

IV 編

リモートセンシング技術による荒廃状況等の解析

1. 京都府・大阪府

2. 熊本県

3. 北海道

1. 京都府・大阪府

目 次

1. 検討概要.....	1
2. 衛星画像からの崩壊地の抽出	3
3. 風倒被害の有無と崩壊	4
4. 風倒被害の有無と崩壊に関する検討結果のまとめ.....	10
4.1 現地調査結果の補足	10
4.2 広域調査結果.....	11

1. 検討概要

(1) 目的

京都府京都市及び大阪府高槻市において実施した緊急調査では、風倒被害森林の特徴として、

- ・ 風倒被害の形態が根返りである
- ・ 急傾斜地である
- ・ 土層厚が薄い
- ・ 風倒被害箇所が遷急線にかかっている

ことが示された。

ここでは、人工衛星画像データを元に、令和2年7月豪雨により発生したと考えられる崩壊地を抽出し、その特性について検討するとともに、合わせて、UAV 簡易測量結果（簡易オルソ）を用いて、崩壊地の斜面勾配についても検討を行った。

(2) 使用したデータの種類と仕様

(i) 風倒被害範囲

風倒被害範囲は、以下のデータを使用した。このうち、高槻市の風倒被害範囲は大阪府より提供を受けた「被害箇所位置図（紙ベース）」をポリゴン化して使用した。

表 1.1 風倒被害地のデータ一覧

地区	区分	データの形式	提供元	備考
京都府 京都市	国有林	ベクター（ポリゴン）	近畿中国森林管理局	
	民有林	ベクター（ポリゴン）	近畿中国森林管理局	
大阪府 高槻市	国有林	PDF (風倒木の被害箇所位置)	大阪府	PDF から風倒被害範囲 を手動でポリゴン化
	民有林	PDF (風倒木の被害箇所位置)	大阪府	

(ii) 衛星画像データ

衛星画像データは、京都府京都市及び大阪府高槻市ともに Sentinel-2 の観測による解像度 10m のデータを使用した。画像データの仕様を以下に示す。

表 1.2 使用した衛星画像の仕様

No	観測日	対象豪雨 前後の区別	解析に使用した波長帯	解像度
1	2020/5/5	豪雨前	RGB+近赤外	10m
2	2020/10/2	豪雨後	RGB+近赤外	10m

(iii) 地形データ

基図として、国土地理院 5mDEM を使用した。

(iv) 森林区域の範囲

森林区域の範囲は、京都府京都市及び大阪府高槻市ともに同様の仕様で収集可能な、国土数値情報（国土交通省）における「森林区域」のデータを使用した。

(v) 樹種・齢級等森林情報に関するデータ

林班界・樹種・樹齢等は以下のデータを用いた。

表 1.3 樹種・齢級等森林情報データの一覧

地区	区分	森林情報の有無	データの形式	提供元
京都府 京都市	国有林	なし	ベクター（ポリゴン）	近畿中国森林管理局
	民有林	なし	—	—
大阪府 高槻市	国有林	あり	ベクター（ポリゴン）	近畿中国森林管理局
	民有林	あり	ベクター（ポリゴン）	大阪府

※森林情報：樹種、林齢等の情報

(3) 検討手法

(i) 崩壊地の抽出

- ・抽出範囲を対象とし、衛星画像から対象降雨前後の NDVI 値（正規化植生指数）及び NDVI 比を算出し、閾値設定に用いた。
- ・風倒被害地は、風倒被害の程度により「植生がない」（裸地）と判断される場合と、風倒被害は受けているものの「植生がある」（植生）と判断される場合の 2 パターンが考えられる。
- ・風倒被害地において、対象降雨後の崩壊地等を「裸地」としたうえで上記の 2 パターンを考慮し、「植生→裸地」と「裸地→裸地」それぞれについて閾値を設定し自動抽出を行った。
- ・非風倒被害地は、対象降雨前には森林であったとし「植生→裸地」の場合の閾値を用い自動抽出を行った。

(ii) 崩壊地面積

- ・崩壊地等の面積集計は、崩壊の可能性があるメッシュ（10m 解像度）の重心をポイントデータに変換し、1 ポイント 100m²として集計した。
- ・崩壊の可能性があるメッシュ（10m 解像度）が複数の境界（風倒被害地・非風倒被害地等）に重なる場合は、このメッシュの重心が含まれる方に 100m²全てが含まれるとした。

(iii) 崩壊地箇所数

- ・崩壊の可能性があるメッシュ（10m 解像度）同士がメッシュの辺または頂点で接する場合には、これを一つの崩壊地とみなしポリゴンに変換した。
- ・この際、メッシュが辺で接する場合は GIS 上で自動的にポリゴン化し、メッシュの頂点で接する場合には、これらを包括する範囲を手動でポリゴン化した。
- ・このように得られた崩壊地ポリゴンをカウントし、崩壊地箇所数とした。

(iv) 樹種・齢級

・崩壊地面積集計に用いたポイントデータに、貸与資料から得られた樹種と齢級についての属性をあたえ、樹種、齢級別にその面積を集計した。

2. 衛星画像からの崩壊地の抽出

令和2年7月豪雨の前後に撮影された2時期の衛星画像（令和2年5月5日、10月2日撮影）をもとに正規化植生指数（NDVI）を用いて崩壊地を抽出し（表2.1）、風倒被害地・非風倒被害地別に面積率、発生箇所数、樹種別被害の特徴の有無等を検討した。（抽出した崩壊地には、対象降雨以外の降雨によって発生した崩壊地や、2時期の撮影期間内に改変のあった森林等も含まれる）。

表 2.1 風倒被害地抽出結果一覧表

調査箇所	国有林	民有林	小計	単位:ha					
				風倒被害地面積			非風倒被害地面積		
				国有林	民有林	小計	国有林	民有林	小計
京都府 京都市	219.07	2064.83	2283.90	13.03	105.42	118.45	206.04	1959.41	2165.45
大阪府 高槻市	143.51	4796.86	4940.37	2.77	655.32	658.09	140.74	4141.54	4282.28
合計	362.58	6861.69	7224.27	15.8	760.74	776.54	346.78	6100.95	6447.73

※貸与資料から、風倒被害が顕著な範囲を包括するエリアを検討範囲とした。

※検討範囲の内、森林地域（国土数値情報による）内を抽出対象とした。

3. 風倒被害の有無と崩壊

(1) 崩壊面積と箇所数

京都市、高槻市ごとに、風倒被害の有無による崩壊面積率を整理した（表 3.1）。風倒被害地の崩壊面積率をみると、京都市で 2.33%、高槻市で 3.06%であった。一方で、非風倒被害地の崩壊面積率はそれぞれ 0.31%、0.32%といずれも風倒被害地に比べ低い値となっている。

表 3.2 風倒被害の有無別崩壊面積率一覧表

調査箇所	森林面積(ha)							風倒被害地				非風倒被害地				崩壊面積率① = 崩壊面積(h)/ 森林面積(c)	
	風倒被害地面積			非風倒被害地面積			合計 (c=a+b)	風倒被害地の崩壊面積(ha)			非風倒被害地の崩壊面積(ha)		崩壊面積率② = 崩壊面積 (d)/ 風倒被害地面積(a)	崩壊面積率③ = 崩壊面積 (f)/ 非風倒被害地面積(b)			
	国有林	民有林	小計(a)	国有林	民有林	小計(b)		国有林	民有林	小計(d)	国有林	民有林			小計(f)		
京都府 京都市	13.03	105.42	118.45	206.04	1959.41	2165.45	2283.90	0.01	2.75	2.76	2.33%	0.16	6.61	6.77	0.31%	9.53	0.42%
大阪府 高槻市	2.77	655.32	658.09	140.74	4141.54	4282.28	4940.37	0	20.15	20.15	3.06%	0.04	13.84	13.88	0.32%	34.03	0.69%

次に、単位面積（ha）当たりの崩壊箇所数を整理する（表 3.2）と、崩壊箇所の総数は非風倒被害地の方が多いものの、1 ヘクタール当たりでは京都市が風倒被害地で 0.19 箇所、非風倒被害地で 0.09 箇所、高槻市では風倒被害地で 0.27 箇所、非風倒被害地で 0.11 箇所となっており、風倒被害地の方が非風倒被害地よりも崩壊発生率が約 2 倍高くなっている。

表 3.3 風倒被害の有無と崩壊箇所数・面積一覧表

調査箇所	森林面積(ha)		崩壊地箇所数		崩壊地面積(ha)		haあたり 崩壊地箇所数		1崩壊地あたり 平均面積(ha)	
	風倒 被害地 (a)	非風倒 被害地 (b)	風倒 被害地 (c)	非風倒 被害地 (d)	風倒 被害地 (e)	非風倒 被害地 (f)	風倒 被害地 (g=c/a)	非風倒 被害地 (h=d/b)	風倒 被害地 (i=e/c)	非風倒 被害地 (j=f/d)
京都府 京都市	118.45	2165.45	23	203	2.76	6.77	0.19	0.09	0.12	0.03
大阪府 高槻市	658.09	4282.28	176	480	20.15	13.88	0.27	0.11	0.11	0.03

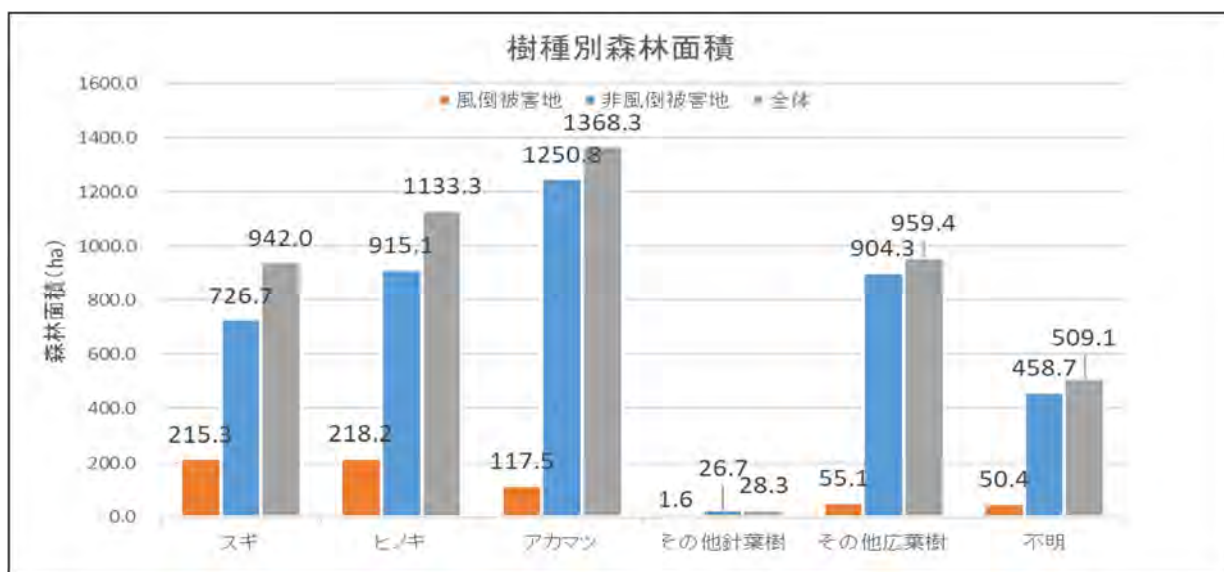
また、崩壊地 1 箇所当たりの平均面積をみると、京都市では風倒被害地で 0.12ha、非風倒被害地で 0.03ha と約 4 倍に、高槻市では風倒被害地で 0.11ha、非風倒被害地で 0.03ha といずれも風倒被害地は非風倒被害地の約 4 倍となっている。

このように、単位面積当たりの崩壊地箇所数および崩壊地 1 箇所当たりの平均面積ともに、風倒被害地内の崩壊地が非風倒被害地の崩壊地よりも大きい値を示しており、風倒被害地において根返りや立木が風で揺すられて土壌がほぐされたことで降雨が容易に浸透しやすい状態であったことなどにより崩れやすくなっていたことが原因と考えられる。

(2) 樹種

調査対象範囲の風倒被害地の9割ほどを占める高槻市を対象に、樹種を指標として風倒被害の有無と崩壊に関する特徴について検討した。

1) 樹種別森林面積

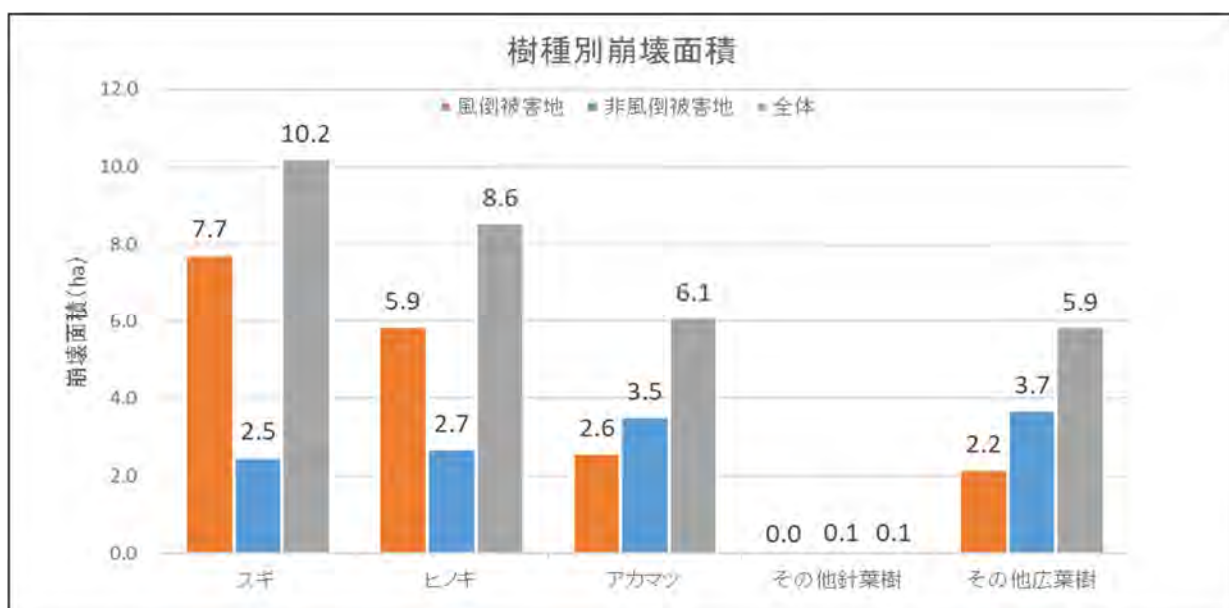


風倒被害地 = 樹種別の森林区域内風倒被害地
 非風倒被害地 = 樹種別の森林区域内非風倒被害地
 全体 = 風倒被害地 + 非風倒被害地

図 3.1 樹種別森林面積

図 3.1 において対象範囲内の森林の面積を樹種別にみると、大きい順にアカマツ、ヒノキ、その他広葉樹、スギ、不明その他針葉樹となっている。次に風倒被害森林を樹種ごとに集計すると、大きい順にヒノキ、スギ、アカマツ、その他広葉樹、不明、その他針葉樹となった。この「不明」は以降の検討からは除外した。

2) 樹種別崩壊地面積



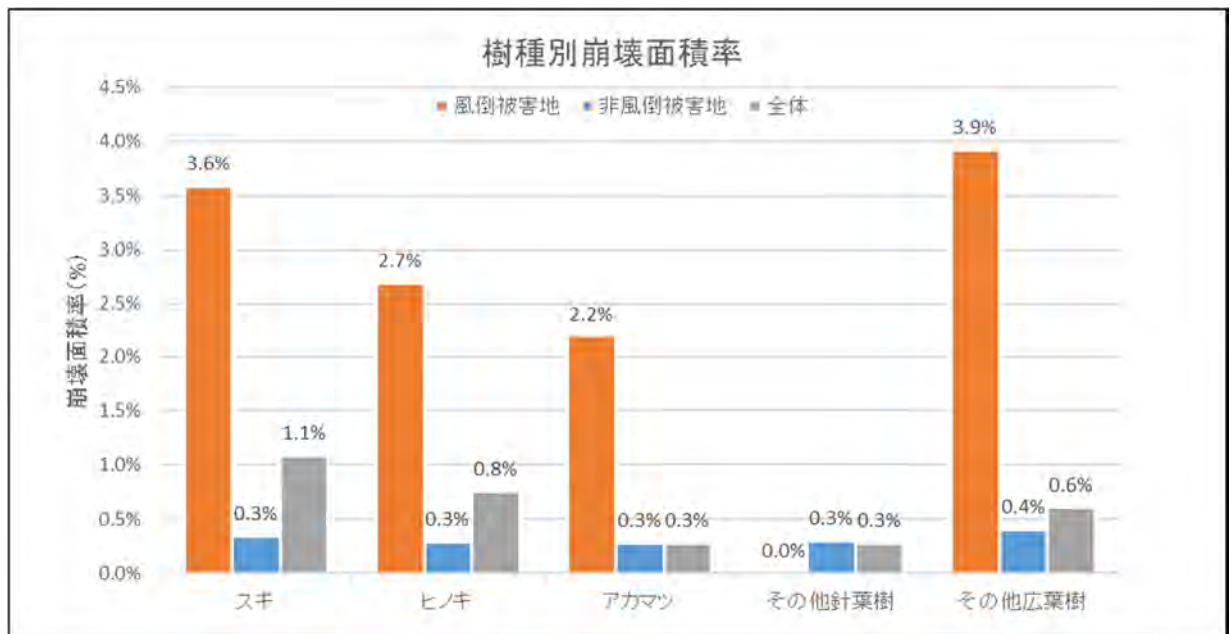
風倒被害地 = 樹種別の風倒被害地内の崩壊地面積
 非風倒被害地 = 樹種別の非風倒被害地内の崩壊地面積
 全体 = 風倒被害地 + 非風倒被害地

図 3.2 樹種別崩壊地面積

図 3.2 において対象範囲の崩壊地の面積を樹種別にみると、その面積はスギ（10.2ha）、ヒノキ（8.6ha）、アカマツ（6.1ha）、その他広葉樹（5.9ha）の順で大きく、その他針葉樹には崩壊地はほとんど確認されなかった。

次に、風倒被害の有無による崩壊面積を樹種別に集計した。風倒被害地の崩壊面積はスギが最も多く 7.7ha であり、次いでヒノキ（5.9ha）、アカマツ（2.6ha）、その他広葉樹（2.2ha）の順であり、スギはその他広葉樹の 3 倍以上の面積である。一方、非風倒被害地では、その他広葉樹（3.7ha）、アカマツ（3.5ha）、ヒノキ（2.7ha）、スギ（2.5ha）と順位は逆転し、風倒被害地に比べ樹種による大きな違いはみられなかった。

3) 樹種別崩壊面積率



風倒被害地 = 風倒被害地内の崩壊地面積 / 風倒被害地面積
 非風倒被害地 = 非風倒被害地内の崩壊地面積 / 非風倒被害地面積
 全体 = 樹種別崩壊面積 / 樹種別森林面積

図 3.3 樹種別崩壊面積率

図 3.3 において風倒被害の有無による崩壊面積率を樹種別にみると、風倒被害地の崩壊面積率はその他広葉樹（3.9%）が最も多く、次いでスギ（3.6%）、ヒノキ（2.7%）、アカマツ（2.2%）、の順であった。

一方、非風倒被害地では、その他広葉樹が 0.4%、スギ・ヒノキ・アカマツともに 0.3%と、樹種による大きな違いはみられなかった。

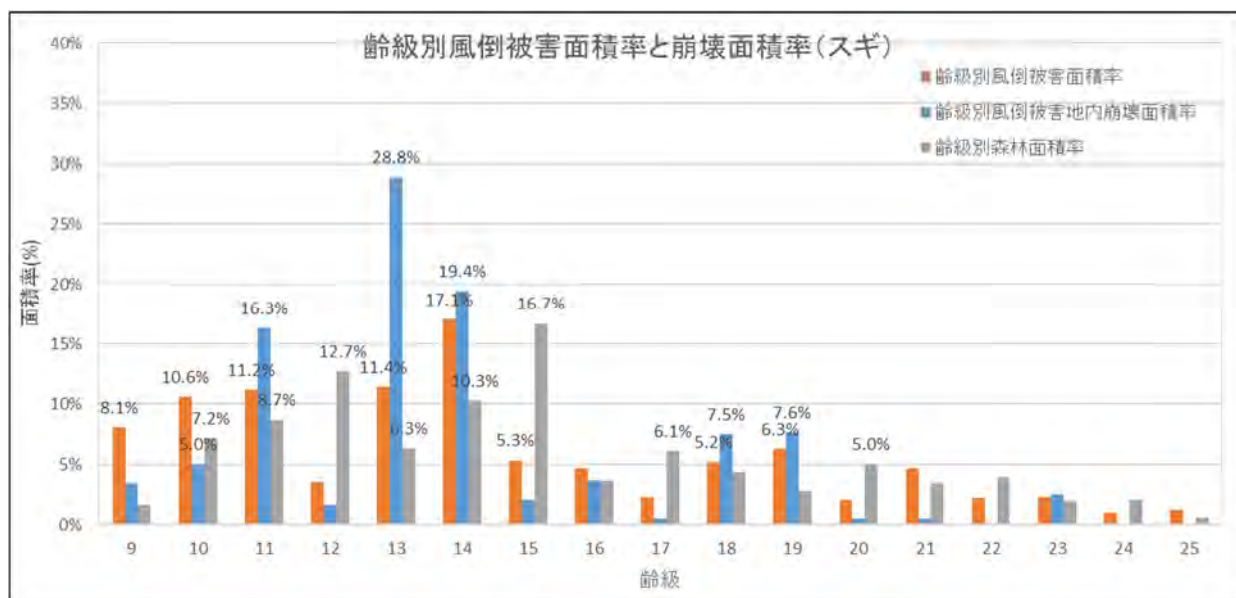
風倒被害地と非風倒被害地の崩壊面積率を比べてみると、すべての樹種の崩壊面積率について、風倒被害地が非風倒被害地を上回っていることが分かる。

(3) 齢級

対象範囲の風倒被害地の 9 割ほどを占める高槻市を対象に、林齢を指標として樹種ごとに、それぞれの齢級が占める割合（齢級別森林面積率）と、齢級毎に風倒被害地が占める割合（齢級別風倒被害面積率）、齢級毎に風倒被害地内崩壊地が占める割合（齢級別風倒被害地内崩壊面積率）を比較することで、風倒被害地で発生した崩壊と齢級との関係を検討した。

なお、その他針葉樹は、崩壊面積率が 0.3%と小さいため、以下の検討からは除外した。

i) スギ



※横軸は、面積率が 1%以上を示す齢級を上下限值とした。

齢級別風倒被害面積率＝齢級毎の風倒被害地面積／風倒被害地面積計

齢級別風倒被害地内崩壊面積率＝齢級毎の風倒被害地内の崩壊地面積／風倒被害地内の崩壊地面積計

齢級別森林面積率＝齢級毎の森林面積／森林面積計

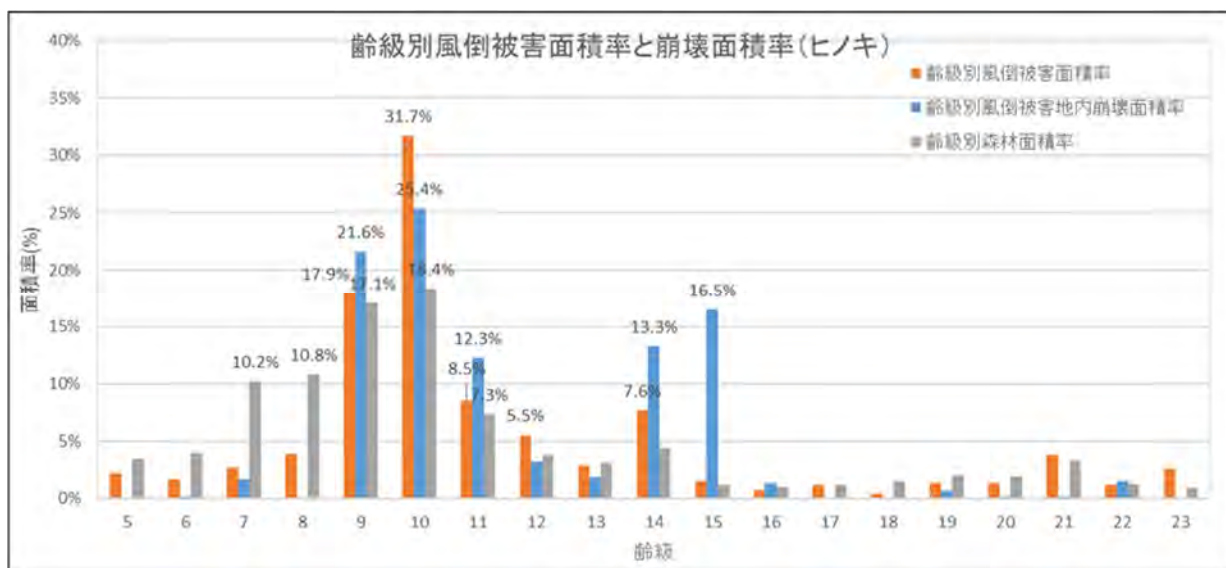
図 3.4 齢級別風倒被害面積率と崩壊面積率（スギ）

図 3.4 においてスギを齢級別にみると、森林面積率は、15 齢級が 16.7%とピークを示している。

また、風倒被害面積率は、14 齢級が 17.1%とピークを示しており、占有面積率の大きい齢級であっても風倒被害面積率や風倒被害地内崩壊面積率が高いわけではないということが分かる。

一方、風倒被害地内崩壊面積率は、13 齢級が 28.8%とピークを示し、続いて 14 齢級が 19.4%、11 齢級が 16.3%と上位を占めており、この 3 つの齢級が風倒被害面積率の上位 3 位であることから、風倒被害面積率が高い齢級は、崩壊面積率も高い傾向にあることがわかる。

ii) ヒノキ



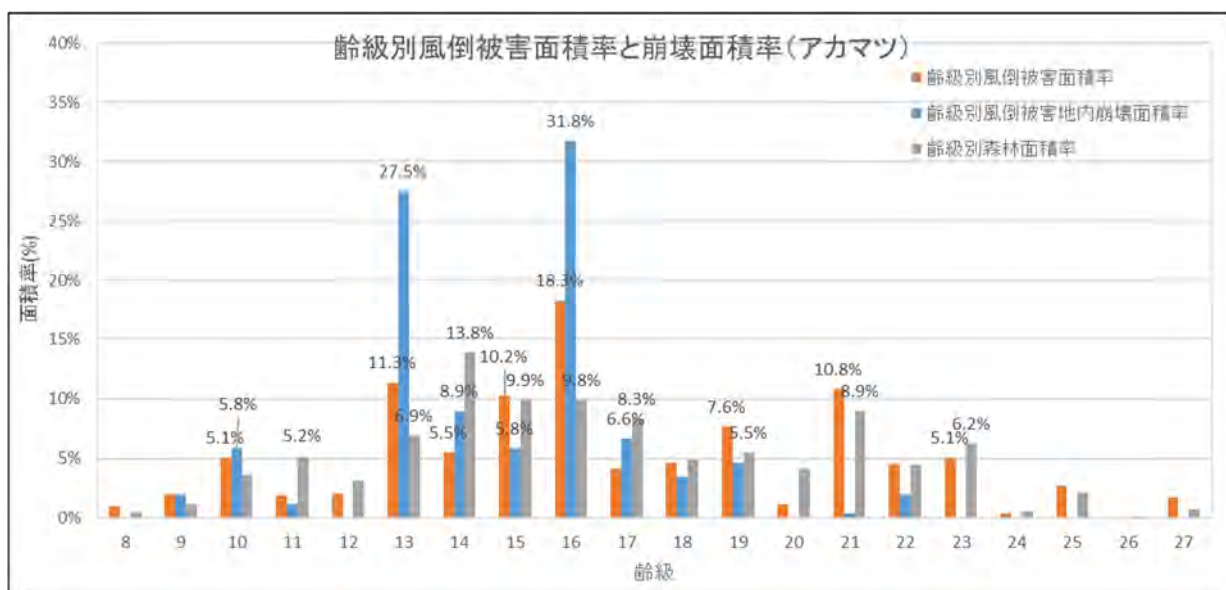
※横軸は、面積率が1%以上を示す年齢を上下限值とした。

図 3.5 年齢別風倒被害面積率と崩壊面積率（ヒノキ）

図 3.5 においてヒノキを年齢別にみると、風倒被害地内崩壊面積率は、10 年齢で 25.4%とピークを示している。続いて 9 年齢で 21.6%を示しており、いずれも風倒被害面積率が特に高い年齢であり、スギと同様に風倒被害面積率が高いほど崩壊面積率も高い傾向にあることが分かる。

一方で、15 年齢では森林面積率および風倒被害面積率ともに 2%程度とピーク値と比較すると低い値であるが、風倒被害地内崩壊面積率は 16.5%と高い値を示しており、風倒被害面積率が高い場合のみ崩壊面積率が高いというわけではないことが示唆される結果である。

iii) アカマツ



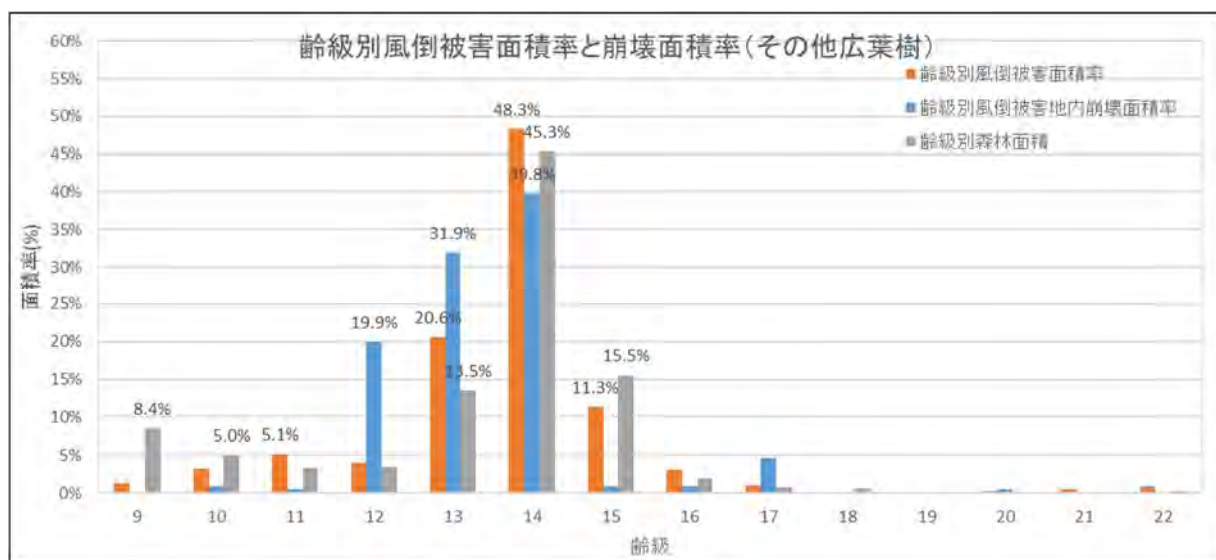
※横軸は、面積率が1%以上を示す年齢を上下限值とした。

図 3.6 年齢別風倒被害面積率と崩壊面積率（アカマツ）

図 3.6 においてアカマツを齢級別にみると、森林面積は、14 齢級が 13.8%とピークを示している。一方、風倒被害面積率および風倒被害地内崩壊面積率は、16 齢級でそれぞれ 18.3%、31.8%とピークを示している。

また、13 齢級においてもそれぞれ 11.3%、27.5%と、ピーク値に次ぐ値を示しており、風倒被害面積率や風倒被害地内崩壊面積率は、森林面積率の高い齢級と異なる齢級でピークを示していることが特徴的である。

iv) その他広葉樹



※横軸は、面積率が 1%以上を示す齢級を上下限値とした。

図 3.7 齢級別風倒被害面積率と崩壊面積率（その他広葉樹）

図 3.7 においてその他広葉樹を齢級別にみると、風倒被害地内崩壊面積率は、14 齢級で 39.8%とピークを示している。同齢級の齢級別風倒被害面積率、齢級別森林面積率ともに、それぞれ 48.3%、45.3%とピークを示している。

一方で、12 齢級では齢級別森林面積率および齢級別風倒被害面積率ともに 4%程度とピーク値と比較すると低い値であるが、齢級別風倒被害地内崩壊面積率は 19.9%と高い値を示していることが特徴的である。

4. 風倒被害の有無と崩壊に関する検討結果のまとめ

4.1 現地調査結果の補足

緊急現地調査の対象とした崩壊地（6箇所）において、UAV 簡易測量結果と国土数値情報 5mDEM より算出した斜面勾配は平均 42° であった。

一方で、緊急現地調査の対象とした崩壊地と同様に、UAV による位置、形状の確認を行った 8 地区（12 箇所）の崩壊地の斜面勾配は、平均 40° と緊急現地調査対象箇所と同程度の勾配となり、8 月に行った緊急調査の結果において崩壊が発生する可能性が高いと整理された風倒被害森林の特徴のひとつ「 35 度以上の急傾斜」を裏付ける結果となった。

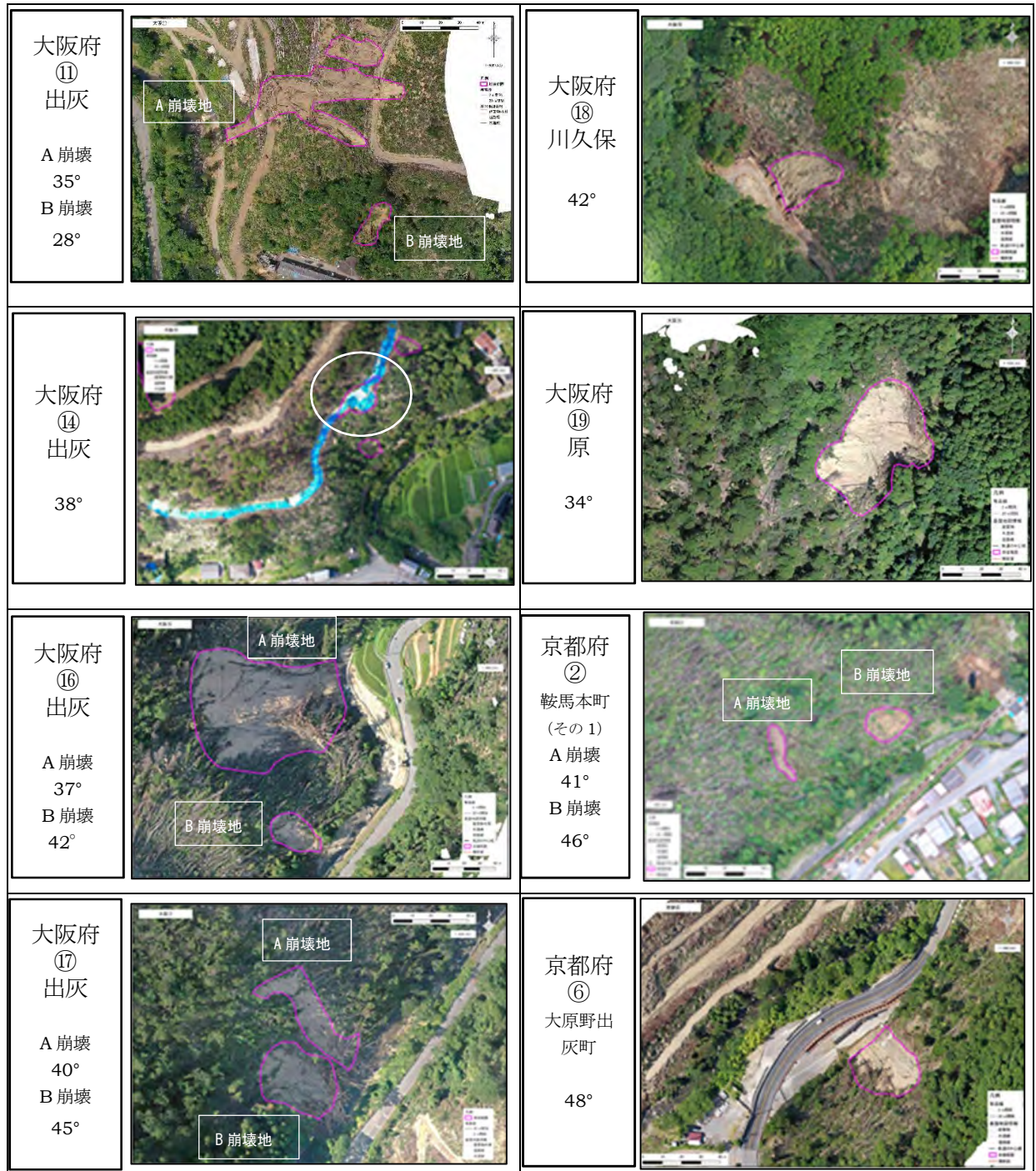


図 4.1 崩壊地と平均勾配

4.2 広域調査結果

(1) 風倒被害の有無による崩壊面積率

✓風倒被害地の崩壊面積率は、京都市で 2.33%、高槻市で 3.06%であった。一方で、非風倒被害地の崩壊面積率はそれぞれ 0.31%、0.32%であり、風倒被害地の崩壊面積率は非風倒被害地に比べて京都市で約 8 倍、高槻市で約 10 倍となった。

✓ここで、風倒木地の崩壊面積率は非風倒木地に比べ約 5 倍となっているという報告（松村和樹・高浜淳一郎：風倒木地における表層崩壊機構に関する考察、砂防学会誌、Vol. 52 No.3 号、P11-17、1999）があり、この中で、この崩壊面積率の違いから風倒木地の崩壊に対する抵抗は小さくなっているとしている。今回の結果は、この報告値よりも大きな値となっており、このことを裏付けるものといえる。

(2) 風倒被害の有無による崩壊地 1 箇所当たりの面積

✓風倒被害地は非風倒被害地に比べ単位面積あたりの崩壊箇所数が、京都市、高槻市ともに約 2 倍となった。

✓また、風倒被害地は非風倒被害地に比べ崩壊地 1 箇所あたり平均面積が、京都市、高槻市ともに約 4 倍となった。

✓風倒木跡地と有林地での崩壊箇所数および崩壊地 1 箇所当たりの面積については、有林地に比べ風倒木跡地はそれぞれ 50～300 倍、1.6～2.8 倍であったという報告（藤堂千景ほか：2009 年兵庫県播磨北西部・但馬南部地域で発生した土砂災害、水利科学、No.319、2011）があり、今回の結果においても同様の傾向が確認された。

(3) 樹種別の解析結果

✓風倒被害地の崩壊面積率を樹種別に見ると、その他広葉樹(3.9%)が最も多く、次いでスギ(3.6%)、ヒノキ(2.7%)、アカマツ(2.2%)、であり、非風倒被害地では、その他広葉樹が 0.4%、スギ・ヒノキ・アカマツともに 0.3%であり、風倒被害地は非風倒被害地に比べ崩壊面積が、スギで 12 倍、その他広葉樹で 10 倍、ヒノキで 9 倍、アカマツで 7 倍となった。

✓樹種による風倒被害の有無による崩壊面積率の違いについて、風倒被害地の崩壊面積率は針葉樹で 17～23%、広葉樹林では 0%という値も報告されている（稲垣秀樹：植生の違いによる風倒木の発生と斜面崩壊、応用地質、第 40 巻第 4 号 P196-206、1999）が、本検討の結果では、面積率の大きさや樹種間の違いといった点で異なる結果となっている。

(4) 齢級別の解析結果

樹種によっては、風倒被害面積率及び風倒被害地内崩壊面積率が高い階級層がみられるものや、風倒被害地内崩壊面積率のみ高い値を示す齢級がみられるものも確認されたが、齢級と崩壊の明瞭な関係性や個々の齢級の傾向までは確認できなかった。

(5) まとめ

以上から、風倒被害を受けた森林では、樹種によらず被害を受けていない森林に比べ、崩壊が多く発生しており、風倒被害をうけることで、崩壊に対する抵抗が小さくなることが示唆された。

これは、令和 2 年 9 月に取りまとめた緊急調査の結果において明らかとなった崩壊の発生した風倒被害地の特性と合わせ見ると、土壌がほぐされて降雨が浸透しやすい状態であったことや、根系によ

る土壌緊縛力が低下したことが理由として考えられ、更なるメカニズムの解明が期待される。また、齢級や森林施業履歴が風倒被害や崩壊発生に与える影響についても、今後より多くのデータを基にした調査が期待される。

補足資料：崩壊地抽出手法

1. 検討の流れ

衛星画像を用いた崩壊地抽出の流れを図 1-1 に示す。

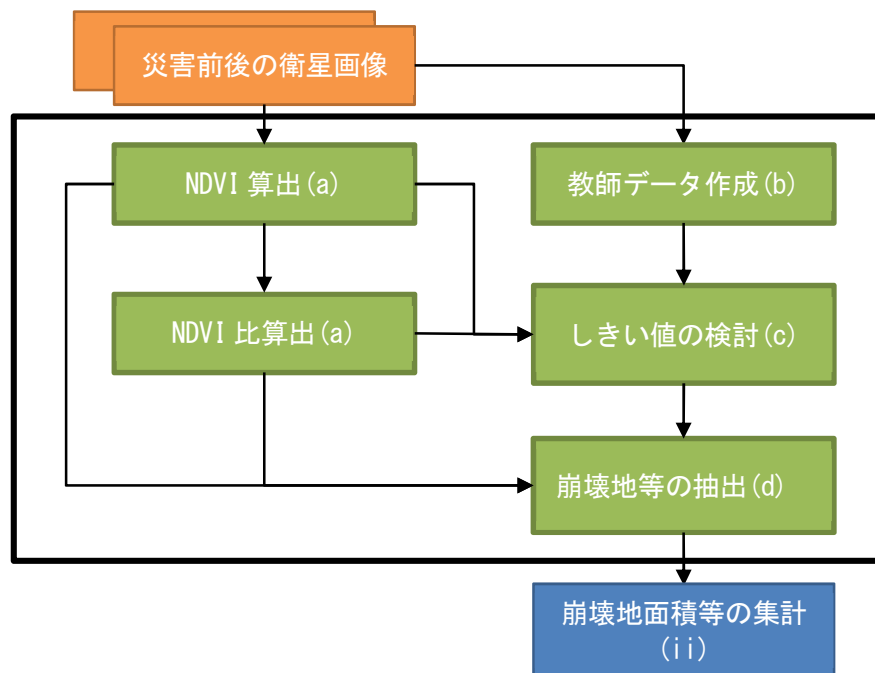


図 1-1 検討の流れ

(i) 崩壊地の抽出

(a) NDVI 及び NDVI 比算出

災害前後の Sentinel-2 の衛星画像における反射率をもとに、正規化植生指数（Normalized Differential Vegetation Index（以下「NDVI」）及び NDVI 比を算出した。

(b) 教師データ作成

災害前後の衛星データをもとに、GIS 上で崩壊地を目視判読し、面（ポリゴン）データを作成した。さらに面データに含まれる崩壊地等を表すピクセルを抽出した。

(c) しきい値の検討

風倒被害地及び非風倒被害地において、災害前の NDVI 値から地表面の状態に応じて「植生」、「裸地」のいずれかに分類し、それぞれの NDVI 値及び NDVI 比における崩壊地、非崩壊地のしきい値を検討した。

(d) 崩壊地等の抽出

しきい値をもとに NDVI 比及び NDVI 値のデータから崩壊地等を抽出した。

(ii) 崩壊地面積等の算定

衛星画像の解析により抽出した崩壊地等の面積を風倒被害地、非風倒被害地の区分にもとづき集計した。

2. 崩壊地の抽出

2.1 NDVI 及び NDVI 比算出

光学衛星は、太陽光（電磁波）が地表に反射して戻ってきた反射の強度を、波長帯ごとに測定して記録する。記録された反射強度は、波長帯ごとに物質固有である（分光反射特性という）。この分光反射特性を利用し、異なる地表物に反射して戻ってきた電磁波（反射波）の強度の波長帯ごとの違いから、地表物の違いや複数時期の取得による時系列の地表面の変化を捉えることが可能である。

ここで、森林を構成する植生は、太陽光が当たると青色及び赤色の波長帯の光を吸収し、近赤外域の波長を強く反射するという特性を持つ。この特性を活用したのが NDVI（正規化植生指数）であり、植生の有無や活性度、バイオマス量等を示す指標として、以下のように定義される。NDVI は-1～+1 の値をとり、1 に近づくほど植生の状態が良い又は植生量（葉量）が多いことを示す（表 2-1）。

$$\text{NDVI} = \frac{\text{近赤外波長 (IR)} - \text{赤波長 (R)}}{\text{近赤外波長 (IR)} + \text{赤波長 (R)}} \quad \text{NDVI 比} = \frac{\text{災害後 NDVI}}{\text{災害前 NDVI}}$$

本業務では、令和 2 年の 7 月豪雨等前後に観測された衛星データから NDVI をそれぞれ算出し、その比（NDVI 比）と 2 時期の NDVI 値から、崩壊地等が発生した可能性がある範囲を把握することとした。NDVI 比と崩壊等の関係は、表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 NDVI 比と災害前後の崩壊地等による被害森林の関係

NDVI 比	植生量の変化	崩壊地等による森林の被害
NDVI 比が 1 又は 1 より大きい	植生量の変化なし又は増加	なし
NDVI 比が 1 より小さい	植生量が減少	あり

2 時期の衛星データには、実際の地表面の変化による反射強度の変化のほか、植物の季節的な光合成量の変化や日射量の変化等が含まれるため、地表面の状態に変化がなくても NDVI 比が 1 とはならない場合がある。また、2 時期のデータのうち、1 つ目のデータにおいて森林ではない領域（例えば皆伐地等）が、2 つ目のデータで NDVI 値がさらに減少した場合でも NDVI 比は 1 より小さい値をとる。このため、NDVI 比だけでは崩壊地の可能性がある箇所を抽出するのは困難であることから、2 時期の NDVI 値及び NDVI 比の分布をもとに、崩壊地等の範囲を求めた。

2.2 教師データの作成

(1) 教師データの抽出

2 時期の NDVI 値及び NDVI 比から崩壊地等を抽出するためには、崩壊地等の可能性がある複数のピクセルにおける NDVI 値及び NDVI 比から統計量を算出し、崩壊地等と非崩壊地を分類するためのしきい値を設定する必要がある。しきい値の設定に用いるピクセルごとの NDVI 値や NDVI 比のデー

タを教師データという。

教師データの選定にあたり、予め衛星画像から目視判読により把握した崩壊地の可能性がある箇所を GIS 上でポリゴン化した（以下、教師エリアとよぶ）。

教師エリアは、風倒被害地及び非風倒被害地でそれぞれ作成することとし、風倒被害地内の教師エリアは、現地調査時に撮影した UAV データをもとに作成した崩壊地ポリゴンを使用した。非風倒被害地内の教師エリアは、2 時期の衛星画像を重ね合わせ、目視で識別できる範囲で崩壊地の可能性が高い箇所を選定、崩壊地を包括する範囲をポリゴン化した（図 2-1、図 2-2）。地表面の色合いが 2 時期の画像上で変化があっても、溪流内や道路上等、崩壊地ではなく土砂が堆積した可能性があるような場合は、対象から除外した。

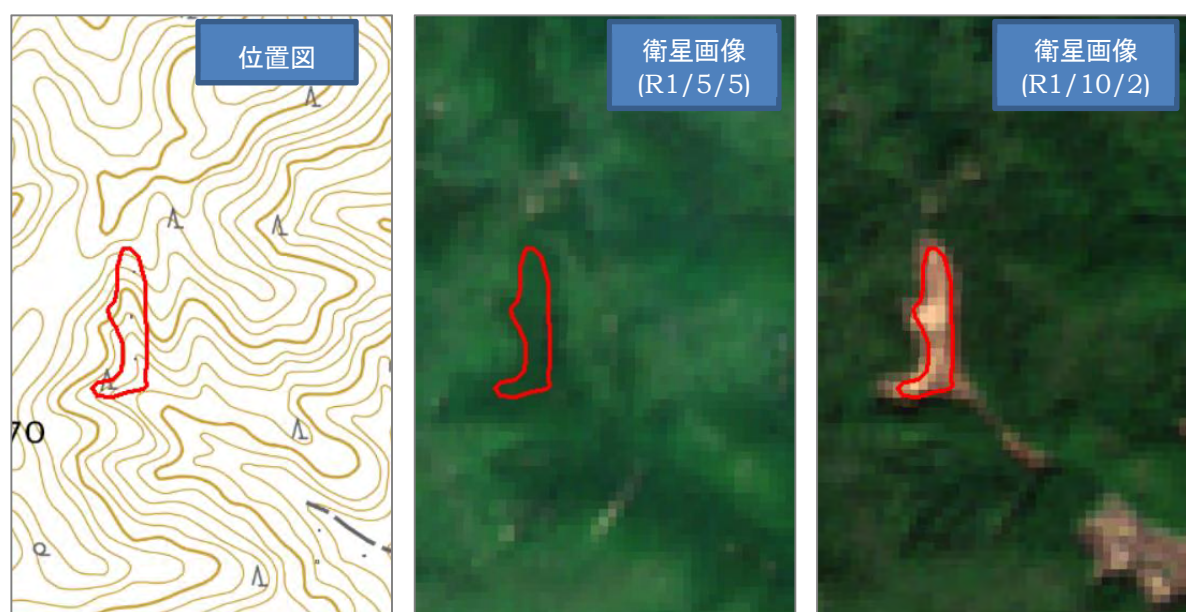


図 2-1 衛星画像を重ね合わせた教師エリアの例（災害前は「植生がある（植生）」状態）

風倒被害地及び非風倒被害地において作成した教師エリアは、災害前・後の状態から以下に述べる計 4 つのパターンが想定される（表 2-2）。

風倒被害地では、風倒被害の程度より「植生がない」（裸地）と判断される場合と、被害は受けているものの「植生がある」（植生）と判断される場合がある。対象降雨後の崩壊地等を「裸地」とした場合、この 2 パターンについては別々にしきい値を設定する必要がある（表 2-2 の P1-1、P1-2）。

また、非風倒被害地では、風倒被害はないが、災害前に皆伐地や人工改変地であった場合（「植生がない」）と、災害前には森林であった場合があるため、被害前の状態にもとづき「裸地」または「植生」の 2 つのパターンが想定される（表 2-2 の P2-1、P2-2）。

上記の 4 パターンのうち、非風倒被害地で災害前が「裸地」となる P2-1 は、2 時期の衛星画像を比較した際に、いずれも地表面が「裸地」であり、対象降雨により発生した崩壊地等であるかどうか判断することが困難であるため、災害前の状態が同じ「裸地」である P-1-1 のデータを用いた。



図 2-2 衛星画像を重ね合わせた教師エリアの例（災害前は「植生がない（裸地）」状態）

次に、各教師エリアから崩壊地の可能性が高いピクセルを目視で選定し、教師データとした。教師データは、隣接する森林等の崩壊地以外の反射波が含まれる境界付近のピクセルを対象外とし、パターンごとに概ね 100 地点以上となるよう選定を行った。

選定した教師データごとに、NDVI 値及び NDVI 比を抽出、統計量を算出し、後述するしきい値の検討に用いた。

非風倒被害地では、災害前の地表面の状態が「裸地」であった場合、皆伐地や採石場等と崩壊地等を識別することが困難であるため、本検討の対象外とした。

表 2-2 教師データの区分及びデータ数

パターン区分	風倒被害の有無	災害前の地表面の状態	教師データ数	備考
P1-1	風倒被害地	裸地	181	
P1-2	〃	植生	148	
P2-1	非風倒被害地	裸地	-	対象外
P2-2	〃	植生	94	

2.3 しきい値の検討

(1) NDVI 比のしきい値の検討

NDVI 比のしきい値を検討するため、教師データにおける NDVI 比の統計量（最小、最大、平均、

平均 $\pm 2 \times$ 標準偏差(σ)、レンジ)を表 2-3 及び図 2-3 に示した。

一般にデータが正規分布を示す場合、平均値と標準偏差の関係から、平均値 $\pm 2 \sigma$ の間にそのデータの約 95%が分布し、残りの約 5%は外れ値とされる。教師データは目視判読で崩壊地とした箇所であるため、より多くの教師データを崩壊地として分類できる値がしきい値として適当である。

また前述のとおり、立木が崩壊等により流出した場所では植生量が減少するため NDVI 値も減少し、NDVI 比が 1 を下回る。したがって、教師データの大多数を占め、かつ NDVI 比が 1 を下回る値である平均 $+2 \sigma$ を崩壊地と非崩壊地を分離するしきい値にすることとした。

表 2-3 パターン別 NDVI 比の統計量

パターン 区分	災害前の 地表面	最小 ①	最大 ②	平均 ③	平均 -2σ ④	平均 $+2 \sigma$ ⑤	レンジ ②-①
P1-1	裸地	0.298	1.559	0.807	0.357	1.257	1.261
P1-2	植生	0.330	0.982	0.687	0.379	0.995	0.653
P2-2	植生	0.113	0.642	0.413	0.154	0.672	0.529

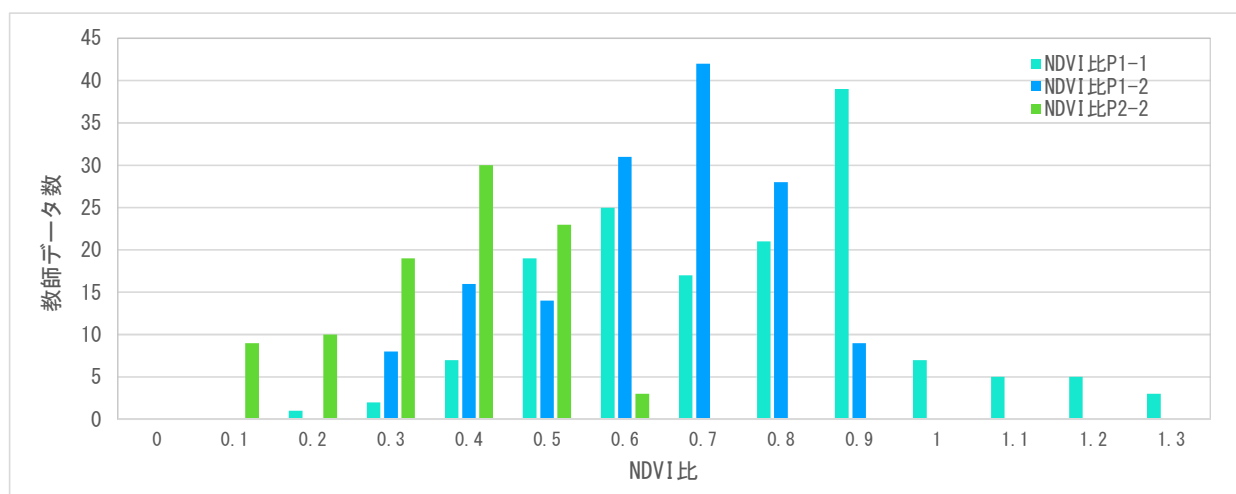


図 2-3 NDVI 比の分布

表 2-8 より、P1-1 の平均 $+2 \sigma$ は 1 を超えている。P1-1 をしきい値として採用すると、植生量またはバイオマスが増加した箇所が崩壊等として抽出され、過大評価になることが予想されたことから、P1-1 は不採用とした。

P1-2 及び 2-2 は災害前の状態が同じ植生であるが、P2-2 は、健全な森林が崩壊等により裸地となった変化であるため NDVI の減少幅が大きく、2 時期の画像間で NDVI 値が平均で約 40%、平均 $+2 \sigma$ で 67.2%減少しなければ、崩壊地として抽出されない。他方、風倒被害地である P1-2 では、災害前にすでに地表面が攪乱を受け NDVI が低い状態であったと考えられ、NDVI 比は平均で 0.687 と P2-2 より高い結果であった。P2-2 をしきい値として採用すると、過小評価になることが予想されたことから、P1-2 を採用し、災害前の状態が植生であった P1-2。2-2 に適用することとした。

(2) NDVI のしきい値の検討

(1)の検討では、対象降雨前の状態が裸地であった P1-1 の NDVI 比のしきい値を得られなかったため、災害前後の NDVI の統計量から NDVI 比のしきい値を求めることとした。

一般に、NDVI 値が大きくなる（1 に近づく）と植生、小さくなる（-1 に近づく）と非植生又は裸地となるが、そのしきい値は季節的な日射量の違いや観測時の天候、衛星の種類等によって変動する。P1-1 における NDVI 値の分布を表 2-4 及び図 2-4 に示した。P1-1₀₅₀₅ は対象降雨前の NDVI 値、P1-1₁₀₀₂ は対象降雨後の NDVI 値の統計量である。

表 2-4 より、P1-1₀₅₀₅ 及び P1-1₁₀₀₂ それぞれの約 95%にあたる平均±2σ の区間は、0.269～0.436 と 0.124～0.454 である。また P1-1 は対象降雨前後でいずれも裸地であったことから、植生と非植生のしきい値は上限値である平均+2σ となる。このため、対象降雨前は 0.436、対象降雨後は 0.454 を NDVI のしきい値に採用した。さらに P1-1 の NDVI 比は、上記の NDVI 値から新たに算出した値（NDVI 比=1.040）を採用した。各パターンにおける NDVI 比及び NDVI 値のしきい値を表 2-5 に示す。

表 2-4 パターン別 NDVI 値の統計量

パターン区分	災害前の地表面	最小	平均-2σ	平均	平均+2σ	最大	NDVI 比	レンジ
P1-1 (0505)	裸地	0.192	0.269	0.353	0.436	0.419	1.040	0.227
P1-1 (1002)	裸地	0.111	0.124	0.288	0.454	0.555		0.444

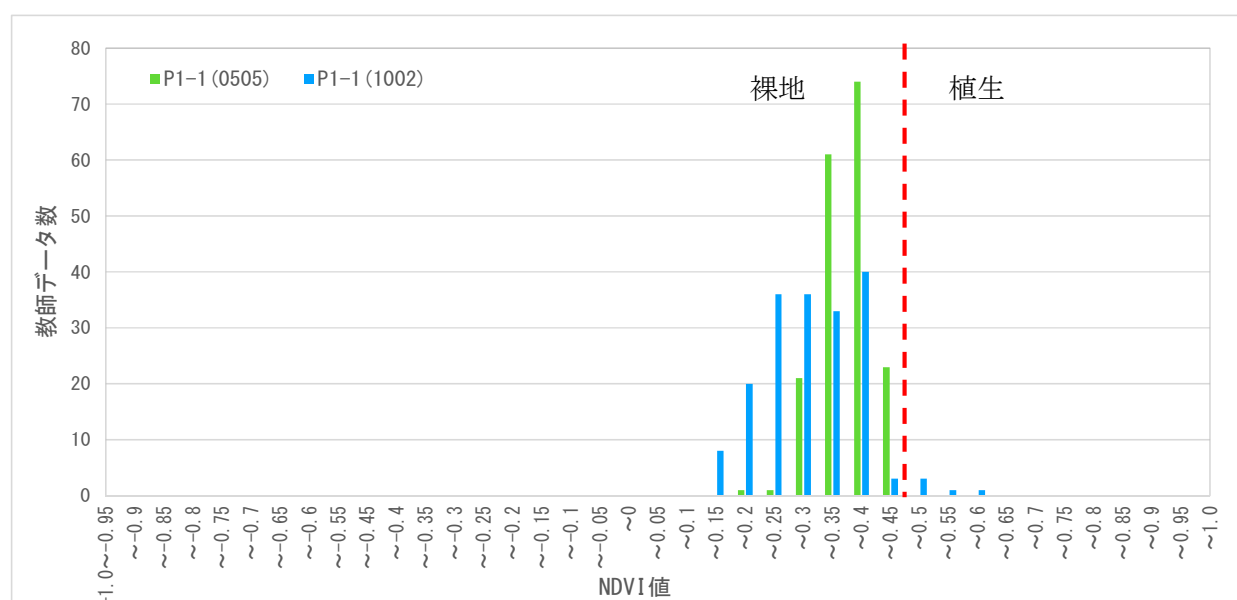


図 2-4 NDVI 値の分布

表 2-5 NDVI 比のしきい値

区分	風倒被害の有無	災害前の地表面の状態	NDVI 比のしきい値	NDVI のしきい値 (災害前)	NDVI のしきい値 (災害後)
P1-1	風倒被害地	裸地	1.040 以下	0.436 以下	0.454 以下
P1-2	〃	植生	0.995 以下	0.436 より大きい	0.454 以下
P2-2	非風倒被害地	植生	1.040 以下	0.436 より大きい	0.454 以下

2.4 崩壊地の抽出

表 2-5 に示したしきい値を全て満たすピクセルを「崩壊の可能性が高いメッシュ（以下、崩壊地等メッシュ）」として抽出した。崩壊地等メッシュの抽出は、以下の流れで行った。

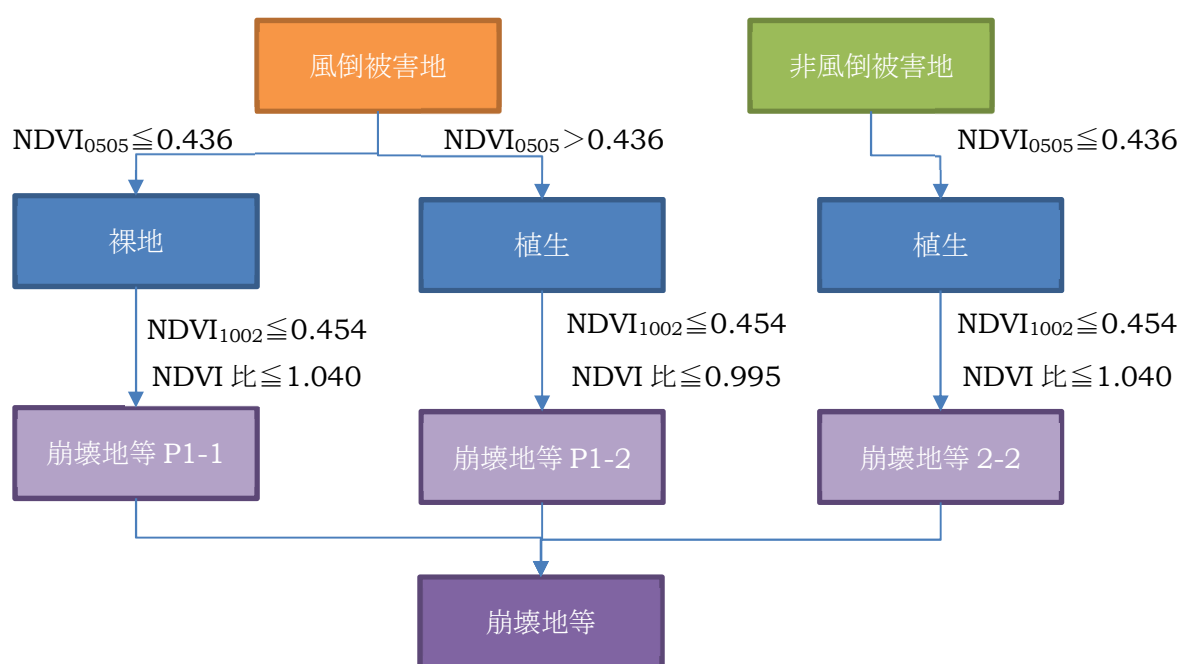


図 2-5 崩壊地等メッシュ抽出の流れ

抽出結果を図 2-6 及び図 2-7 に示す。崩壊地等の範囲は、貸与データの国有林及び民有林の範囲で抽出した。解析に使用した衛星データが 2020 年 5 月及び 10 月であるため、本解析結果には、この期間に出現した人工改変地、伐採地、令和 2 年 7 月豪雨以外の降雨等による崩壊地も含まれることに留意する。

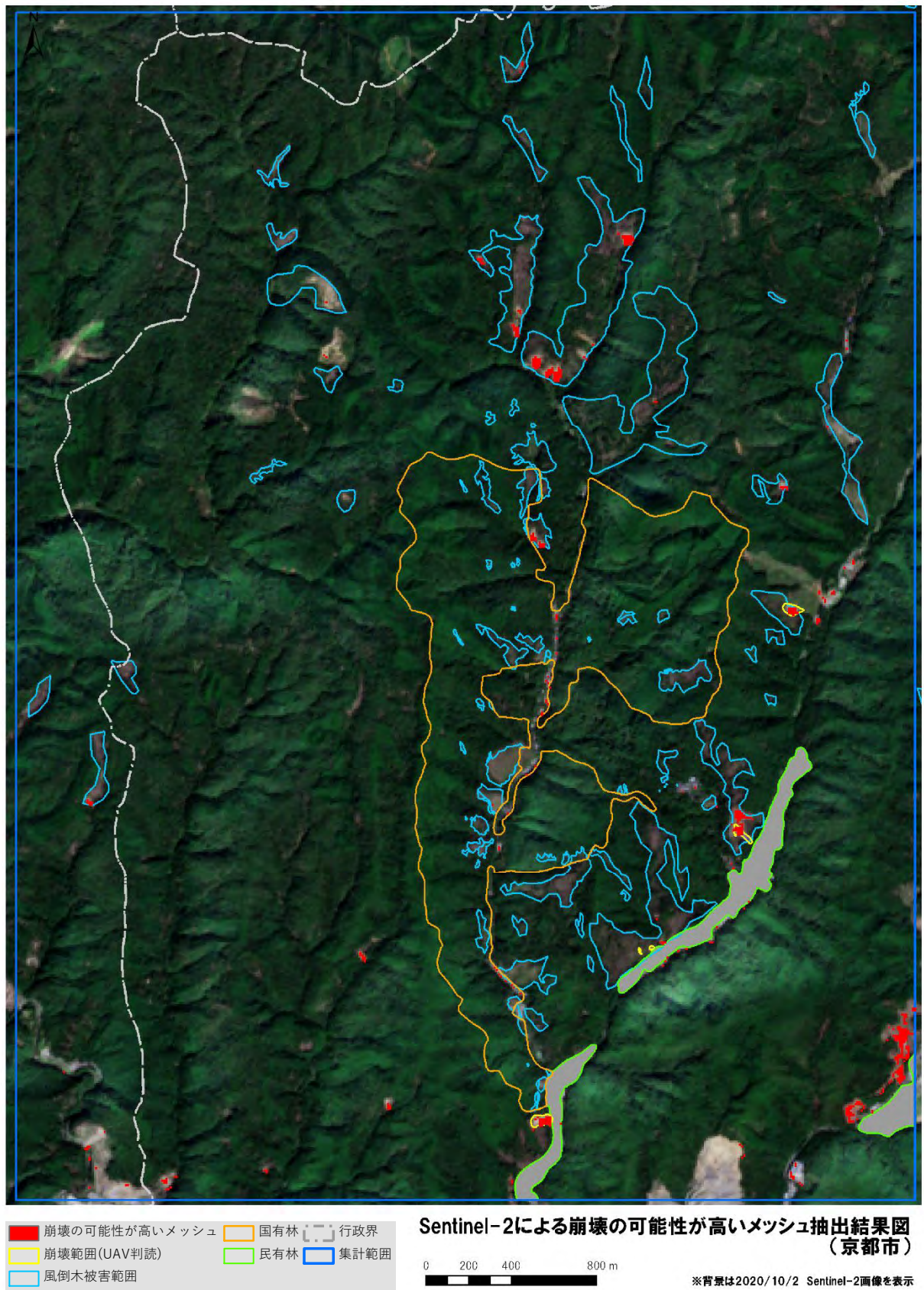


図 2-6 崩壊地の抽出結果（京都市）

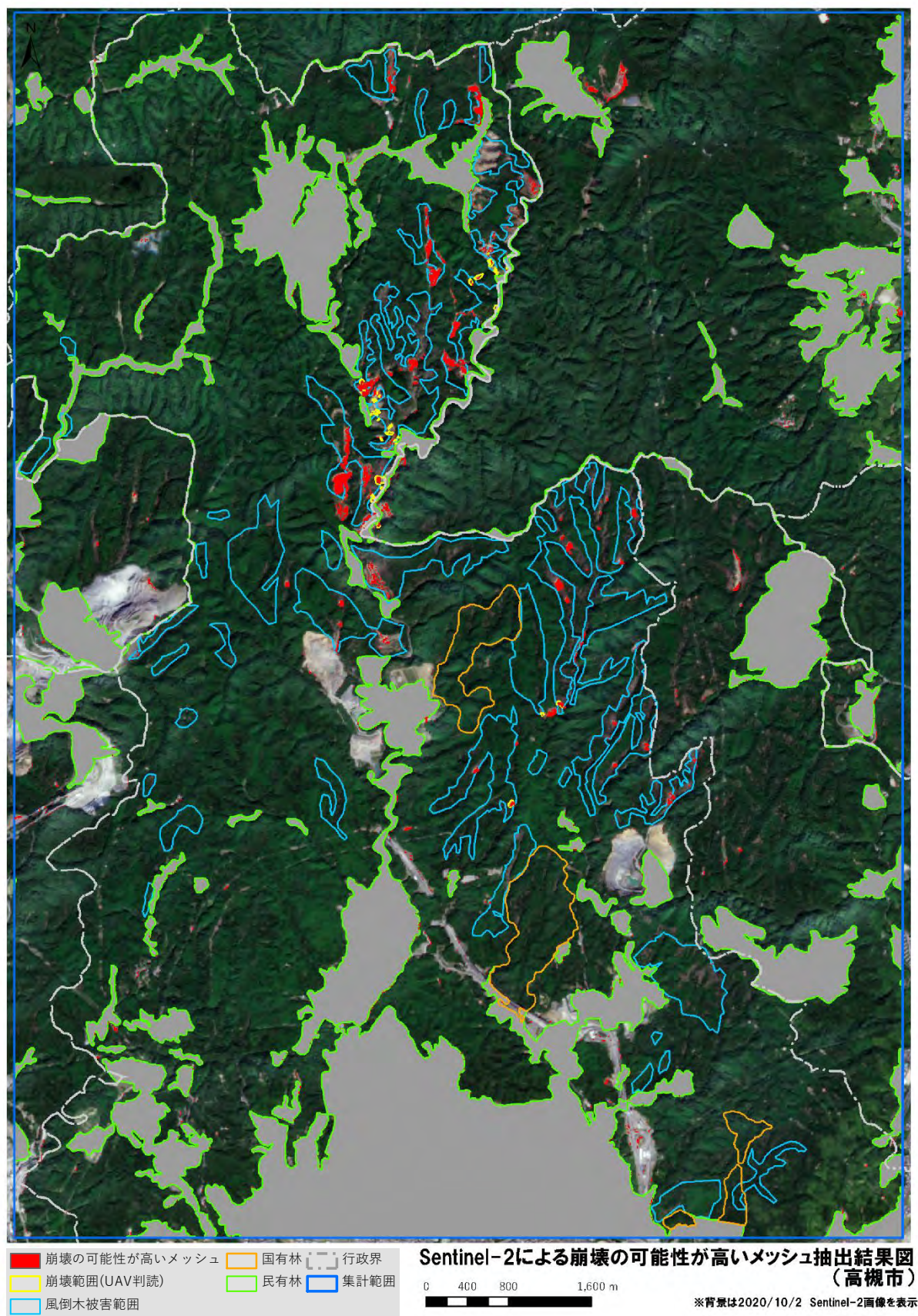


図 2-7 崩壊地の抽出結果（高槻市）