

2004年18号台風後のSPOT HRV-XS 画像による 北海道羊蹄山の森林風倒被害の抽出と抽出誤差要因の検討

阿 部 友 幸*

Extraction of forest wind damage from a SPOT HRV-XS image after typhoon 200418 in Mt. Yotei, Hokkaido, Japan and related error factors

Tomoyuki ABE

要 旨

北海道羊蹄山を対象に、2004年台風18号襲来後に撮影されたSPOT 2号衛星HRV-XSセンサ画像を用いて森林風倒被害(風倒害)の抽出をおこなった。抽出の基礎となる現地状況の情報は同時期に撮影された航空写真を用いて取得した。まず標準的に、スペクトル特性のみに基づきNDVI閾値による一律な抽出を行ったが、様々な誤差要因があることが判明した。誤差要因とは、急峻な地形に起因する地図座標と衛星画像のズレ、森林種別の相違、治山ダムなどの人工地物と森林の混合ピクセル、太陽入射方向と斜面方向の関係の相違、とくに濃い影の存在である。これらのうち可能なものについて、抽出精度を改善する方策を検討した。

1 主要な解析に先立ち、HRV-XS画像に対し標高データを用いた精密幾何補正を行った結果、地形図と精密に重ね合わせることができた。通常の幾何補正に対し、補正量は距離にして80mにおよぶ場合があった。この過程は、参照データの取得、および様々な被害抽出の精度改善方法の検討において非常に重要な作業であった。

2 航空写真にて現地状況を、森林3区分(トドマツ林、カラマツ林、天然生林)を含む5つの地被区分ごとに、「被害なし」から「壊滅状」被害まで最大6段階の被害程度区分を判読し、スペクトル特性を調べた。風倒害の抽出に従来よく使われてきたBandR(赤)、およびBandRとBandIR(赤外線)を合成した正規化植生指数NDVIは、風倒害地を抽出するには必ずしもよい指数とはいえず、森林種別ごとに最適な抽出方法があることが分かった。しかしながら、様々な森林種別を含む広域画像に対しては、あらかじめ森林種別を厳密に区分する作業が難しいことを考え合わせると、NDVIを指数とした抽出を行うことが第一近似として現実的であると考えられた。また大溪谷の影部や、治山ダムのような人工地物と森林の混合ピクセルが誤抽出を引き起こすことが分かった。

3 羊蹄山山体に刻まれた大溪谷の影が大きな誤抽出を起こすことと同様、影ができないまでも太陽光線と斜面方位の関係でNDVI値が変動し誤抽出の可能性が生じることがあきらかになった。このため、ピクセル値の地形補正を検討した。影におけるNDVI値はよく補正されるなど一定の効果が認められたが、過剰補正の傾向が認められた領域も小さくなかった。試行錯誤によって改善できる可能性は残っているが、ピクセル値の地形補正は一つのテーマとなって研究が進展中であることを考えあわせると、この点からの抽出精度向上はまだハードルが高いと考えられる。

4 大溪谷の影の問題については、GISで計算した影領域によるマスキングも検討した。このことによって、誤抽出の可能性が高い領域をよく除去することができた。森林域にあり、誤抽出を引き起こすが除去が難しいと考えていた治山ダムのような地物も、GISデータの入手の可能性が残されているので、これによりマスキング領域を作成することで除去ができるかもしれない。

キーワード：森林風倒被害(風倒害)、急峻地形、リモートセンシング、SPOT HRV-XS、誤差要因

* 北海道立林業試験場道南支場 Hokkaido Forestry Research Institute, Donan Branch Station, Kikyo, Hakodate, Hokkaido 041-0801
[北海道林業試験場研究報告 第47号 平成22年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No.47, March 2010]

1 はじめに

近年日本の森林では、台風や発達した温帯低気圧の暴風による森林風倒被害（以下、風倒害）が多発している。1991年には台風17号と19号によって九州地方を中心に広大な面積の森林が大きな被害を受けた（諫本・高宮，1992）。また1998年には、台風7号によって奈良県を中心に被害が発生した（藤井ほか，2002）。なおこの台風襲来では、奈良県室生寺の国宝五重塔が風倒木により損傷をうけて全国的な話題にもなった。北海道でも2002年台風21号，2004年台風18号による風倒害が記憶に新しく，特に後者は50年ぶりの災害と言われた。このように風倒害は，建造物やインフラの損傷，風倒木による道路や鉄道の遮断など，森林経営のみならず生活基盤にいたるまで大きな打撃を与えるものである。

このため，被災のあと風倒害を迅速かつ広域に抽出・評価することは，行政的な被害対応措置の検討などの「初動」，要因解析を通じた被害軽減手法の検討などの「事後対策」の両面において重要である。特に衛星リモートセンシングによる風倒害の抽出は，北海道行政の初動に対する支援において重要な役割を果たした実績がある。著者も参画した北海道森林災害リモートセンシング研究会は2004年台風18号襲来に際し，風倒害の抽出を行い初動時の情報提供を行った。

同時に，各種ソースデータ（衛星画像：MODIS・ASTER・SPOT・IKONOS；航空写真：デジタル・銀塩；現地踏査）から「風倒害の広域抽出用」データ，および風倒害抽出の基礎となる「現地状況」データとして異なる組み合わせを用い，主に台風前後の画像の差分から風倒害地を抽出する手法を骨子とする様々なリモートセンシングが検討され，報告書としてまとめられた（北海道森林災害リモートセンシング研究会，

2005）。これは現在得られる衛星画像と航空写真データの下で，考え得る手法を網羅的に扱ったものと評価できる。

しかしながら，衛星による観測は未だ態勢充実の途上にあるため，必要な時期・場所・種別の衛星画像が必ず得られるわけではない。航空写真は観測の自由度が格段に高いとは言えるが，同様の問題がつきまとう。上記の報告書では幸いにも台風前と後の画像が利用できたが，台風後の画像しか利用できない場合の方がむしろ多い。加えて，上記の報告書では支笏湖東方の火山灰台地，および北海道江別市の平地林という平坦地を主な解析対象地しているが，日本の森林が成立する立地は山地の急峻地形が主体である。このため必要最低限の画像，すなわち台風後の画像データのみを用いて山地の急峻地形における風倒害抽出を行い，解析上の問題点を明らかにした上で解決策を提示することは，有事の「初動」に備える上で大きな意義があると考えられる。

そこで本報では山地の急峻地形に成立する森林を対象に，台風後の画像のみを用いて風倒害の抽出を行った。つぎに，上記の報告書には明示されていない解析上の問題点を明らかにし，可能なものについては解決法の検討を試みた。

2 方法

2-1 対象地域

北海道後志地方羊蹄山域のおよそ12×12kmの地域を解析対象とした（図1）。羊蹄山は山麓標高176m（倶知安町市街）から山頂標高1,898mにおよぶ円錐型の山体をもち，山麓の緩斜面，中腹から山頂にかけての急斜面や山体に刻まれた大渓谷など，東西南北および緩急様々な斜面要素を有する。羊蹄山一帯には北海道有林野後志管理区の森林が広がり，多様な森林機能の発揮において重要な役割を果たしている。この森

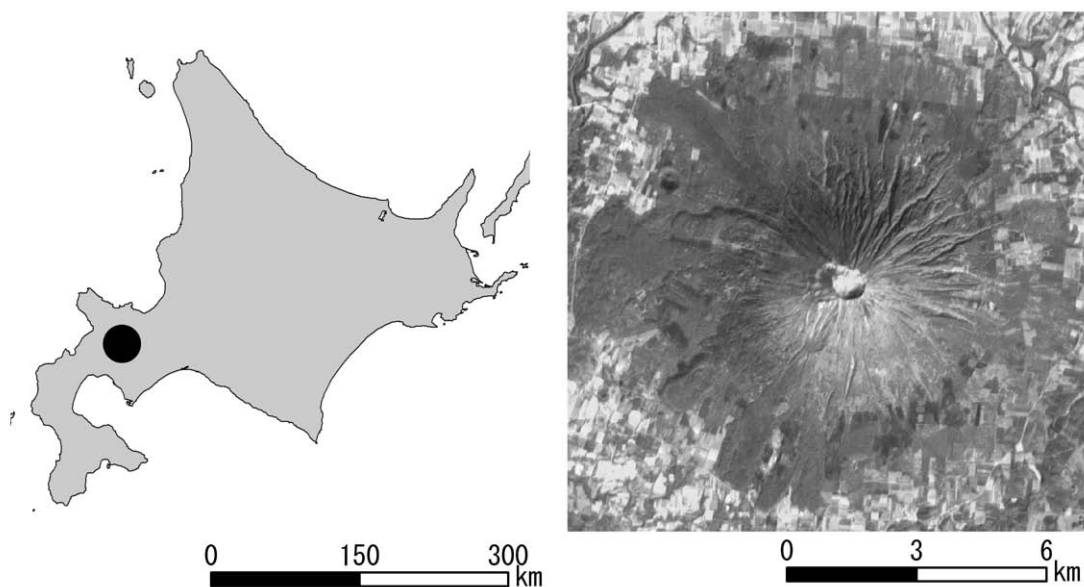


図1 羊蹄山の位置（左）とSPOT 2号HRV-XSセンサ画像（右）
右図が本報の対象地域である。

林が2004年台風18号（9月8日）により大きな被害を受けた。

2-2 使用したソースデータとデータ取得

上記のような広域の被害抽出のため、SPOT 2号搭載のHRV-XSセンサ画像を使用した。HRV-XS画像一枚は60×60kmにわたる領域をカバーし、空間解像度は20×20m、3つの観測帯域、すなわち緑帯（BandG、波長0.50～0.59μm）、赤帯（BandR、波長0.61～0.68μm）、近赤外帯（BandIR、波長0.78～0.89μm）から構成されている。風倒害によってBandRおよびBandIRに大きな変化がおきることが知られており（鷹尾, 2005; 布和ほか, 2005）、本報もこの2つの帯域データを使用した。広域の風倒害抽出には、台風直前直後の衛星画像か

らBandR、BandIR、およびBandR、BandIRを合成して作成する正規化植生指数NDVIの時間変化を抽出し、これを現地状況の情報に参照して画像分類を行うのが標準的な方法である（Appendix II; 齋藤・加藤, 2005; 零石ほか, 2005; 鷹尾, 2005; 高田ほか, 2005; 布和ほか, 2005）。しかしながら、羊蹄山一帯では台風直後の画像（9月16日）のみしか得られなかった。

風倒害抽出の基礎となる現地状況の情報を取得するには、現地調査（菅野ほか, 2005; 高田ほか, 2005）、高解像度衛星画像の判読（鷹尾, 2005; 齋藤・加藤, 2005）および航空写真の判読（齋藤・加藤, 2005）が行われる。本報では、10月8日に撮影された航空写真(図2)の目視判読を行った。この航空写真は羊蹄山北東域を中心に撮影されたもので、倒木

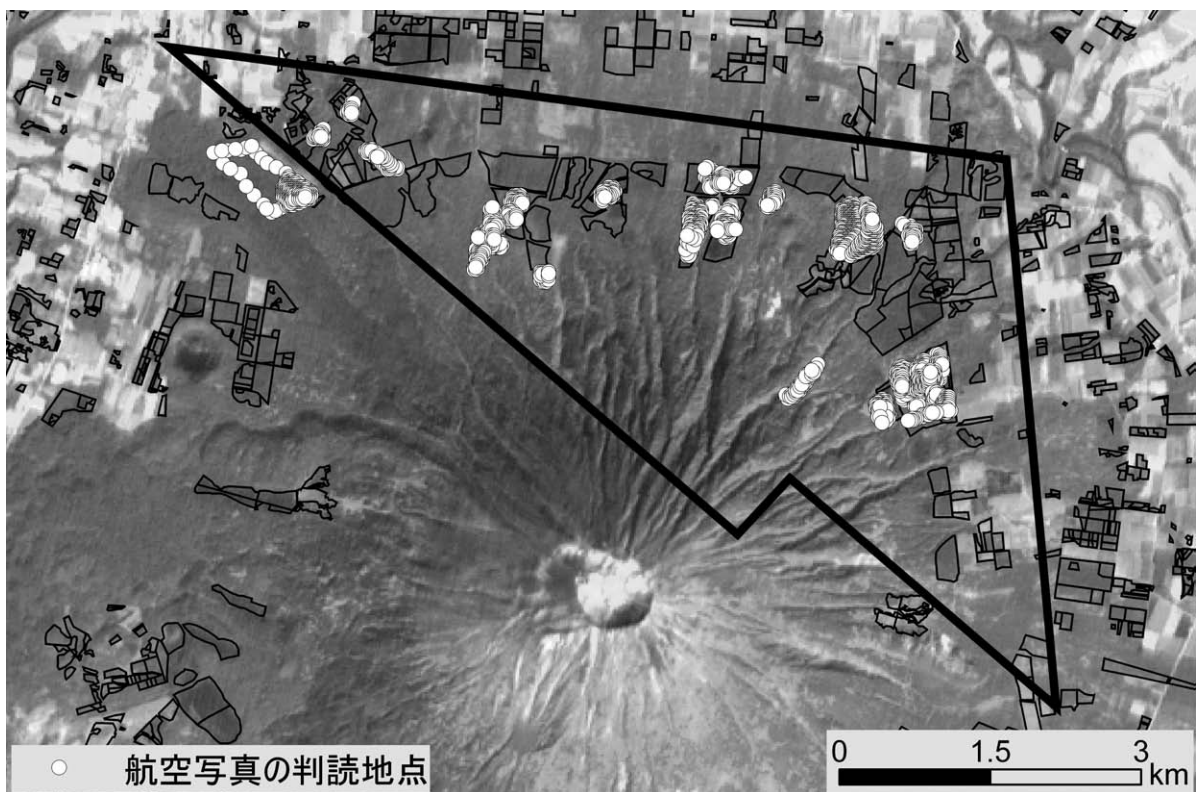


図2 森林の被害程度判読を行うのに使用した航空写真の撮影範囲（太実線）
太実線は航空写真の標定点を結んだもので、実際の撮影範囲は太実線より外側まで広がる。白丸は航空写真の判読地点、細線区画は針葉樹人工林区画をあらわしている。

表1 被害程度区分・地被区分ごとの判読数

被害程度区分	地被区分				
	トドマツ林	カラマツ林	天然生林	砂防ダム	大溪谷の影 (天然生林)
1.被害なし	62	326	28	61	49
2.葉減少		19			
3.林冠小穴	154	52	169		
4.強度疎開	48				
5.疎林状		224	164		
6.壊滅状	191	94			

の形状が目視できるほどの精細なものである。写真撮影の範囲でなるべくまんべんなく目視判読し（図2）、森林3区分（トドマツ林・カラマツ林・天然生林）を含む5つの地被区分ごとに最大6段階の被害程度区分（被害なし、葉減少、林冠小穴、強度疎開、疎林状、壊滅状）を判読した。なお「林冠小穴」とは、林冠に穴がみられたものの、下に倒木をみつけられなかったものをいう。判読はHRV-XS画像のピクセル単位（20×20m）でおこない、判読数は地被区分・被害程度区分ごとに相当数が含まれるようにした（表1）。

現地状況のデータは、風倒害抽出のための参照データと分

類結果の検証データに二分して使用されることがある。しかし、参照データが多ければ多いほど風倒害抽出の精度が向上することは自明であるため、取得した現地状況のデータはすべて参照データとし、検証データは兼用とした。

2-3 解析の手順

以下の手順でデータ処理を行った（図3）。

- ①台風後のHRV-XS画像を、地形図と重なるよう精密幾何補正（Appendix I）
- ②対象地域サブセット（図1）

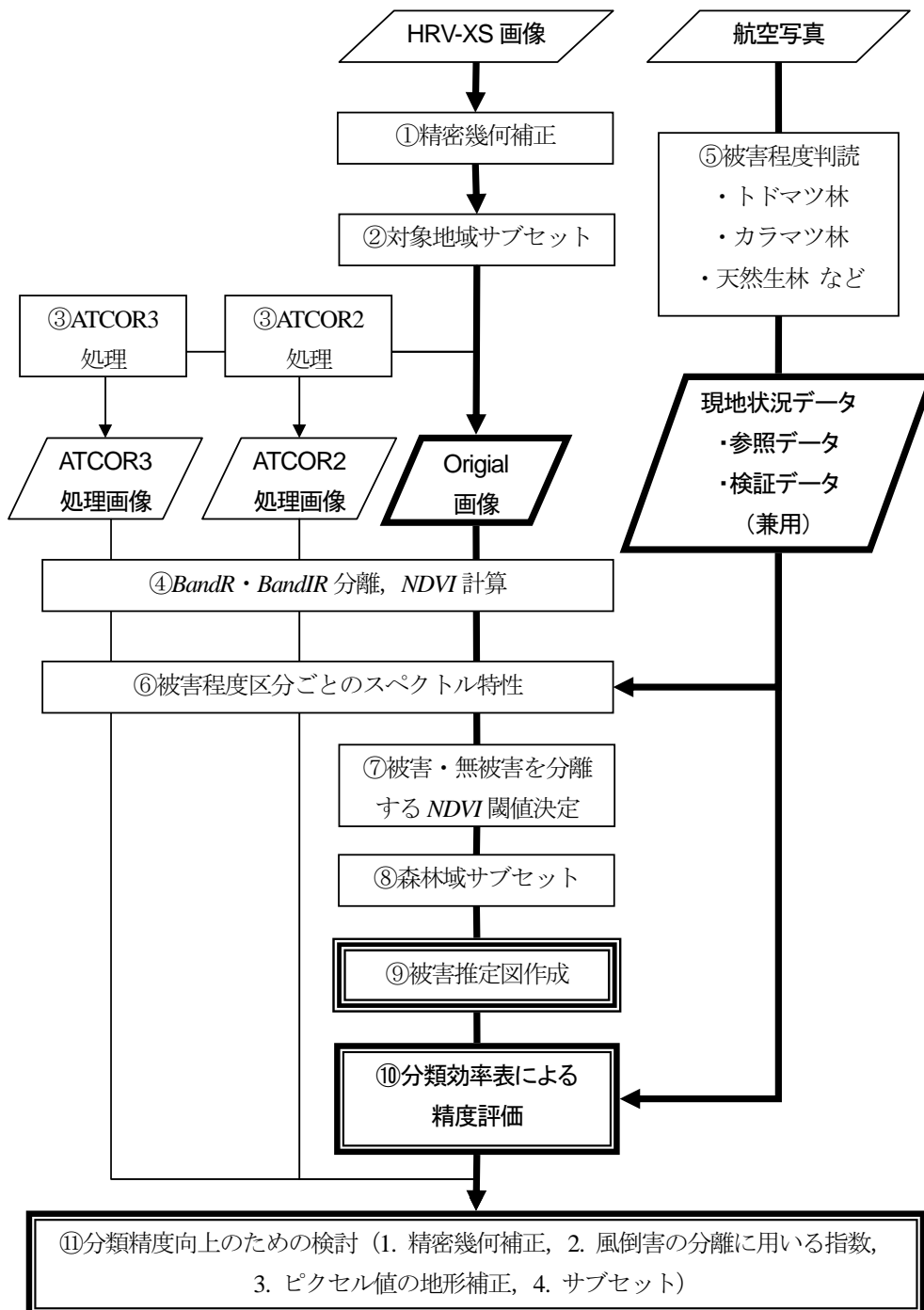


図3 解析の手順

③HRV-XSのOriginal画像のほか、ピクセル値の大気補正（ATCOR 2：ERDAS IMAGINE 8.5の拡張機能）および大気補正+地形補正（ATCOR 3：ERDAS IMAGINE 8.5の拡張機能）を施した画像も用意し、⑪の分類精度向上のための検討に供した（図4）。

④BandIRとBandRを分離、正規化植生指数NDVIを算出

⑤航空写真判読により、地被区分ごとに被害程度を判読

⑥被害程度区分ごとのスペクトル特性解析（BandR、BandIR）

⑦被害程度を区分できるNDVI値の閾値の決定

⑧森林域サブセット

森林域サブセットには2種類の森林区画データ（北海道水産林務部森林計画課・道有林課管理）を統合して使用

⑨被害推定図の作成

⑩分類効率表による精度評価

⑪分類精度向上のための検討

（1. 精密幾何補正, 2. 風倒害の抽出に用いる指数, 3. ピクセル値の地形補正, 4. サブセット）

3 結果と考察

3-1 被害程度判読

地被区分、被害程度区分、判読数は表1のとおりである。被害程度は、表の下の区分ほど重大になる。図5に航空写真の判読例を示した。

3-2 風倒害地のスペクトル特性

衛星リモートセンシングにおいては、森林が風倒害をうけると葉の活性が低下することにより赤色光域の反射が増大し、近赤外光域が健全な森林にくらべると反射が小さくなることを利用し、BandRもしくはNDVIを用いて風倒害の抽出が行えるとされている（布和ほか、2005）。今回の解析でも同様の傾向がみられたが、地被区分によって傾向が異なった。

本報では、「強度疎開」被害以上の抽出をおこなった。「強度疎開」以上とそれ未満を区分する場合、トドマツ林ではBandR-BandIR図（図6）において等NDVI線によってよく区分できるが、カラマツ林と天然生林では、等NDVI線とは傾きの異なる線によって区分ができると思われる（図6の破線）。

このことから、地被区分ごとに分類方法を違えることで高精度な抽出につながると考えられるが、衛星画像に対して地被区分を厳密に行うことはそう簡単ではない。カラマツ林や天然生林でも図6の破線は等NDVI線と同じ右上がりの直線であることから、今回はこれまでの研究成果を踏襲し、簡易に得られるNDVI線によって被害分類をおこなった。

3-3 NDVI閾値の決定

図7に、地被区分および被害程度区分ごとのNDVI値を示す。この図には、解析エリアにあるが、あらかじめ除外が難しく森林3区分とはスペクトル特性の異なる地被区分（治山ダム

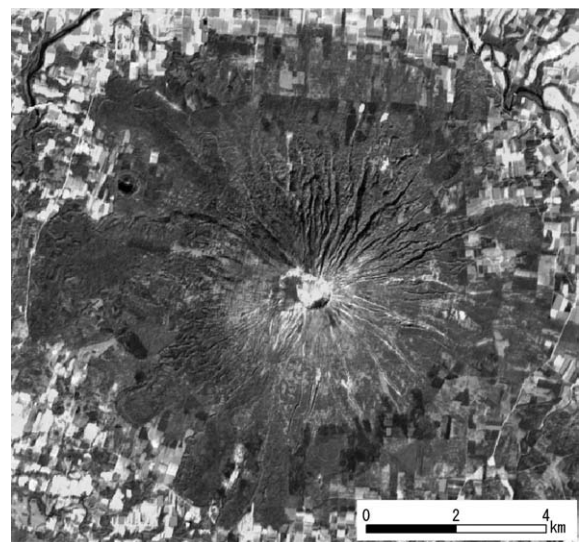
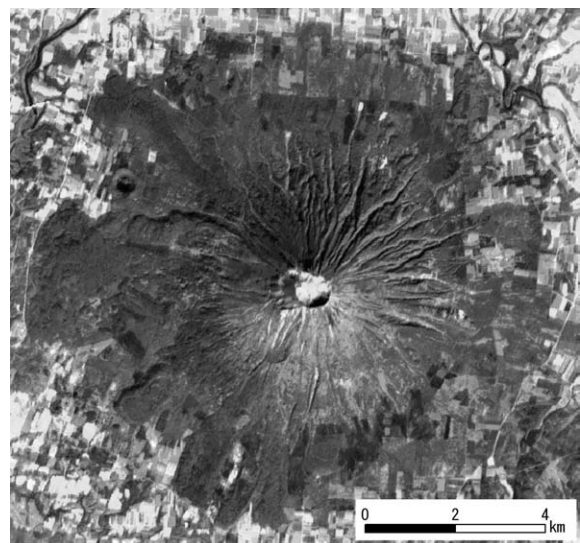
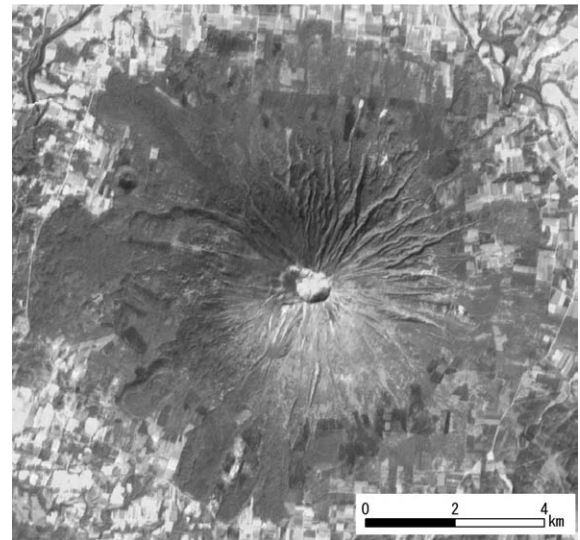


図4 HRV-XS Original画像（上段）、大気補正画像（ATCOR 2 処理画像、中段）、および大気補正+地形補正画像（ATCOR 3 処理画像、下段）

大気補正によって、コントラストが向上し、地形補正によって影が少なくなっていることに留意。

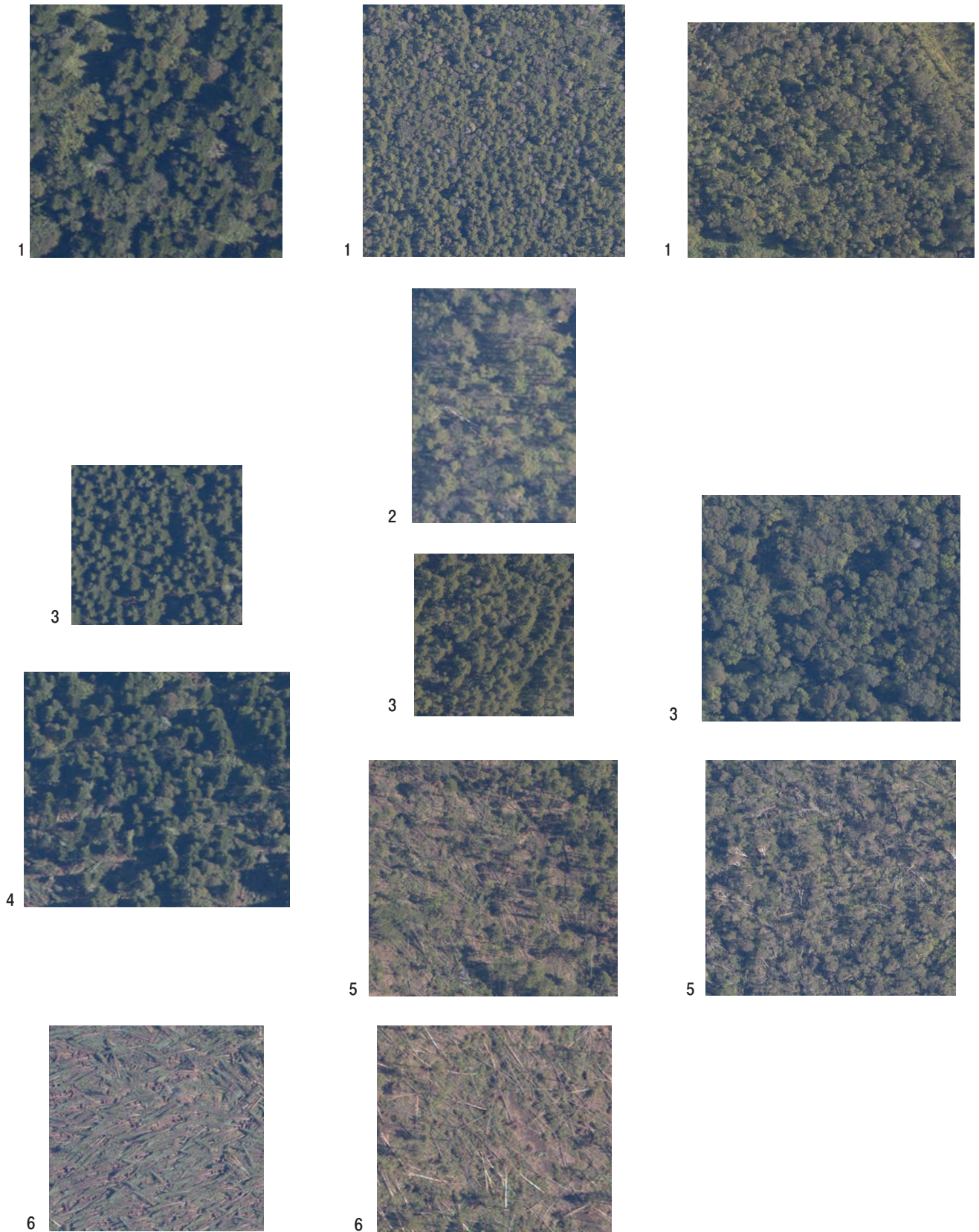


図5 航空写真の判読例

左列よりトドマツ林, カラマツ林, 天然生林である。数字は被害程度区分を示す。
1:被害なし, 2:葉減少, 3:林冠小穴, 4:強度疎開, 5:疎林状, 6:壊滅状

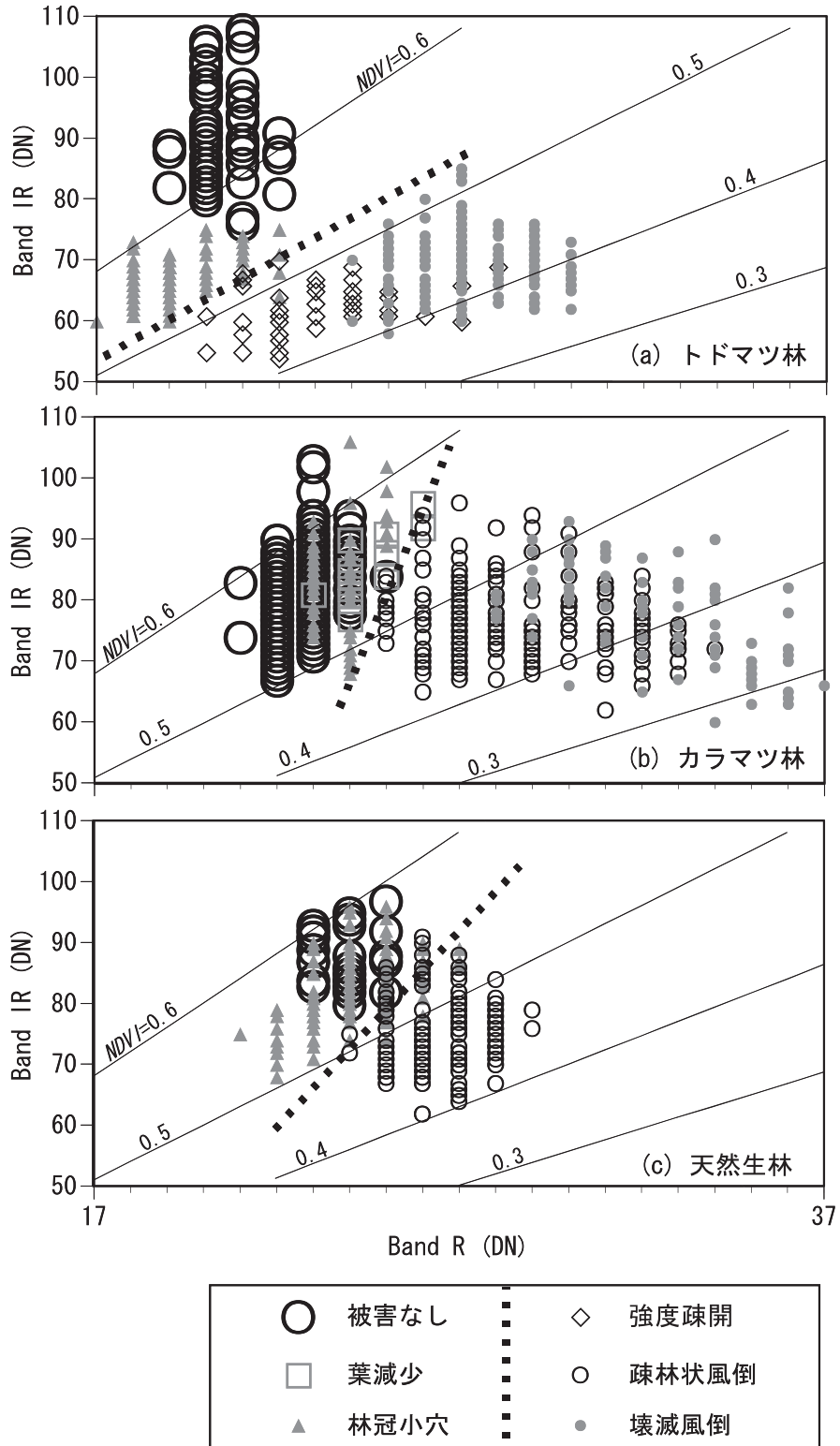


図6 羊蹄山風倒被害地のスペクトル特徴
 実線は等NDVI線である。破線は、強度疎開以上の風倒害をよく分離できると考えられる任意に引いた境界である。

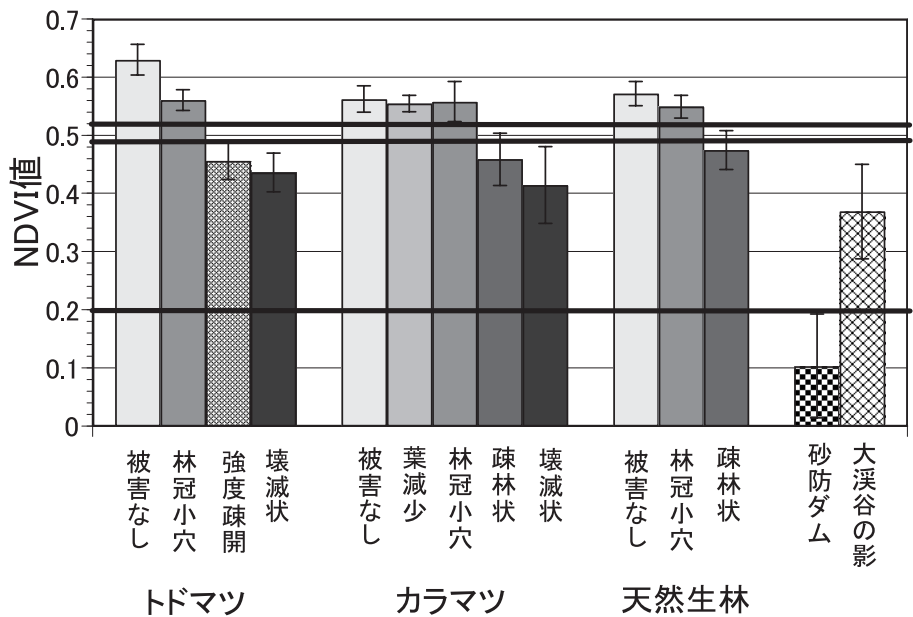


図7 被害程度区分, 地被区分ごとのNDVI値

縦棒は平均値を, エラーバーは標準偏差を示す。強度疎開以上の風倒害の抽出を目的とし, 被害なし:NDVI値0.52以上, 軽微:NDVI値0.52未満0.49以上, 重大:NDVI値0.49未満0.2以上, 対象外:NDVI値0.2未満とした。

・大溪谷の影にある天然生林)のNDVI値を同時に示している。「強度疎開」以上を抽出するために,ここでは便宜的にNDVI値が0.52以上を被害なし, 0.49以上0.52未満を被害軽微, 0.49未満0.2以上を被害重大, 0.2未満を対象外とした。「大溪谷の影のある天然生林」に区分された森林は被害を受けていないにもかかわらず,これによると大部分が被害重大に分類される。しかし,「大溪谷の影のある天然生林」を除外するため「被害重大」の下のNDVI閾値を大きくすると,被害の大きい森林の抽出ができなくなる恐れがあることから(たとえば図6カラマツ林。壊滅状被害の箇所ではNDVIが0.3を下回ることがある),安全のため上記のようにした。この区分法による被害推定図を図8に示した。「大溪谷の影のある天然生林」における誤抽出を除去する方法については,後に検討する。

3-4 解析精度

HRV-XS画像による抽出結果と,航空写真による被害程度区分の判読結果との判別表による精度評価を表2に示した。森林域3区分については高い精度で被害抽出ができた。トドマツ林については,製作者精度・利用者精度ともに90%をこえたことから,抽出精度は十分といえる。カラマツ林については,疎林状被害の場合,大きめの誤差が生じた。カラマツ林の疎林状被害は図5に見るように,相当の被害であるため「被害重大」が正答としたが,実際は倒れていない木も散見される。こうした部分で残存木と風倒木の反射光が混合されNDVI値が高くなり,誤抽出につながったと考えられる。天然

生林の場合も同様である。

カラマツ林の場合,図6において「疎林状」以上(「強度疎開」がないので)とそれ未満を一番よく区分できると考えられる直線は等NDVI線ではなかった。図6に引いた破線で区分をおこなえば,等NDVI線で区分するより高い精度での抽出が可能と言える。

天然生林の場合はカラマツ林と異なり,解析精度を上げるのは難しいと考えられる。図6を見ると,「疎林状」以上と「林冠小穴」以下の点が少なからず重なり合っているからである。このことから,カラマツ林の場合のように図6に引く線の位置による抽出精度の向上は難しいと考えられる。また,天然生林の「疎林状」被害箇所は林床にササ地が広がっている場合が少なくなかった。ササ等のNDVI値は樹木のそれよりも高いため,倒木の示す低NDVI値はHRV-XS画像のピクセル単位(20×20m)においては混ざり合ってしまう,比較的高いNDVI値を示すピクセルも少なくなかったと考えられる。

治山ダムのような森林域に設置された人工物は,森林とは明らかに異なるスペクトル特性を示した。NDVI値は平均で0.1前後であり,被害地と比べても明らかに低いため容易に分離することができる(図7)。本研究では,NDVI値0.2以上を風倒害としたため,治山ダムのピクセルの大部分は除外することができた(表2)。しかしながら,治山ダムの輪郭に位置するピクセルは周囲の森林の影響を受けるためかNDVI値が高くなる傾向があり,これらが風倒害地のNDVI値に匹敵した結果,誤抽出される場合があった(表2)。参照データを

表2 分類効率表による精度評価
斜体は正解を示す。

	トドマツ林	衛星画像による被害判定				製作者 精度
		なし	軽微	重大	総計	
写真判読結果	被害なし (1.)	62	0	0	62	100%
	林冠小穴 (3.)	151	2	1	154	98%
	強度疎開 (4.)	3	2	43	48	90%
	壊滅状 (6.)	0	11	180	191	94%
	総計	216	15	224	455	
	利用者精度	98.6%	-	99.6%		
<hr/>						
	カラマツ林	衛星画像による被害判定				製作者 精度
		なし	軽微	重大	総計	
写真判読結果	被害なし (1.)	316	10	0	326	97%
	葉減少 (2.)	19	0	0	19	100%
	林冠小穴 (3.)	44	5	3	52	85%
	疎林状 (5.)	18	42	164	224	73%
	壊滅状 (6.)	0	8	86	94	91%
	総計	397	65	253	715	
	利用者精度	95%	-	99%		
<hr/>						
	天然生林	衛星画像による被害判定				製作者 精度
		なし	軽微	重大	総計	
写真判読結果	被害なし (1.)	28	0	0	28	100%
	林冠小穴 (3.)	156	13	0	169	92%
	疎林状 (5.)	22	23	119	164	73%
	総計	206	36	119	361	
	利用者精度	89%	-	100%		
<hr/>						
	治山ダム	衛星画像による被害判定			製作者 精度	
		重大	対象外	総計		
写真判読結果	被害なし (1.)	8	53	61	87%	
<hr/>						
	大溪谷の影 (天然生林)	衛星画像による被害判定				製作者 精度
		なし	軽微	重大	総計	
写真判読結果	被害なし (1.)	3	2	44	49	6%

取るのに用いなかった幾つかの細長い治山ダム（堆砂域も含む）では、ピクセルサイズ20×20mのHRV-XS画像においては輪郭ピクセルが大部分を占め、殆どが風倒害地として誤抽出された場合も認められた(図8)。このことを解決するには治山ダムのマスクを用いたサブセット (Appendix IV) が有効と考えられるが、GISデータとして別途入手する必要がある。

地形によって生じた陰影部（ここでは大溪谷の影）ではNDVI値が大きく低下し、誤抽出を引き起こすことが分かった(図7, 表2, 図8)。表2によると、この箇所の製作者精度は6%と際だって低く、大きな問題であるといえる。これほど明瞭の影でなくても、斜面方向・傾斜角によって日の当たり方は異なるため、NDVI値に影響している可能性も考えられる。このことはAppendix IIIで触れる。

以上、従来の研究成果に則った形で結果を導出し議論を行ってきたが、風倒害の抽出精度を向上させるためにはさらに掘り下げた検討が必要と思われた。以下、本報を通して新たに検討が必要と考えた4点について、若干の結果を追加し (Appendix I, III, IV), 抽出精度向上の方策について議論をおこなう。

4 精度向上のための方策

4-1 精密幾何補正

本報では数種類のデータをGIS, RSソフトウェアで重ね合わせて解析を行ったが、各々の位置精度を高めることは解析を行う上でないがしろにできない前提条件である。すべての解析に先立ち、HRV-XS画像に対して標高データをもちいた精密幾何補正（標高補正）を施したが補正効果は明らかであった (Appendix I)。通常の幾何補正に対し、補正量は距離にして80mにおよぶ場合もあった。後述のとおり森林風倒被害地の抽出精度を向上させるには、ピクセル値の地形補正（4-3節）、解析対象の領域切り出し（サブセット, 4-4節）が有効であったが、これらはHRV-XS画像が地形図と厳密に一致していることが前提である。

ピクセル値の地形補正や影領域を用いたサブセットでは、地形図から生成されている標高データを用いていることから、位置のズレは本質的な過誤につながる。解析対象を森林域に限定するためのサブセットでも同様である。森林の近傍には耕作地や道路等人工物の生活インフラが広がるため、ここで衛星画像の位置精度が何十メートルもずれると解析対象に含まれてしまう。これらは森林とくらべて大幅にことなるスペクトル特性をもつため、たとえば刈り取りが終わった耕作地や道路等人工物は低いNDVI値を示すため、風倒害地として誤抽出される可能性が生じる。

また、地形図に合わせた航空写真から参照データを生成したが、地形図と衛星画像の位置のズレはそのまま参照データの正確度の低下につながると言える。

4-2 森林風倒被害の抽出に用いる指数

本報では森林風倒被害を抽出するにあたり標準的な手法であるNDVI値による区分をもちいた(Appendix II)。しかし3-2節で触れたように、BandR-BandIR図(図6)において「強度疎開」以上とそれ未満の箇所を一番よく区分できると思われる直線は等NDVI直線ではなかったし、等BandR直線でもなかった。このことはNDVI以外の、BandRおよびBandIRを用いた指数作成の必要性を示している。図6を見る限り、従来用いられてきたBandRおよびNDVIによる抽出法は最大公約数的な方法と言え、様々な地物が混在する衛星画像に適用する方法としては優れているが根本的に過誤をふくむものと言える。風倒害が発生した直後の時間的余裕と対象エリアの大小によっては、より工夫した指数によって(BandR-BandIR図において、等NDVI線とは切片と傾きの異なる直線によって)風倒害の抽出精度を上げることが可能であろう。

4-3 ピクセル値の地形補正

大渓谷の影になる天然生林では通常のと比較するとNDVI値が低くなり、風倒害地と判定された。Appendix IIIに示したように、ピクセル値の地形補正を行った結果、大渓谷の影部でNDVI値が他の天然生林と同等になり、誤抽出を少なくする効果が期待できることがわかった。

また、斜面方位と太陽光線方向の関係によってNDVI値が変化する傾向が新たに認められた(Appendix III)。このことは、大渓谷の影のような明らかな陰影だけではなく、普通の山地斜面でも太陽光線との関係でNDVI値が変化し、風倒害抽出の誤差につながることを示唆するものである。ピクセル値の地形補正によって、斜面方位によるNDVI値変動の補正を試みたが、十分うまくは行かなかった。検討の価値はあると考えるが、ピクセル値の地形補正は一つの研究テーマになっており、ハードルはまだ高いと考えられる。

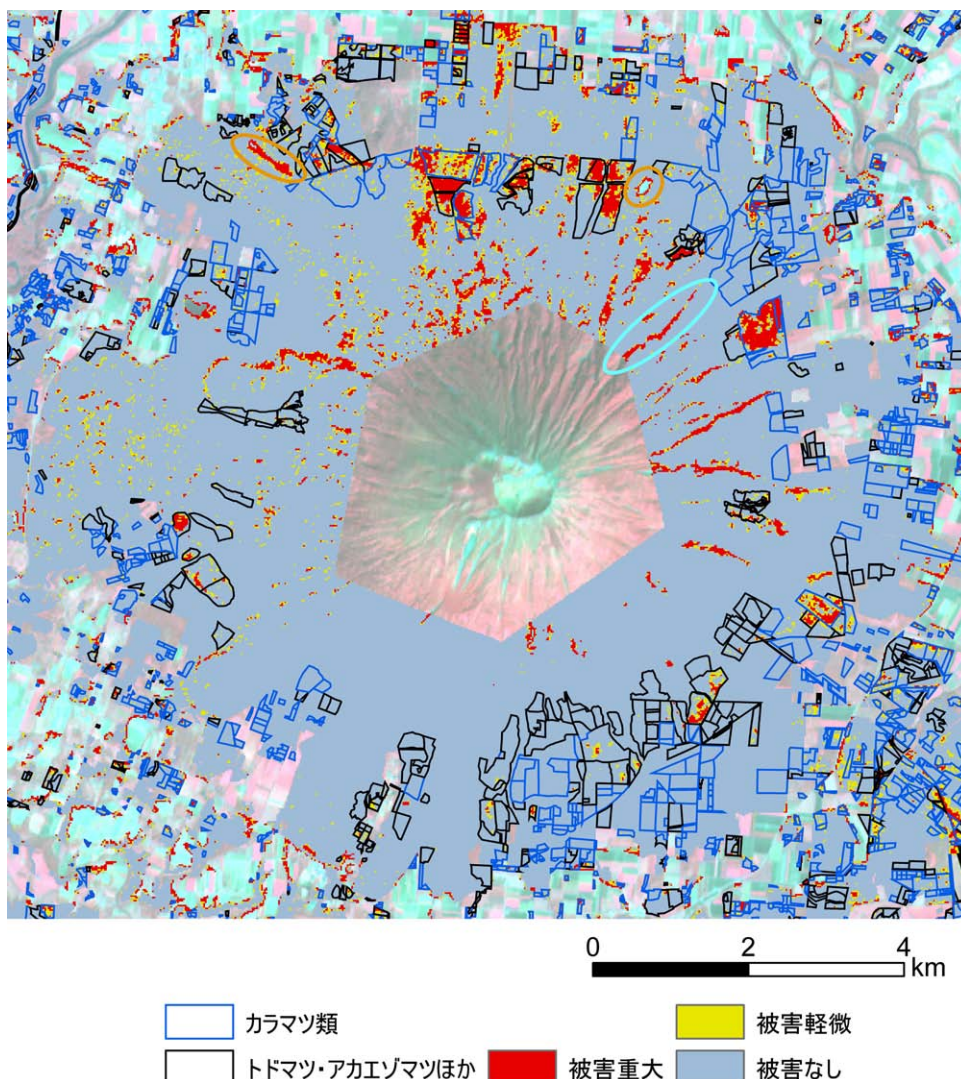


図8 被害推定図

橙楕円内の「被害重大」箇所は、治山ダムと森林の境界が誤判読されたものである。
また、水色楕円内の「被害重大」箇所は、森林にかかる濃い影が誤判読されたものである。

4-4 サブセット

サブセットとは、全画像から解析対象の領域を切り出すことである。風倒害地を抽出するには、森林域以外が含まれることを極力避けるべきであり、本報告でも森林GISデータを用いて市街や田畑、および森林限界以上の領域を除外していた。しかし、森林域にも大きな誤抽出につながる要素が含まれていることが判明した。先にしめしたとおり「大溪谷の影」にある天然生林は被害がなかったのににもかかわらず「被害重大」として誤抽出された(表2)。前節4-3にしめしたように、風倒害抽出の基礎となるNDVI値そのものを補正する方法はハードルが高いと考えられたため、衛星画像が撮影された時刻の太陽方位と太陽高度に基づいて陰影図を発生させ、誤抽出箇所の除外を試みた(Appendix IV)。結果は図IV-2に示すとおりであり、影に起因すると思われる「被害重大」箇所をよくマスクすることができた。

そのほか、森林GISデータのみでサブセットを行っても除去できない治山ダムや岩石が露出していると思われる谷筋、およびこれらと森林との境界で発生する混合ピクセルでNDVIが低目になり風倒害地として誤抽出されていると考え

られる。治山ダムは管理当局からGIS情報が得られる可能性があり除外が出来るかもしれない。また谷筋をGISで発生させることも可能なので、これにより除外を試みても良かったかもしれない。

5 おわりに

台風後の衛星画像のみを用い、山地の急峻地形における風倒害を抽出した。先行研究にならい、航空写真を判読することにより被害の参照データを得て、この上でNDVI値の閾値を設定し被害推定図を作成した。しかし明示されていなかった問題が明らかになり、いくつかについては解決法を検討した。これらは、精密幾何補正、風倒害の抽出に用いる指数、ピクセル値の地形補正、そしてサブセットである。少なくとも台風後の画像のみしか得られなかった場合、これらに起因する誤抽出は少なくないと思われる。これら4つの解決法はすでに分かっていることかもしれないが、風倒害の対策に臨む当局者がリモートセンシングを行う際、再度直面する課題であることは想像に難くない。本報から示唆できるのは、上記4つにかかわる技術の習熟、および情報収集の重要性である。

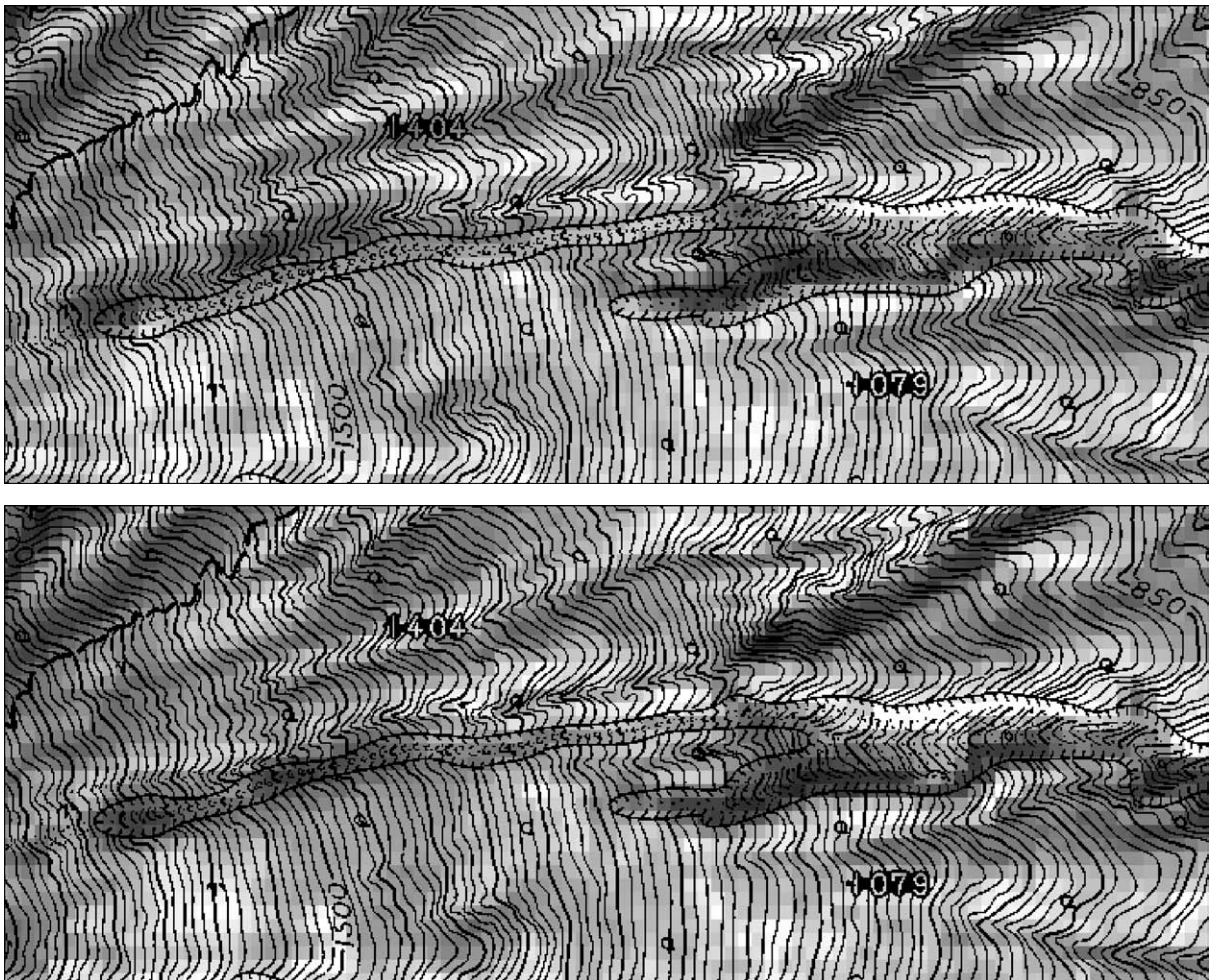


図 I-1 標高補正画像(下図)と未補正画像

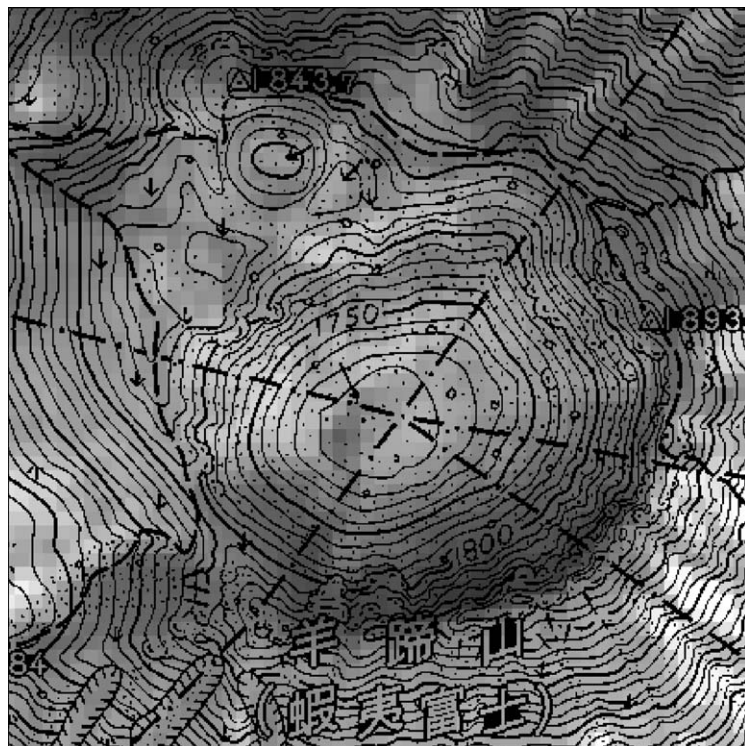
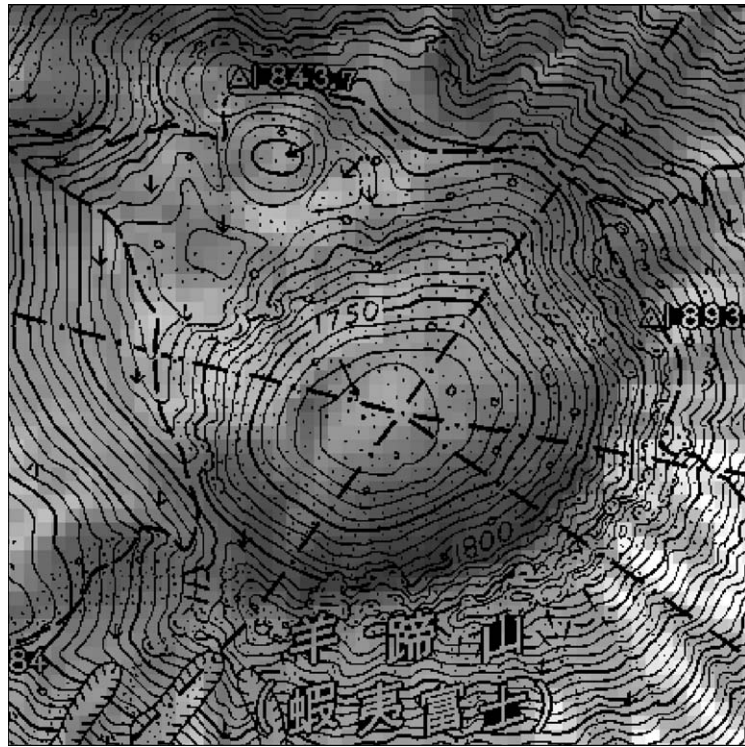


図 I-2 標高補正画像 (下図) と未補正画像

APPENDIX

Appendix I 精密幾何補正 (標高補正, 単画像オルソ)

羊蹄山は山麓標高176m (倶知安町市街) から山頂標高1,898m, 山麓から山頂まで約9.5kmの山体をもつ。標高差が大きいため, 高々度 (822km) の宇宙から撮影されたSPOT 2号の画像といえども, 山麓標高の地点に対する山頂位置などは地形図と相対関係がずれてくる。このため, 標高データをもちいた精密幾何補正 (標高補正) をする必要がある。

精密幾何補正は, ERDAS IMAGINE 9.2のプロセス

[DataPrep/ ImageGeometricCorrection/ SetGeometricModel: Projective Transform]

において, 水平方向のリファレンスに数値地図25000 (国土地理院), 垂直方向のリファレンスに数値地図メッシュ50m (標高, 国土地理院) を指定して行う。

図I-1, I-2に標高補正の結果を示す。両図とも, 上が補正を行わない場合, 下が補正を行った場合である。ガリーと山頂火口の位置が地形図によく合うようになるのが分かる。

Appendix II 衛星リモートセンシングによる森林風倒被害抽出の物理学的基礎と一般手法

樹木の葉はクロロフィルより可視光波長を吸収し, 近赤外光波長をよく反射する。根返り・幹折れといった森林風倒被害より, 樹木の葉が地面に落ちたり水分供給が絶たれて葉の活性が低下したりすると, 可視光 (主に赤色) の吸収が減少 (つまり, 反射が増加する), 近赤外光の反射が減少する。既存研究は主に, 風倒害によって可視光波長領域 (主に赤波長) と近赤外波長領域の反射量が真逆の変化を示すことを利用している。

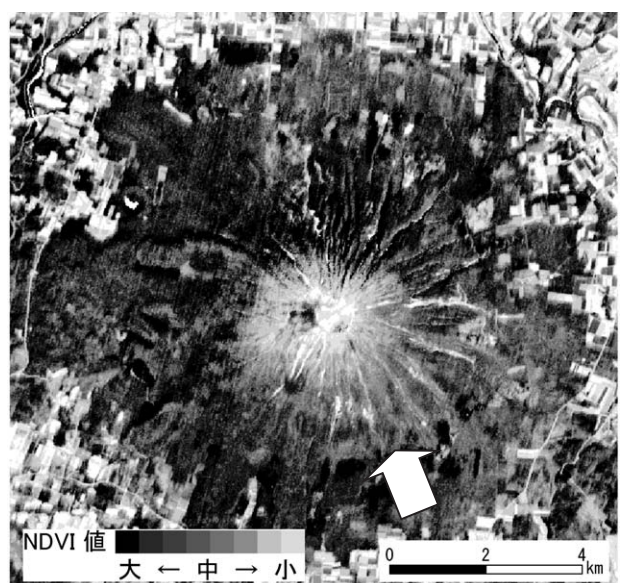
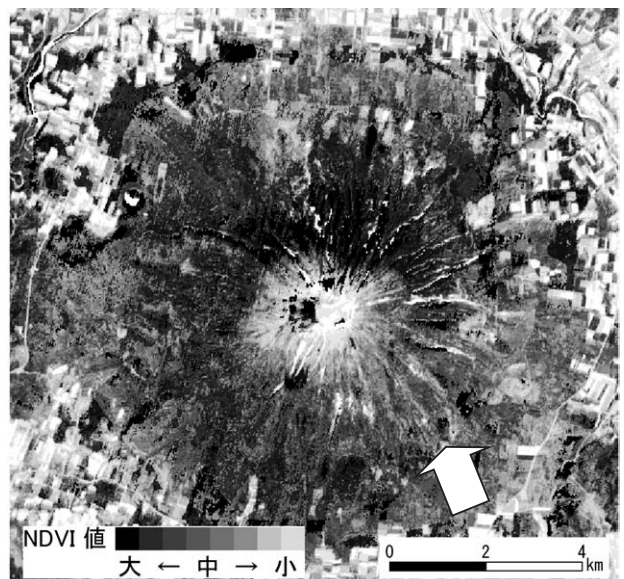
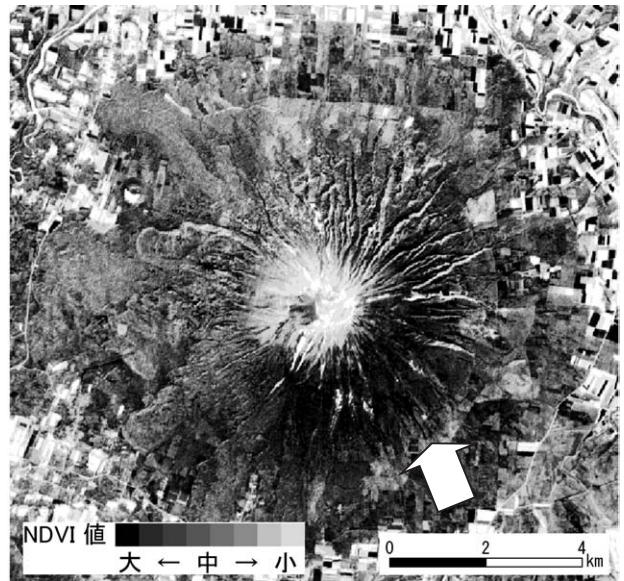
衛星リモートセンシングでは, 地表面から反射される光のすべてを観測している訳ではなく, 特定の狭い領域の波長光 (Band) をいくつか観測している。波長の短いほうから, 青 (BandB), 緑 (BandG), 赤 (BandR), 近赤外 (BandIR), 赤外, という具合である。どのバンドを観測しているかは衛星によってことなるが, 緑・赤・近赤外は殆どの衛星が観測している。先にのべたように, 風倒害によって赤と近赤外が変化するので, これらを用いた正規化植生指数 (NDVI) がよく用いられる:

$$NDVI = \frac{BandIR - BandR}{BandIR + BandR}$$

また, BandR単体での被害判定も有効と考えられている (布和ほか, 2005)。

Appendix III ピクセル値の地形補正がNDVIに与える効果

大溪谷の影になる天然生林では通常のそれと比較するとNDVI値が低くなり, 風倒害地と誤抽出された (図7, 8)。このことに対処するため, 大気補正に地形補正を加えたATCOR

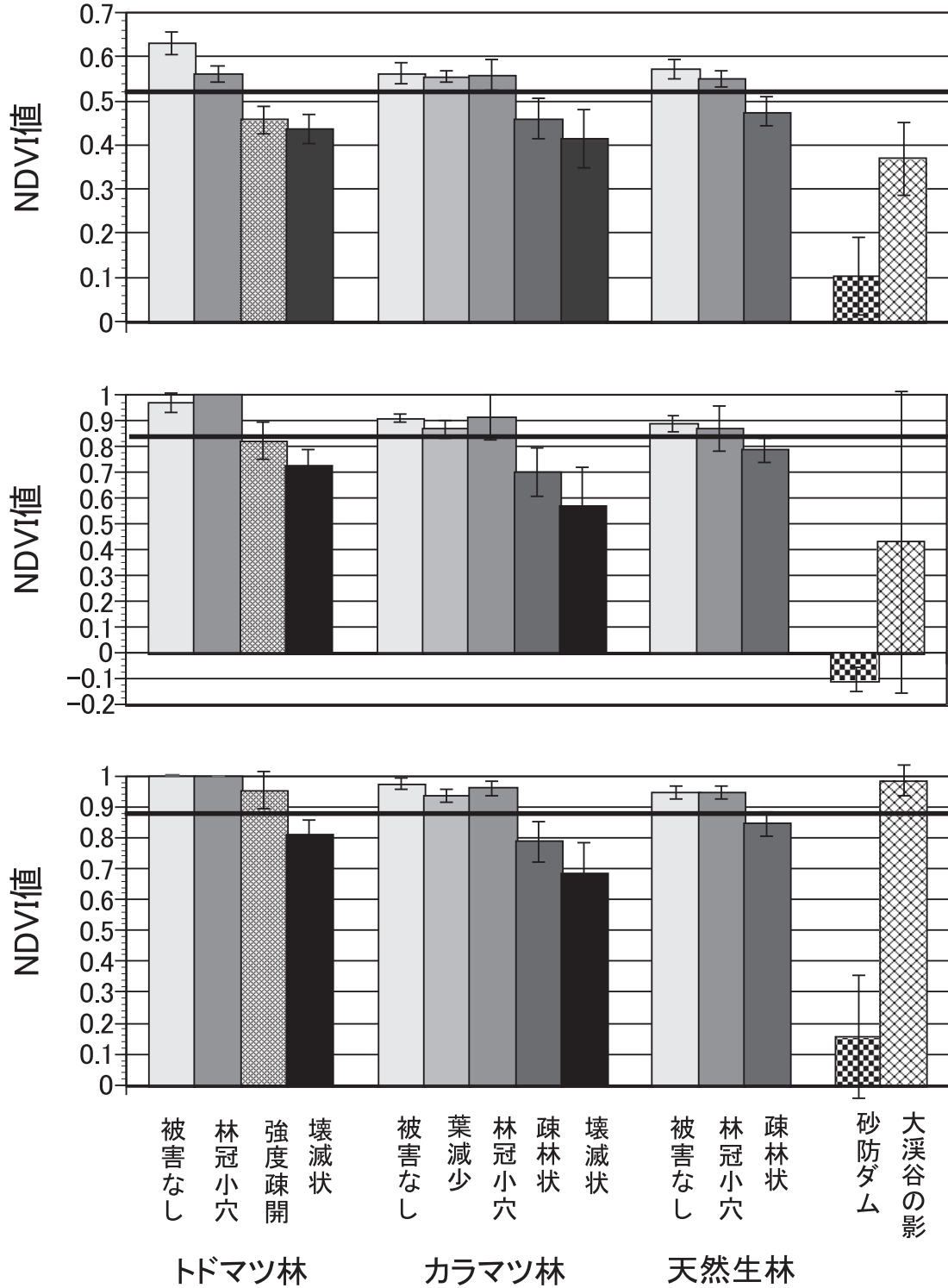


図III-1 羊蹄山域のNDVI図

上から, Original画像, ATCOR 2 処理画像, ATCOR 3 処理画像から作成したものである。白色矢印は太陽光線の方向を示す。

3 (ERDAS IMAGINE 8.5の拡張機能) 処理画像による解析を行った結果, 大渓谷の影部のNDVI値が他の天然生林と同等になり (図III-2下), 誤抽出を少なくする効果のあることがわかった。

また, 図III-1 (上) に示すようにOriginal画像では羊蹄山山体斜面において斜面方位と太陽光線の方向との関係によってNDVI値が変化する傾向が認められた。すなわち, 太陽光線の方向 (158.4度) に正対する斜面, およそ南東方向の斜面で



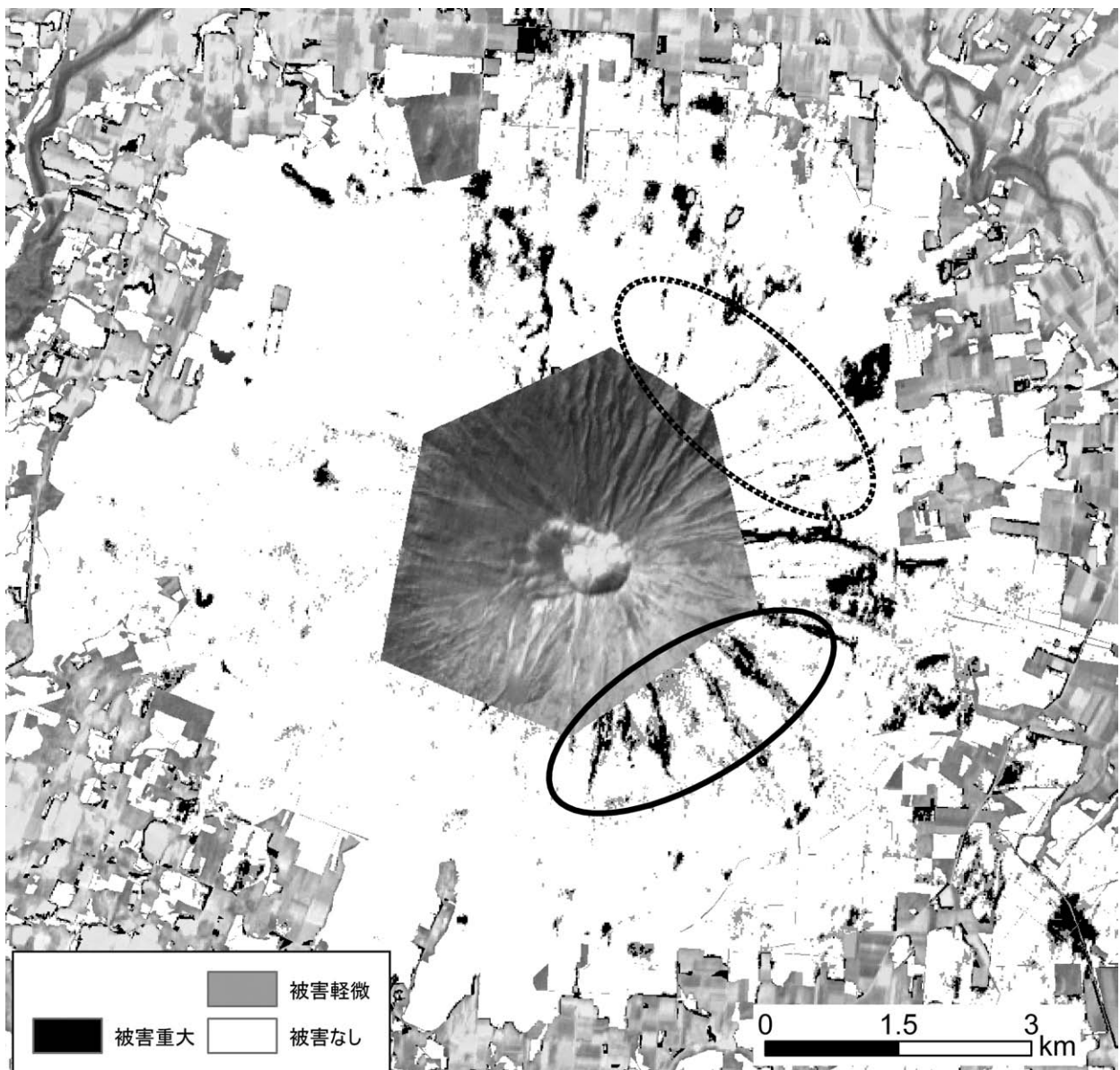
図III-2 被害程度区分, 地被区分ごとのNDVI値
 (上) Original画像, (中) ATCOR 2 処理画像, (下) ATCOR 3 処理画像

NDVI値が大きく、その反対斜面（北西斜面）で小さかった。このことは、大溪谷の影のような明らかな陰影だけではなく、影のない普通の山地斜面でも太陽光線の方向との関係でNDVI値が変化し、被害抽出の誤差につながることを示唆するものである。

ATCOR 3 処理によりピクセル値の地形補正を行った結果、NDVI値の補正が可能であることが確かめられた(図III-1下)。すなわち、NDVI値の小さかった北西斜面でNDVI値を相対的に高くすることができた。しかしながら、太陽光線に正対する斜面でNDVI値が相対的に低下したという過剰補正の傾向も同時にみとめられた(図III-1下)。本報では、ATCOR 3 処

理を行うにあたり、数あるパラメータやモデルの選択の試行錯誤を行わず、標準の設定で処理をおこなった。試行錯誤を経れば上の問題を解決できるのかもしれないが、どこまで適正に補正が可能かは現段階では不明である。Original画像において斜面方位によるピクセル値変動は明らかであるから、ピクセル値の地形補正を検討する価値は十分ある。しかし、現在この分野では研究がなお進展中であることを考慮すると、この点からの精度向上はまだハードルが高いとも考えられる。

大気補正のみをおこなうATCOR 2 (ERDAS IMAGINE 8.5の拡張機能) 処理画像も図III-1(中)に示したが、もともと平面地形に対して行うものであり、大溪谷の影部の補正は上



図III-3 ATCOR 3 処理画像のNDVI値から作成した被害推定図

破線の楕円内は、大溪谷の影部での誤判定が訂正された箇所。実線の楕円内は太陽光線方向（158.4度）に向く斜面での新たに誤判定が発生した箇所。

手くいかず (図III-2中), 斜面方位によるNDVIの相違の補正も上手くいっていないように見える (図III-1中)。ATCOR 2処理は大気散乱による隣接ピクセルの影響排除に有効とされるが, ATCOR 3処理同様, 適用には慎重な検討が必要である。

最後に, ATCOR 3処理画像を用いた被害推定図を示す (図III-3)。先の結果 (図III-1下, 図III-2下) から推測できるように, 大溪谷の影部の補正が行われている一方で南東斜面にて新たに誤判定と思われる箇所が出現した。

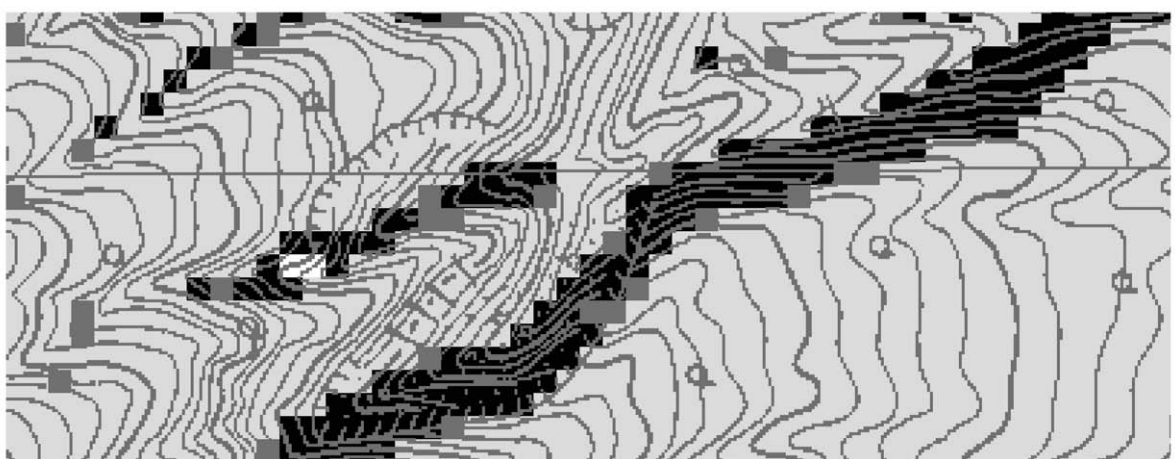
Appendix IV 陰影図によるサブセット

森林被害地の抽出にあたって, 森林以外のエリアを除外することは抽出精度を向上させるために欠かせない (布和ほか,

2005)。本研究では, 既存研究にならない森林GISデータを用い森林域のサブセットを行った上, 森林が成立していない羊蹄山山頂付近高山帯を解析対象から除外した。しかし精度向上のためには, さらにサブセットを工夫する必要があることが分かった。図7に示すとおり, 大溪谷に生じた影では, 風倒害を受けていないにもかかわらずNDVI値が風倒害の箇所に匹敵するほど低くなり, 抽出精度を低下させる大きな要因となる事が判明した。図IV-1 (上)は大溪谷に生じた影を示しており, 図IV-1 (下)は図7の判定基準による被害推定図である。影部にそって「被害重大」として誤抽出されたことが分かる。このことを避けるためには, 影の生じた場所を除外することが一つの方法である。



0 125 250 m



対象外
 被害重大
 被害軽微
 被害なし
 0 125 250 m

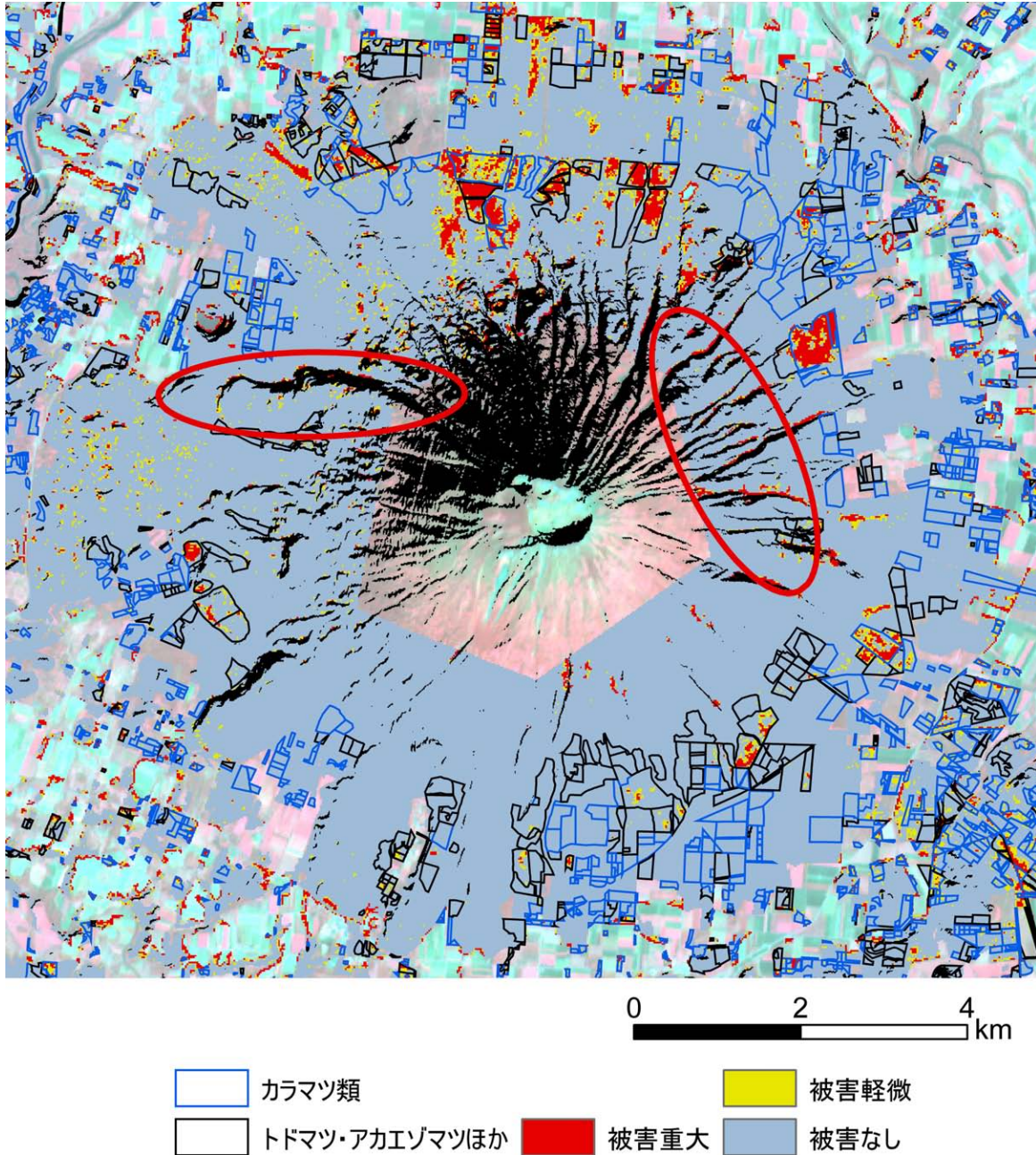
図IV-1 大溪谷の影 (上) と影にそって「被害重大」と誤判定された例 (下)

このため10mDEM（北海道地図）を用い、撮影時の太陽方位（158.4°）および太陽高度（47.9°）に基づいた陰影図を発生させ、被害推定図（図8）をマスクする方法を試みた。図IV-2に結果を示す。羊蹄山の円錐型山体に幾筋も放射状にのびる大溪谷部において誤抽出と考えられる箇所が多く認め

られていたが（図8）、陰影図によってよくマスクできたことが分かる。

文 献

布和敖斯尔・高田雅之・安井陽一（2005）ASTER画像を用い



図IV-2 被害推定図（図8）と陰影図を重ね合わせ

衛星画像は太陽方位158.4° 太陽高度47.9° のものであり、この条件で陰影図を発生させた。地形データには10mDEM（北海道地図）をもちいた。赤楕円内は誤判定と考えられた被害推定部分がマスクされた箇所。

た風倒木のスペクトル特性解析。(リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-。北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道). 13-20.

藤井隆行・森口齊亮・小泉俊夫(2002) 地理情報システムを用いた風倒木被害におよぼす局所地形の影響に関する研究. 日林学術講113: 214.

北海道森林災害リモートセンシング研究会(2005) リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-. 62pp, 北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道.

諫本信義・高宮立身(1992) 1991年9月, 台風19号により発生した大分県における森林被害の要因解析. 大分県林試研究時報18: 1-43.

菅野正人・対馬俊之・阿部友幸(2005) SPOT HRV・QuickBird衛星画像を用いた民有林の風倒被害把握。(リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-。北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道). 29-33.

齋藤健一・加藤晃司(2005) 衛星画像と航空写真を用いた風倒被害の比較検証。(リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-。北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道). 35-42.

零石雅美・岡部隆宏・永淵拓二(2005) 台風被害前後の航空写真を用いた風倒被害量の推定。(リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-。北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道). 43-49.

高田雅之・布和敦斯尔・安井陽一・鈴木 透・棗庄輔(2005) MODIS画像を用いた風倒地域の広域的な抽出。(リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-。北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道). 7-12.

鷹尾 元(2005) 台風前後のSPOT HRV画像の比較による風倒被害の把握。(リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書-2004年台風第18号による被害調査-。北海道森林災害リモートセンシング研究会, 北海道). 21-28.

Summary

An orthodox method for determining forest wind damage is to compare satellite images from before and after an event. However, many times only a post-event image is available, as satellite remote sensing systems are in the process of development. In addition, although most forests in Japan are located on mountainous terrain, previous studies have been conducted primarily on flat terrain. Thus, it is important to determine the error factors related to using a single image for the analysis of forest wind damage on mountainous terrain.

In this study, wind damage caused by typhoon 200418 in Mt. Yotei, Hokkaido, Japan was extracted from a post-event SPOT HRV-XS sensor image. Wind damage class reference data were obtained from aerial photographs taken at approximately the same time as the HRV-XS image. Following precedent, only normalized difference vegetation index (*NDVI*) values were used to extract wind damage. Error factors identified in these ordinary analyses included discrepancies between map coordinates and satellite images owing to the mountainous terrain, differences among forest types, mixed pixels composed of forest and artificial objects such as afforestation dams, and relationships between the direction of solar radiation and slope aspect, especially the presence of deep shadows. Methods for overcoming these error factors were investigated, where possible.

1. Prior to a major analysis, a precise geometric correction using a digital elevation model (DEM) was performed on the HRV-XS image. As a result, the HRV-XS image precisely overlapped the map coordinates. The corrected distances differed by up to 80 m from ordinary geometric corrections made without a DEM. This process was critical to the collection of appropriate reference data and to the investigation of methods for overcoming the error factors.

2. Reference data obtained from aerial photographs included six grades of wind damage, ranging from "not damaged" to "completely destroyed," for five land objects, which included three forest types (*Abies* plantation, *Larix* plantation, and natural deciduous broad-leaf forest). The spectral characteristics of each grade were investigated for each forest type, and for each forest type, a suitable index, distinct from other commonly used indices such as *BandR* (red) and the normalized difference vegetation index (*NDVI*), was determined for extracting wind damage. However, as it was difficult to distinguish the type of forest based on the HRV-XS image alone, the *NDVI* was a more useful index. In addition, deep shadows in gullies on Mt. Yotei and mixed pixels composed of forest and artificial objects resulted in incorrect data extraction from the HRV-XS image.

3. As with the deep shadows associated with gullies, the

relationship between the direction of solar radiation and the slope aspect, which did not generate deep shadows, led to fluctuations in the *NDVI*, which may produce an incorrect extraction of wind damage. Based on these results, a geographical correction of pixel values was considered. The values of pixels in the deep shadows were corrected, while the values of pixels in many other regions were corrected excessively. Geographical correction of pixel values appears to have limited effectiveness for improving extraction precision, although this method is still being developed.

4. Masking the shadow regions associated with the solar conditions at the time the HRV-XS image was taken may eliminate areas of incorrectly extracted wind damage. Initially, it was difficult to eliminate artificial objects such as afforestation dams that were embedded in forest areas; however, it may be possible to eliminate these objects by masking, if the relevant GIS data are available.

Keywords: forest wind damage, mountainous terrain, remote sensing, SPOT HRV-XS, error factor