な土砂流出（土砂・洪水氾濫）による流出土砂量を予測
 - 緊急評価モデル：
火災後2年以内に発生する土石流による流出土砂量を予測
- 過去の国内火災事例を用いた検証
 - **1994年8月広島県竹原市の事例について、衛星アーカイブデータ (Landsat) の解析と上述の長期モデル (Gartner *et al.*, 2014) による流出土砂量予測を試みた**
 - 特に100 m³以下の小規模な土砂流出に対しては、1～2桁ほど過大な予測結果
 - 焼損面積の大小に対する予測流出土砂量の感度は高くない
 - 小規模な土砂流出に対して予測が乖離するのは、もしかすると、山林火災後の土砂流出の特徴（降雨量、焼損面積、地形量などに対して線形応答でなく閾値応答をすとか）を表しているのかもしれない