

## 第4章 風倒木発生周辺域における斜面安定性評価

### 4.1 研究目的

前章に述べたように、大分県日田地方において、1993年6月の降雨時に崩壊が発生した非風倒木斜面の中に、何らかの原因により表層土の強度が低下している斜面の存在が推定される。1993年6月に崩壊を発生させた降雨の規模が、10年程度の超過確率であるが、研究対象エリア248.23km<sup>2</sup>のなかに発生した崩壊箇所数は4032箇所にとり、その崩壊密度は、16.2箇所/km<sup>2</sup>である。この地域において、過去に同程度の規模の降雨は発生していたが、このような多数の崩壊は発生していない。このことから、非風倒木斜面で発生した崩壊の原因は、台風19号の強風により樹木が強く揺すられ、その揺動や振動が幹や根茎部を通じて斜面表層土に擾乱をあたえたためと考えられる。このことから、このような表層土は擾乱を受けているため、その斜面上の樹木の毛細根等は損傷を受けまたは切断され、樹木の活力は低下していると推定される。この仮定から、樹木の活力度を測定し、全体の樹木と比較すれば非風倒木地において、擾乱を受けた斜面と受けていない斜面の判別ができると考えられる。

広域に分布する対象物の状態を測定する方法として、リモートセンシング技術があり、近年、その精度も向上してきている。本章では、非風倒木地の弱体化した斜面の分布を測定するため、リモートセンシング技術を活用して、非風倒木地域における樹木の活性度の分布と斜面の安定性を評価する（松村等 2000）。

### 4.2 解析手法

#### 4.2.1 解析の考え方

1993年6月の崩壊・土石流発生地域で航空写真判読をおこなったが、非風倒木地における崩壊発生箇所と非発生箇所における樹木の外見上の差異は航空写真上では確認できなかった。この地域において風倒木発生以前は、10年程度の確率規模降雨により、このような多数の崩壊を記録した例はなく、非風倒木地における崩壊の発生は、斜面表土層の強度低下が原因であると考えられる。このことから非風倒木地における不安定斜面の特定について、以下のように推論し、リモートセンシング手法を用いることとした。

まず、弱体化した非風倒木地の斜面表層土層は、強風により立木が揺すられ、根系周辺域の土層が擾乱を受けたと考えられる。立木が倒れるほど揺すられた際に生

ずる根系の損傷や切断は植生活力に影響を与え、植生活力が把握できれば、不安定斜面を特定することが可能ではないかと推定した。樹林が立ち枯れであれば目視でも確認できるため、航空写真判読等により強度低下が生じた斜面を特定できる可能性がある。しかし、調査範囲は広域であり、樹木活性度の変化は航空写真上見た目には微細であり、分布状態の把握は航空写真判読では困難である。このような樹木の活性状態は、スギ・ヒノキの一斉林であることから、これまでの研究成果（社団法人日本測量協会 1992, 小川滋等 1995, 後藤等 1992, 本田潔 1995）から、衛星リモートセンシングによって把握できる可能性があり、風倒林地発生域のような広範囲にわたる解析に有利である。

以上の考え方に基づき、非風倒林地の斜面危険度予測に資するため、リモートセンシング技術を用いて植生活力度の変化を把握し、これと斜面の安定性の関係について検討を行った。

過去の検討成果（大分県土木建築部砂防課 1994）から、植生活力状況と斜面の安定性との関係を的確に表すには、植生活力度に関する指標の定量化は、道路等の人工物の影響を受けない植生活力度を読みとる必要があり、解像度の高いリモートセンシングデータによる解析が要求される。さらに、最適な解析空間スケールは、斜面の安定性の変化を適切に表現できる大きさにする必要があり、植生活力度の変化が判読可能なスケールを設定しなければならない。

また、植生活力度と崩壊発生有無の関係を把握するためには、以下の項目に留意する必要がある。

- ①検討対象が広範囲にわたるため、広域データを判読できるデータおよび、植生活力度の変化を捉えるため、任意の多時期のデータ。
- ②植生活力度と崩壊の関係を把握するための、崩壊に影響を与える植生以外の要因の排除。

検討の流れを具体的に示せば、図4.1のようになる。まず解像度の高いリモートセンシングデータを使用して植生活力指標および解析空間スケールを検討した。その結果に基づき対象地域の植生活力度の変化を面的に把握し、1993年6月に発生した崩壊地と土石流が流下した区域を地図上でデジタル化し、地形と崩壊発生時の降雨状況を考慮し、風倒木の発生により表層土が擾乱され、安定性の変化が認められる斜面をサンプリングし、リモートセンシング技術を使用して斜面危険度予測結果の検証を試みた。

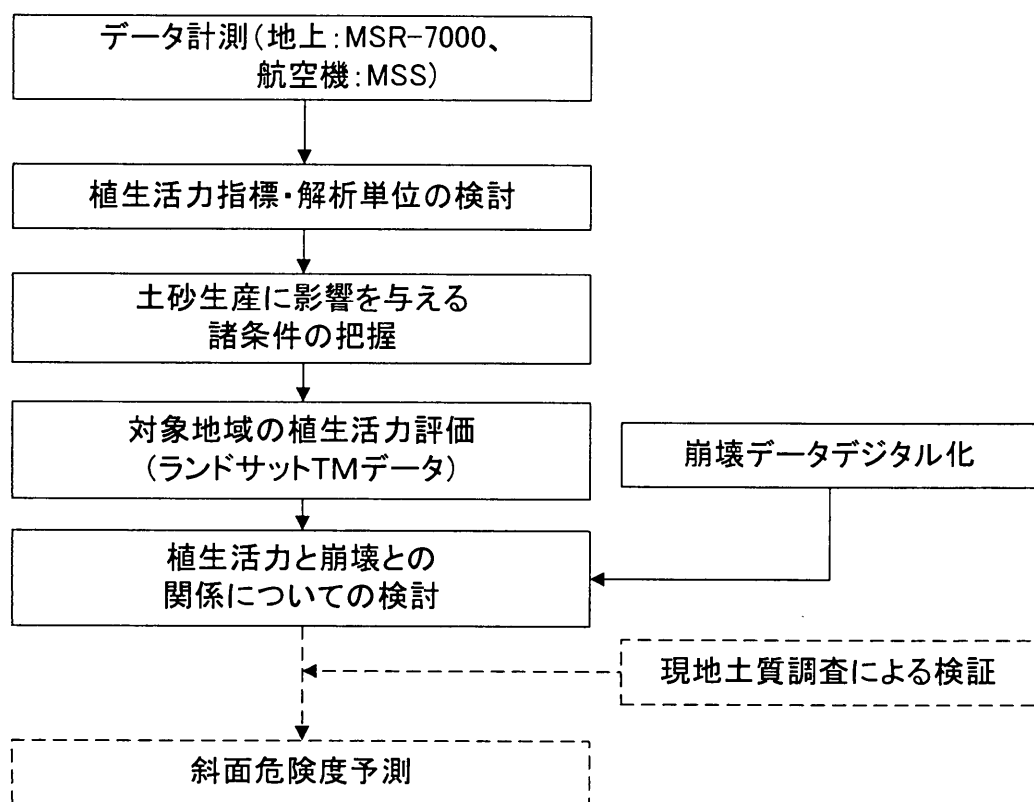


図4.1 研究手順のフロー図

#### 4.2.2 データ計測

植生活力度に関する指標の定量化を検討するためのリモートセンシングデータは、航空機計測のMSSデータを用いた。航空機MSSデータは、航空機に搭載した分光放射計マルチスペクトルスキャナ（MSS）により分光放射輝度を測定するもので、低高度で計測することにより解像度の高いデータが取得できる。ここでは、できるだけ解像度の高いデータの使用を考え、相対高度1,000mで計測を行い、地上分解能5mを有するデータを取得した。なお、データ計測エリアは風倒木発生以後、他地域より崩壊の多発した上野田川流域（約50Km<sup>2</sup>）とし、計測機器は中日本航空（株）所有のJSCAN-AT-18M（JIRCO社製）を使用し、その仕様を表4.1に示す。撮影日地および時刻は、1995年10月13日午前11時頃である。

表4.1 マルチスペクトルスキャナ（JSCAN-AT-18M）の仕様

BAND (No.)	波長域(μm)	検知器	瞬時視野	走査角度
0	0.27～0.34		2.5ミリ ラジアン	90° 但し画像化は80°
1	0.34～0.43			
2	0.41～0.46			
3	0.46～0.49			
4	0.49～0.53	フォトマルチプライヤ		
5	0.53～0.57			
6	0.57～0.60			
7	0.60～0.65			
8	0.65～0.70			
9	0.69～0.72			
10	0.73～0.76			
11	0.76～0.80			
12	0.82～0.90	シリコンダイオード		
13	0.92～1.00			
14	1.00～1.10			
15	1.52～1.72	ゲルマニウムダイオード		
16	2.06～2.45	インジウムアーセナイト		
17	8.00～12.0	水銀カドミウムテルル		
温度分解能：25.0℃で0.2℃			走査回数：80, 40, 20 (回／秒)	

また、植生活力度のグランドトゥルースとして各種の土地被覆状態にある現地の分光放射輝度の計測を1995年10月25日～26日にかけて行った。この現地計測には、分光放射計MSR-7000（（株）オプトリサーチ製）を使用し、調査地点は上野田川流域内の比較的大規模な風倒木地周辺斜面とした。以下に各分光放射計の主要諸元について表4.2に示す。

表4.2 MSR-7000 ((株) オプトリサーチ社製)

測定波長域	280~2,500 nm
分解能	5 nm
波長精度	± 1 nm
視野角	22°
検出器	PM, シリコン, PbS

植生活力度と斜面の安定性との関係の検討には、対象が広範囲となるためランドサットTMデータを使用した。データ解析前には、位置補正、太陽高度・地形補正、大気補正および季節変化補正を行ったが、斜面方位や樹木の粗密などにより絶対的な植生活力度を把握できない。そこで、本検討において植生活力状態の表現については、風倒木発生前後の植生活力度の差を求め、増減量として取り扱うものとした。使用したランドサットTMデータのデータ取得時期は、風倒木発生前後の1990年9月21日と1992年10月28日である。また、航空機MSSデータ及びMSR-7000データとの整合を図るため、1995年9月19日に取得したデータを使用した。

#### 4.3 斜面危険度評価

##### 4.3.1 植生活力指標とアルゴリズム

斜面危険度評価に対応した植生活力度を定めるため、現地グランドトゥールスを行い、植生状態を教師付き分類した。現地グランドトゥールスとしてMSR-7000によりデータを取得するとともに、現地植生の目視による観測、赤外線写真撮影を1995年10月25日～26日にかけて行った。その結果、風倒木地周辺および非風倒木地の崩壊発生箇所周辺における樹木の葉は赤みがかっており、目視によっても植生の活力度の低下が認められる。また、MSR-7000のデータからも不健全植生の活力の低下が認められ、図4.2の(a) (健全) と(b) (不健全) に示す波長500nm～800nmの可視光域 (赤色) ～近赤外域に放射の違い、すなわち、不健全植生においては波長500nm～800nm域の輝度が健全植生に比べ強くあらわれている。このリモートセンシングにより現れる植生の特徴については102ページに後述するが、植生活力度は、この事実に基づいて波長帯のアルゴリズムの検討を行った。

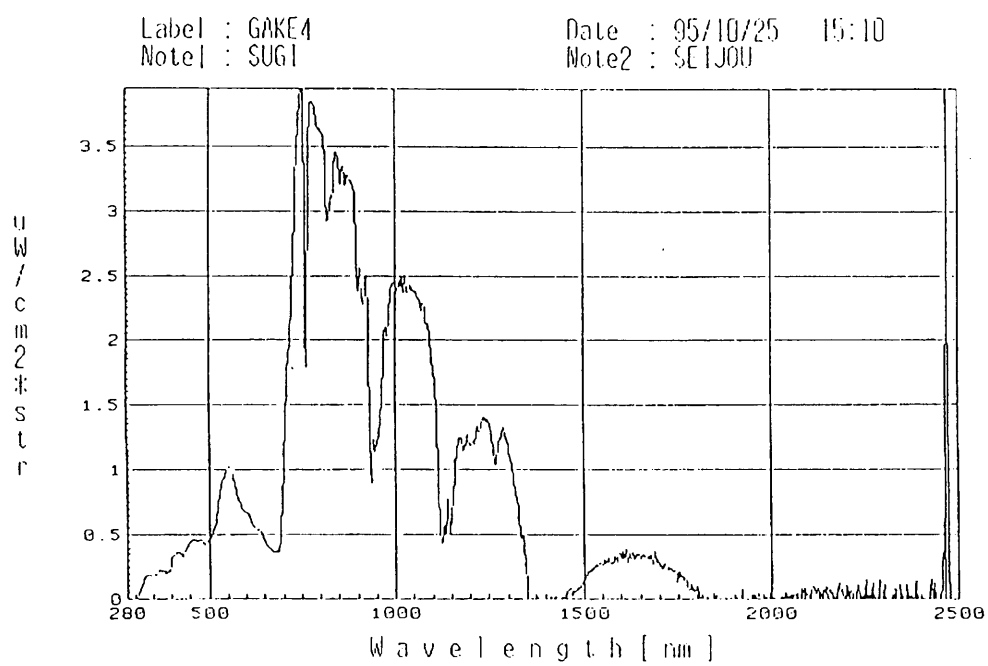
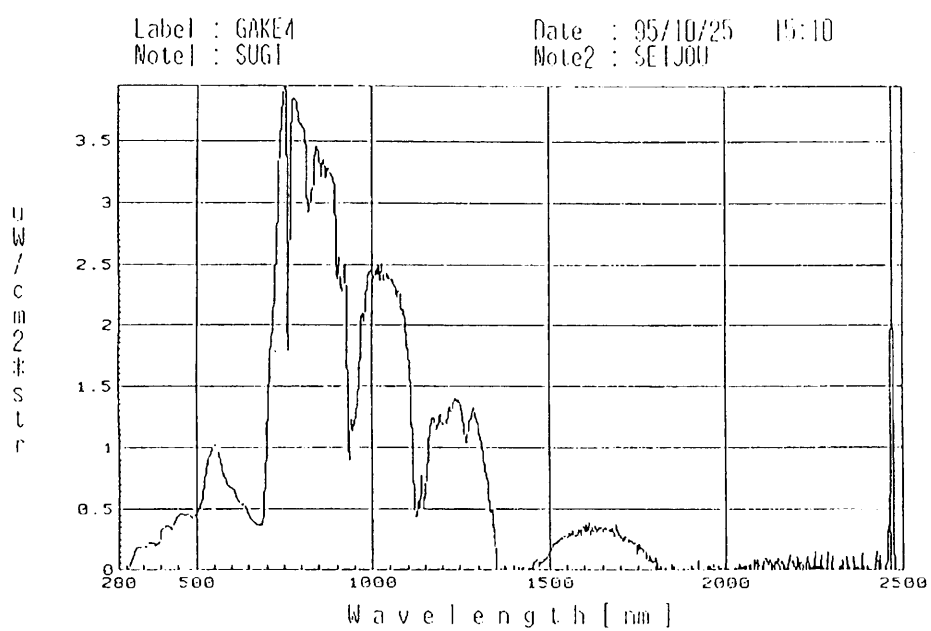


図4.2(a) 健全植生のMSR-7000のスペクトル

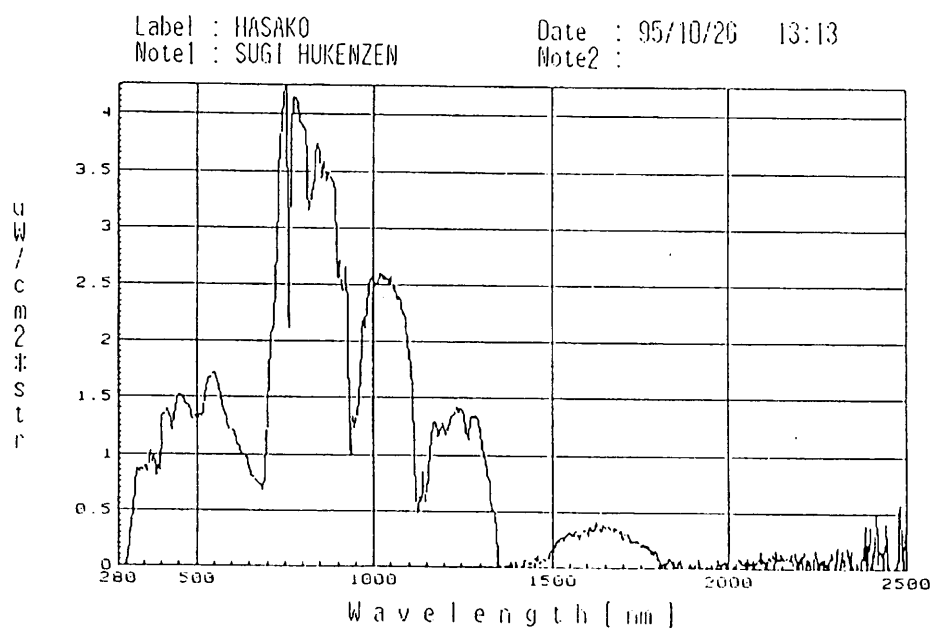
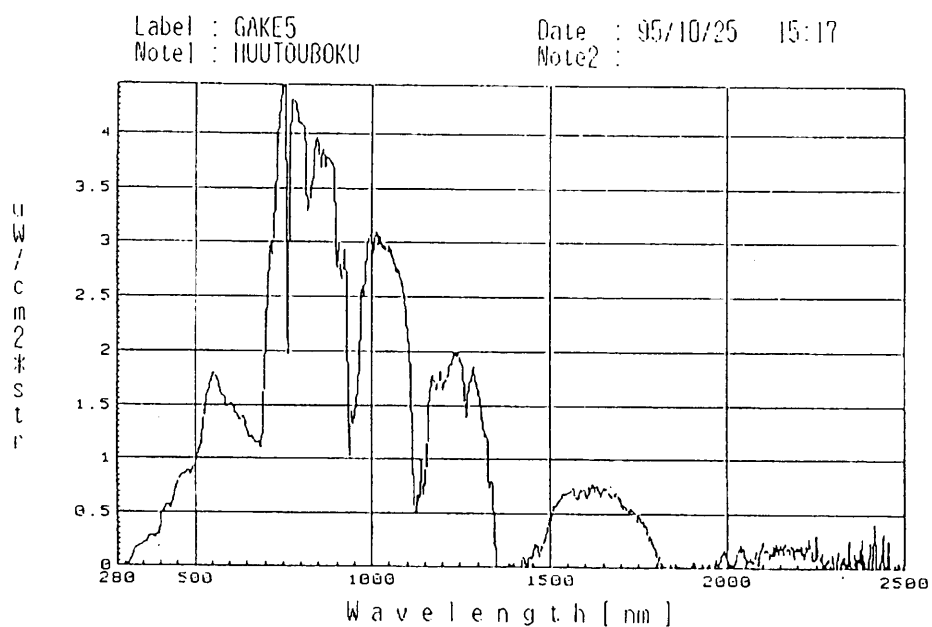


図4.2(b) 不健全植生のMSR-7000のスペクトル

対象地域の植生活力の検討に際しては，各種計測機器の観測波長帯の幅が異なっているため，リモートセンシングデータについては，まず，取り扱う波長帯を定める必要がある．ここでは，後にランドサットTMデータを使用して，斜面危険度の評価を行うため，取り扱う波長帯はランドサットTMデータの観測波長帯を基本とした．ランドサットTMデータの波長帯と航空機MSSデータとの対応は，表4.3に示した通りである．

表4.3 取得データBand変換一覧表

Band	航空機(MSS) (μm)	LANDSAT TM (μm)
3	0.46～0.49	→ Band1 0.45～0.52
4	0.49～0.53	
5	0.53～0.57	→ Band2 0.52～0.60
6	0.57～0.60	
8	0.64～0.68	Band3:0.63～0.69
10	0.72～0.76	→ Band4 0.75～0.90
11	0.76～0.80	
12	0.80～0.90	
13	0.90～1.00	
15	1.52～1.73	Band5:1.55～1.75
16	2.10～2.36	Band7:2.08～2.35
17	8.00～12.00	Band6:10.4～12.5

(1) 地被状態の判別

リモートセンシングにおいて植生活力度を求めるアルゴリズムについては，それぞれのセンサーが取得する波長帯（バンドA,B等）を用いて，一般的に

- ① 差（A－B）
- ② 比（A／B）
- ③ 正規化（A－B）／（A＋B）



の3種類の演算がよく用いられている。

ランドサットTMデータに分類・統合した航空機MSSデータを用い上記3種類の演算値と現地調査を比較した結果、比②と正規化③については値の分布パターンが類似しているが、差①については住宅地域などの人工域と森林域が示す値の幅が50%以上重複していることがわかったため棄却した。また、一般的に比演算は輝度の影響を受けやすいとされるため、植生活力度の変化すなわち複数期間の比較を行う場合は、比演算での検討は棄却した。このことよりアルゴリズムには、正規化を用いることとした。

正規化演算にランドサットのバンド3とバンド4を用いた例を図4.3に示す。この図から、森林と裸地住宅地と分離がよいのが分かる。

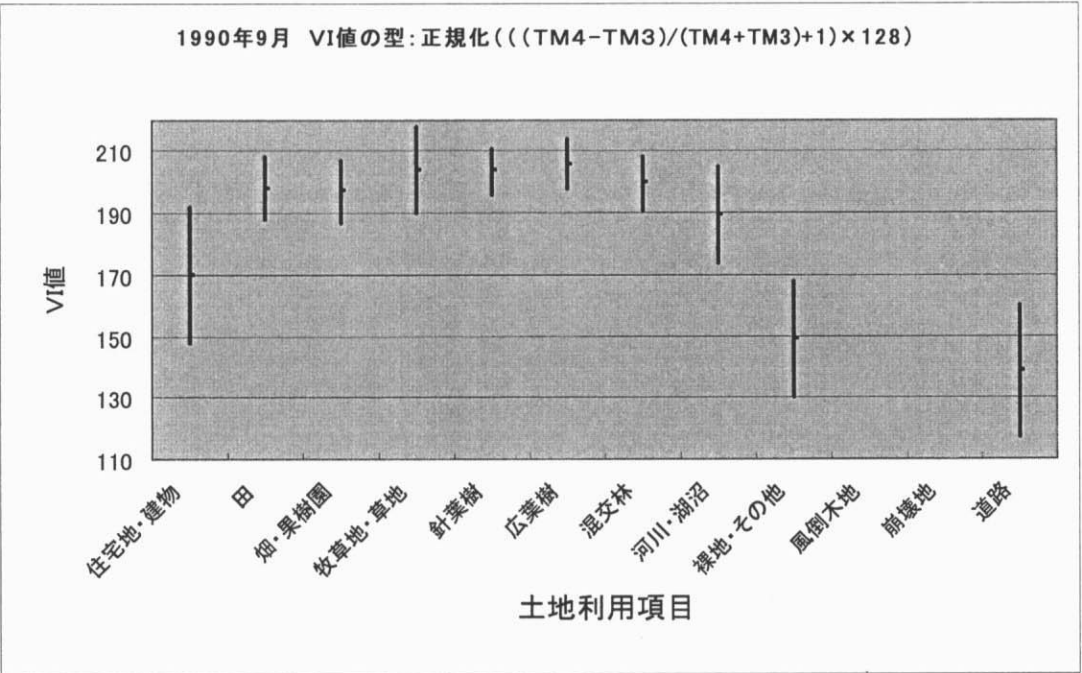


図4.3(a) 正規化演算による1990年の土地被覆状態と植生指標 (VI値)

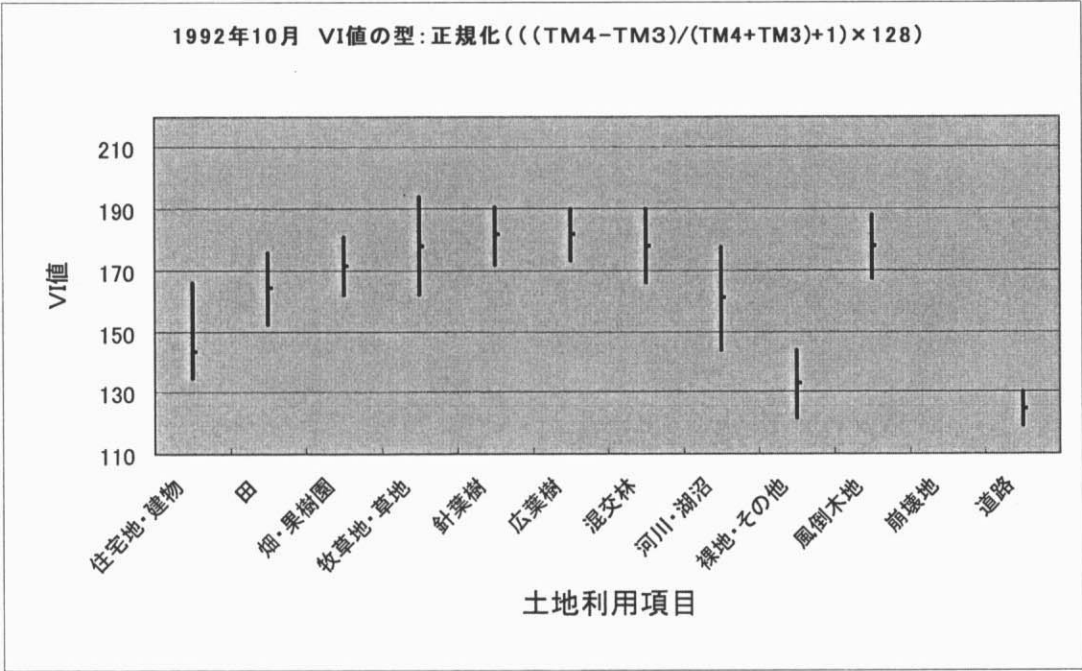


図4.3(b) 正規化演算による1992年の土地被覆状態と植生指標 (VI値)

(2) サンプル地域における植生活力度

次に、植生活力度の指標として取り扱うバンド（波長帯）を定めるため、前述の上野田川をサンプル流域として、MSR-7000を用いた現地調査結果と航空機MMSデータの照合を行いながら、風倒木地周辺域において「健全な植生域」と「植生活力低下域」を抽出し、明瞭に分類されるバンドの組み合わせを選定した。検討したバンドの組み合わせケースは表4. 4に示す通りである。

表4. 4    ランドサットTMデータのアルゴリズム

ケース名	アルゴリズム（BandはランドサットTMに対応）
Case 1	$(\text{Band } 2 - \text{Band } 1) / (\text{Band } 2 + \text{Band } 1)$
Case 2	$(\text{Band } 3 - \text{Band } 1) / (\text{Band } 3 + \text{Band } 1)$
Case 3	$(\text{Band } 4 - \text{Band } 1) / (\text{Band } 4 + \text{Band } 1)$
Case 4	$(\text{Band } 1 - \text{Band } 5) / (\text{Band } 1 + \text{Band } 5)$
Case 5	$(\text{Band } 2 - \text{Band } 3) / (\text{Band } 2 + \text{Band } 3)$
Case 6	$(\text{Band } 4 - \text{Band } 2) / (\text{Band } 4 + \text{Band } 2)$
Case 7	$(\text{Band } 2 - \text{Band } 5) / (\text{Band } 2 + \text{Band } 5)$
Case 8	$(\text{Band } 4 - \text{Band } 3) / (\text{Band } 4 + \text{Band } 3)$
Case 9	$(\text{Band } 3 - \text{Band } 5) / (\text{Band } 3 + \text{Band } 5)$
Case10	$(\text{Band } 4 - \text{Band } 5) / (\text{Band } 4 + \text{Band } 5)$

なお、バンド6が熱赤外の波長域であり、直接植生活力の変化があらわれないと判断されるため、バンド6は使用していない。また、1993年時のランドサットのバンド7は、センサーの劣化により使用に耐えうるデータが取得できないため使用していない。

表4. 4で示した各ケースの「健全な植生域」と「植生活力低下域」に関する演算値の分布を図4. 4に示す。なお、MSR-7000の結果と航空機MSSデータの結果は同様であるため、ここではMSR-7000のデータを示す。

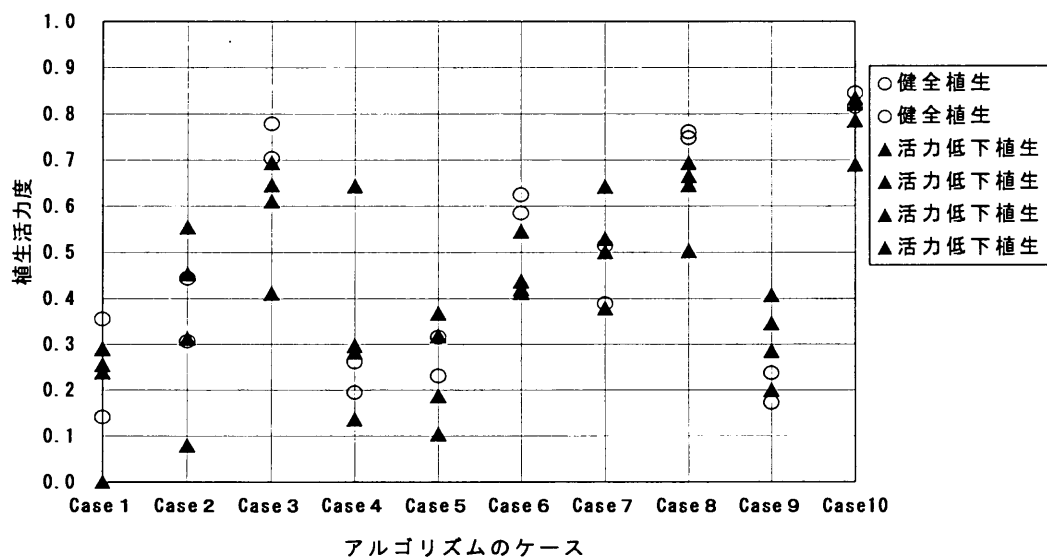


図 4.4 アルゴリズムの組み合わせと植生活性度 (MSR-7000)

図4.4より、「健全な植生域」と「植生活力低下域」が区分されるアルゴリズムは、Case 3, Case 6, Case 8 となっている。Case 3 は両者の分離が明確ではないので、Case 6, Case 8 を対象に検討を進めることにした。

植物の活力度を特徴づけるクロロフィルには、a, b の2種類があるが、クロロフィル a は細菌を除く総ての光合成生物に含まれる。また、クロロフィル a は、ランドサット TM データのバンド 3 (可視光域赤) に相当する波長帯で強い吸収を示し (反射率 10%), 逆にバンド 4 (近赤外域) に相当する波長帯で強い反射を示す (反射率 40~50%)。したがって、バンド 3, 4 の演算結果は植物に関する情報を多く含んでいるとされ、一般によく使われる。

Case 6 と Case 8 におけるアルゴリズムの特徴を考えると、Case 6 はバンド 2 (可視域緑) とバンド 4 (近赤外域) の正規化であり、Case 8 はバンド 3 (可視域赤) とバンド 4 (近赤外域) の正規化である。Case 8 は分子の (バンド 4 - バンド 3) によって健全な植生程大きい値を取るが、植物の反射特性により活力度が高くなれば大きくなり、活力度が低くなれば小さい値をとる性質がある。これにより、健全な植生の値と活力の低下した植生の値はより明確に分離できるものと考えられる。一方、Case 6 はバンド 2 の反射率が高いことから、分子の (バンド 4 - バンド 2) によって活力度が高い時には値は小さく、活力度が低い時には値は大きくなる性質があり、明確な分離ができにくくなるものと考えられる。

以上の結果から、植生の活力を明確に分離できるアルゴリズムは、バンド3とバンド4を指標に用いたCase 8  $\{(\text{バンド4} - \text{バンド3}) / (\text{バンド4} + \text{バンド3})\}$  が適切であると判断される。ちなみにCase 8のアルゴリズムは、リモートセンシングにおける植生指標NVI (Normal Vegetation Index) として用いられている。

4.3.2 解析単位

植生活力と崩壊発生との関係についての検討では、ランドサットTMデータを使用するが、ランドサットTMデータはピクセル（メッシュ）データであり、地上での単位ピクセルのサイズ（分解能）は、約30m×30mとなっている。

植生活力度と崩壊発生との関係を検討する際には、植生活力度ピクセルと風倒木地および風倒木発生後の崩壊地との重ね合わせをおこなうため、風倒木地および崩壊地を表現するサイズを考える必要がある。このサイズは、風倒木地および崩壊地の規模に対し同等、またはそれより小さいサイズが適切である。そこで、風倒木発生後に集中的に崩壊・土石流が発生した上野田川を含む大分県前津江村、中津江村、上津江村の3村内の風倒木地および崩壊地について、その規模を集計し全体の70、80、90%超過する面積規模を表4.5に整理した。

表4.5 風倒木地、崩壊地の規模と解析単位

	風倒木地または崩壊地の面積頻度の超過率（％）	風倒木地または崩壊地の面積	対応する解析単位
風倒木地	70	約 1.2ha	110m×110m
	80	約 1.0ha	100m×100m
	90	約 0.5ha	70m×70m
崩壊地	70	約 70m <sup>2</sup>	8m×8m
	80	約 50m <sup>2</sup>	7m×7m
	90	約 40m <sup>2</sup>	6m×6m

ランドサットTMデータと地形図の重ね合わせ作業では、機械的な位置誤差が生ずるが、本調査においても、デジタル化した既往の崩壊分布図と同期するランドサットTMデータのフォールスカラーを重ね合わせた結果、平均的に1ピクセル（30m）程度のランダム方向のずれが確認された。検討においては、崩壊発生位置のピクセル値は大きな意味を持つため、このずれを包括するピクセルサイズでデー

タを取り扱う必要が生じる。

これらのことから、解析単位としては、80%以上の風倒木地を表現でき、ランドサットデータの位置誤差を包括する90m×90m（3×3ピクセル）のメッシュで取り扱うものとし、メッシュの輝度値は各ピクセル値の平均値とした。なお、平均的な崩壊地規模はランドサットTMデータのピクセルサイズに比較して小さく、個々のピクセルでは表現不可能であるため、メッシュ単位内の崩壊の存在で表現するものとした。

#### 4.3.3 斜面崩壊に影響を与える諸条件の把握

斜面崩壊は、素因となる地形・地質と誘因となる降雨の影響が大きいことから、風倒木発生後に崩壊を発生させる降雨の取り扱いが重要である。すなわち、降雨による斜面崩壊への影響を把握しなければ、植生活力と斜面の安定性との明瞭な関係を把握することが困難となる。そのため、風倒木発生後における崩壊の発生はどのような降雨が関与したか、具体的には何時間雨量に支配されたかを検討した。

図4.5に、1993年6月に発生した崩壊・土石流について、前述の3村内の崩壊発生個数と降雨の関係を示した。この図は、3村内において崩壊発生時からさかのぼった3、4、5、6時間連続雨量の等雨量線（10mmピッチ）には含まれる雨量階と、その雨量階以下の面積に含まれる累加崩壊個数の関係を表したものである。すなわち、その雨量での崩壊の発生しやすさを示しているといえる。ここで、崩壊発生時刻は、この崩壊・土石流に関する実態調査報告（大分県土木建築部砂防課 1994）で示された時刻を用い、連続時間は筆者等の研究（松村 1999）において現地の表層土層厚、表層土の透水性から数時間雨量に支配されるとの知見を踏まえて設定したものである。

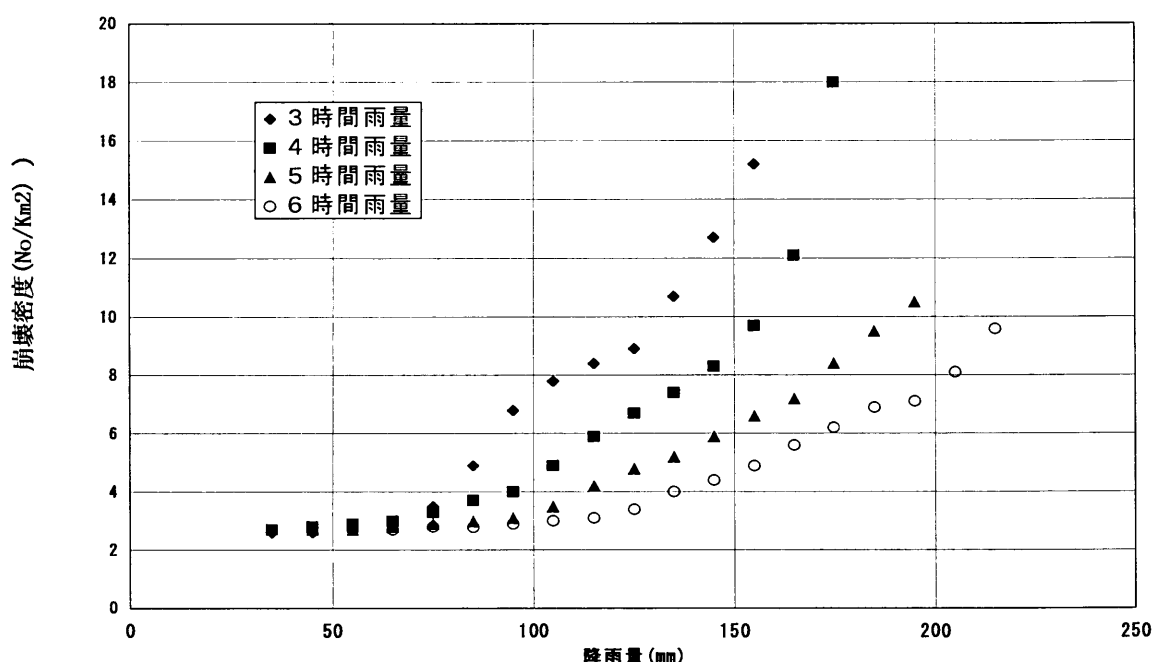


図4.5 降雨量と累加崩壊発生個数密度

図4.5より、いずれの連続時間においても雨量の増加に伴う崩壊個数の増加が見受けられる。そこで、いずれの連続時間雨量を支配的降雨として取り扱うかの判断は、崩壊個数の増加傾向が顕著で、傾きの大きいものを使用することが妥当と考え、4時間雨量を用いるものとした。なお、3時間雨量の方が傾きは大きい、バラツキも大きいため不採用とした。

#### 4.3.4 植生活力と土砂生産の関係

植生活力度について、前述の演算式により単位ピクセル毎に算出し、90mメッシュに合成した。データ取得時期は、風倒木発生時期を挟む前後とし1990年9月21日と1992年10月28日とした。1993年（平成5年）6月に発生した崩壊地は第3章で行った航空写真判読図からデジタル化し、上記90mメッシュにおける崩壊の有無を与えた。また、崩壊発生に影響する他の条件として、斜面勾配データに加え、4時間雨量の等雨量線図をデジタル化した。

図4.6に、植生活力により分類した雨量階毎の崩壊の存在するメッシュ数（崩壊メッシュ数）、図4.7に等雨量線毎の全メッシュ数に対する崩壊メッシュ数の比率を示した。植生活力を「健全植生域」、「活力低下植生域」、「植生消滅域（風倒木地や

既存裸地)」に3分類し、風倒木発生前後の植生活力低下量（ $\Delta NVI = NVI_{90} - NVI_{92}$ ）を用い、植生状態を $\Delta NVI$ の最小～最大値の3分割した。また、斜面勾配の影響を極力受けないう崩壊発生が急増する斜面勾配 $30^\circ$ 以上のデータを解析対象とした。

図4.6より、崩壊メッシュ数と降雨の関係には明瞭な傾向はみられないが、降雨量の少ない領域（95mm以下）では、 $\Delta NVI$ の増加に伴い崩壊メッシュが多くなる傾向が認められる。図4.7からは、全体的には降雨量と崩壊メッシュ率の明瞭な関係は認められないが、降雨量の少ない領域（約100mm以下）において、 $\Delta NVI$ の増加に伴い崩壊メッシュ率の増加が明瞭に認められる。 $\Delta NVI$ が0.039以下の地域の植生はほぼ健全と考えられ、この地域において4時間雨量が55mm以下では崩壊は発生していないが、 $\Delta NVI$ がそれ以上の地域では崩壊が発生している。一方、降雨量の多いところでは、降雨量等の他要因の影響が混在しているためか、 $\Delta NVI$ と崩壊メッシュ率の関係は明瞭ではない

図4.8に $\Delta NVI$ と1991年の風倒木地の分布図、図4.9に $\Delta NVI$ と1993年の崩壊地の分布図を示す。この図からも $NVI$ の低下した箇所で崩壊地が多く発生していることが、視覚的に確認できる。

これらの結果は、非風倒木地において崩壊が多発した原因が、樹木が強風に揺すられ、表層土の強度が弱体化したことにあると考えられ、非風倒木地において表層土強度の低下は、リモートセンシングで計測される $NVI$ の低下量で評価できる可能性が高いことを示している。



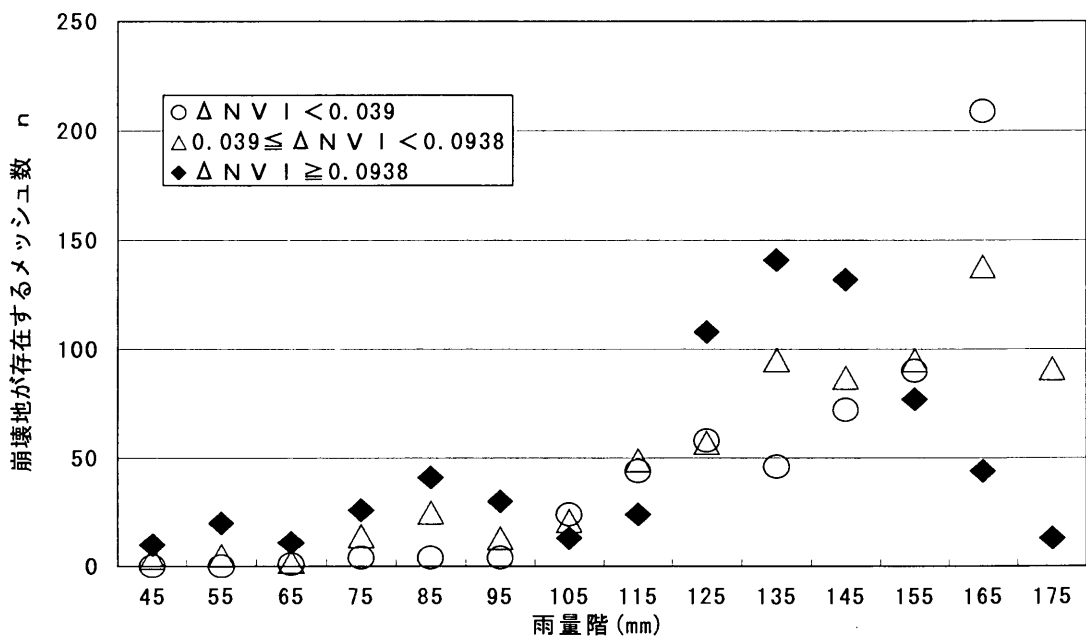


図4.6  $\Delta N V I$  をパラメータにした降雨と崩壊の関係

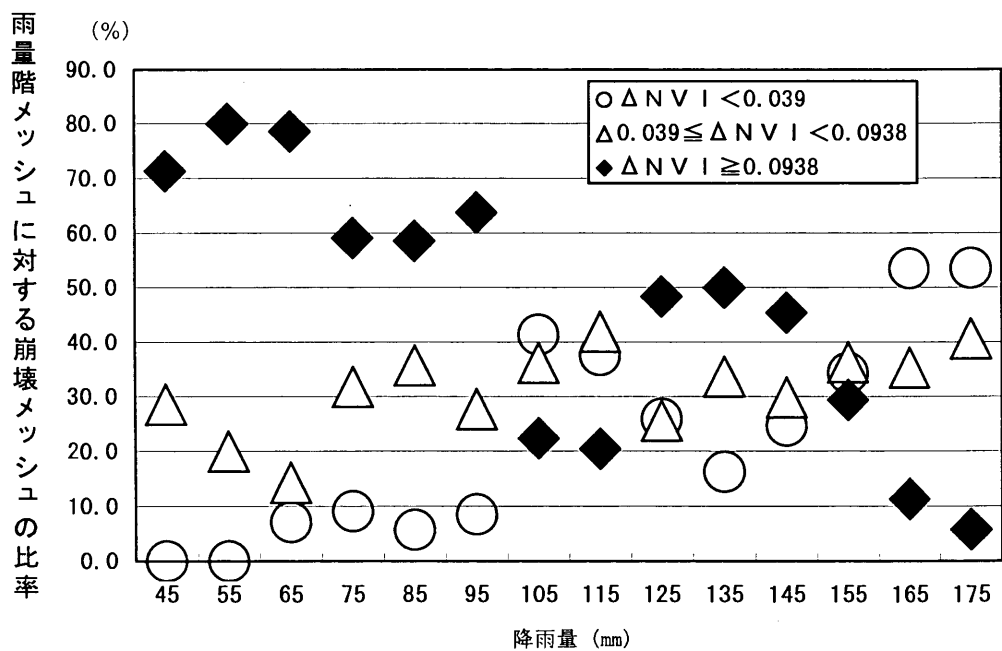


図4.7  $\Delta N V I$  を指標にした降雨と崩壊メッシュ率の関係

さらに，図4.7の非風倒木地データに関して降雨の多寡で崩壊面積個数率と $\Delta NVI$ の関係を整理すれば，下記のような図となる。

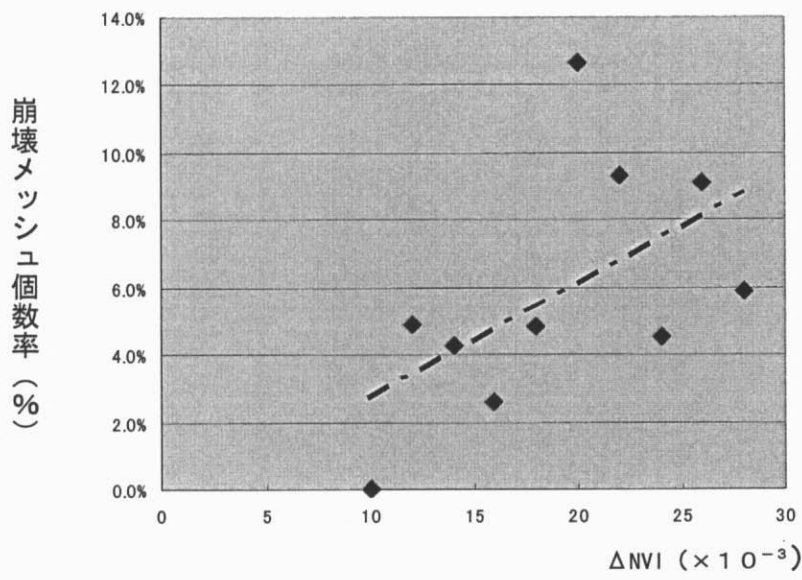


図4.8(1)  $\Delta NVI$ と崩壊メッシュ面積個数率（降雨量140mm以下）

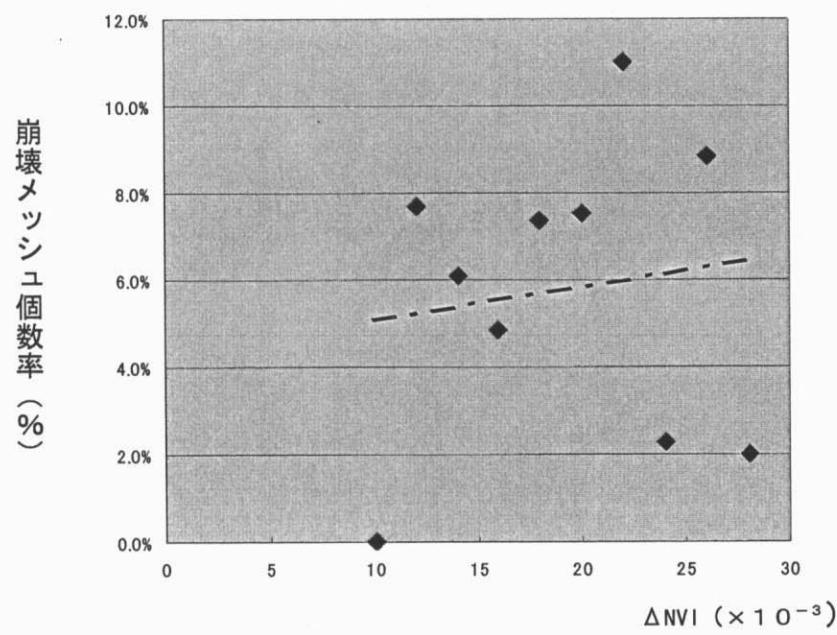


図4.8(2)  $\Delta NVI$ と崩壊メッシュ個数率（降雨量140mm以上）

これらの図から降雨量の少ないメッシュ群（図4.8(1)）においては、 $\Delta NVI$ の増加に伴い（樹木の植生活性度が低下している）崩壊メッシュ個数率は増加している傾向が認められる。一方、降雨量の多いメッシュ群（図4.8(2)）では、降雨が崩壊に対して影響しているためか、 $\Delta NVI$ の増加に伴う崩壊メッシュ個数率の増加に関して、弱い正の相関は見られるが、降雨量の少ない地域ほどには明瞭な傾向は認められない。

いずれにせよ、 $\Delta NVI$ 影響崩壊発生に影響を与えており、このことは、図4.7と同様な傾向を与えている。

図4.7と図4.8から、さらに前述のように、これまでこの地域では、このような少ない降雨において崩壊が発生していないことから、1993年6月に発生した崩壊は、1991年の台風19号の強風に揺動された樹木を通じ表層土の強度低下したことが原因と推定される。



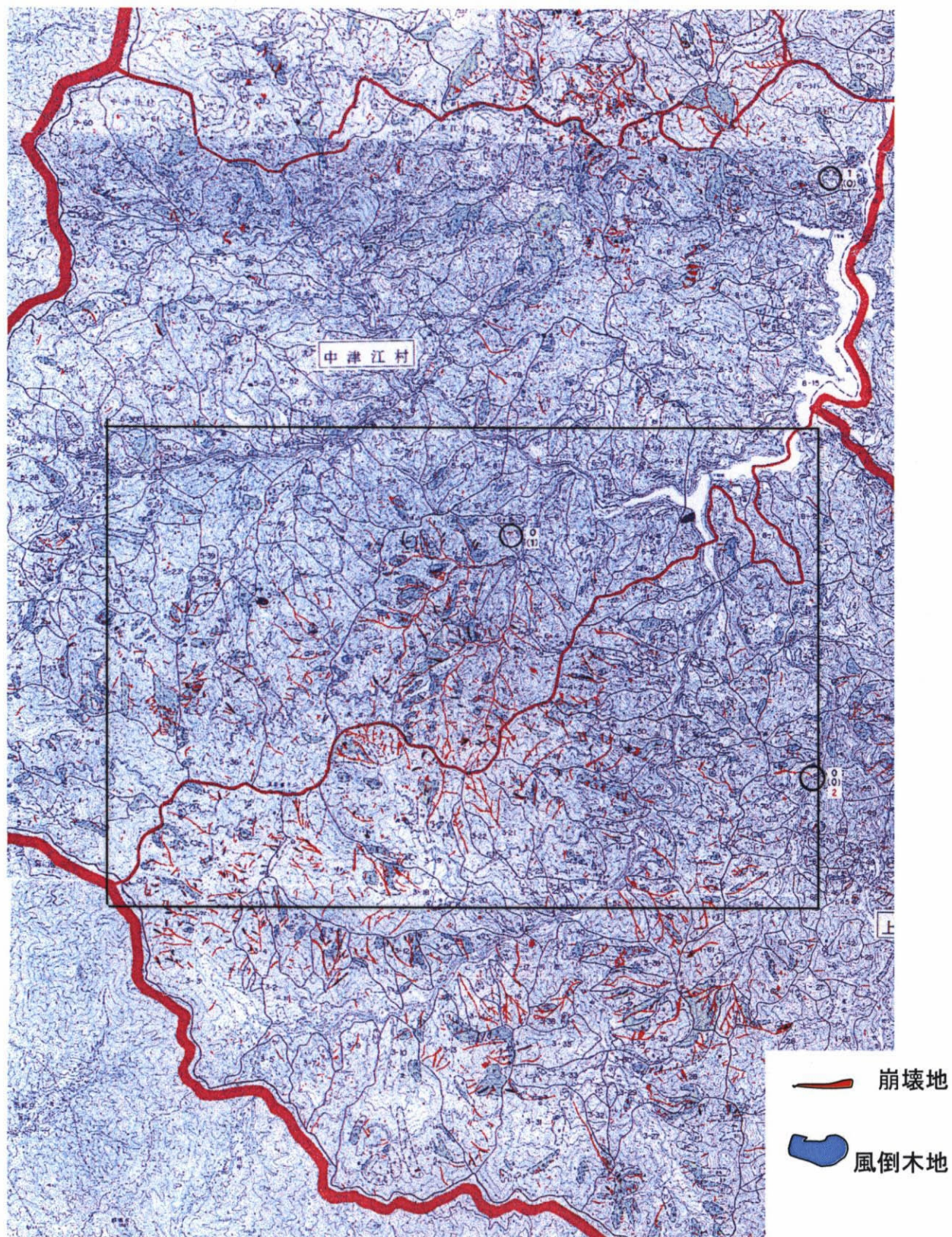
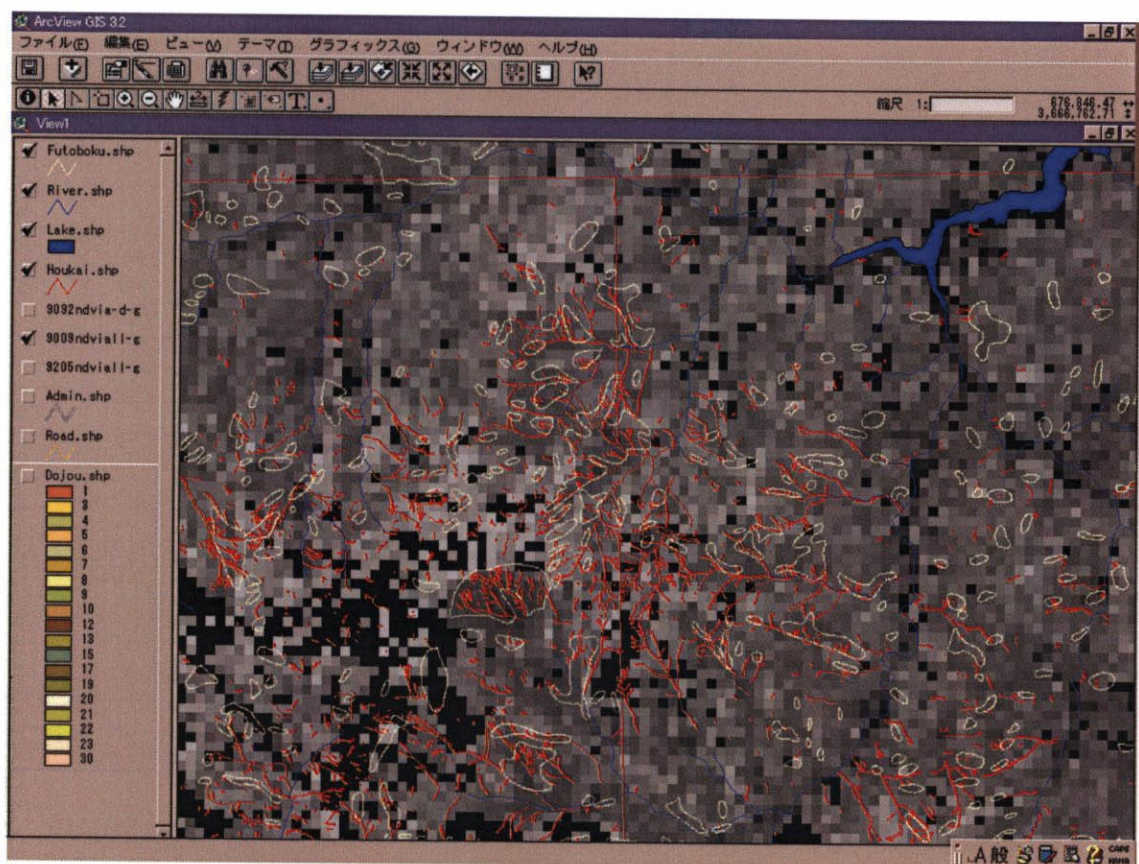


図4.9 風倒木地と崩壊の分布表示範囲





低

植生活性度

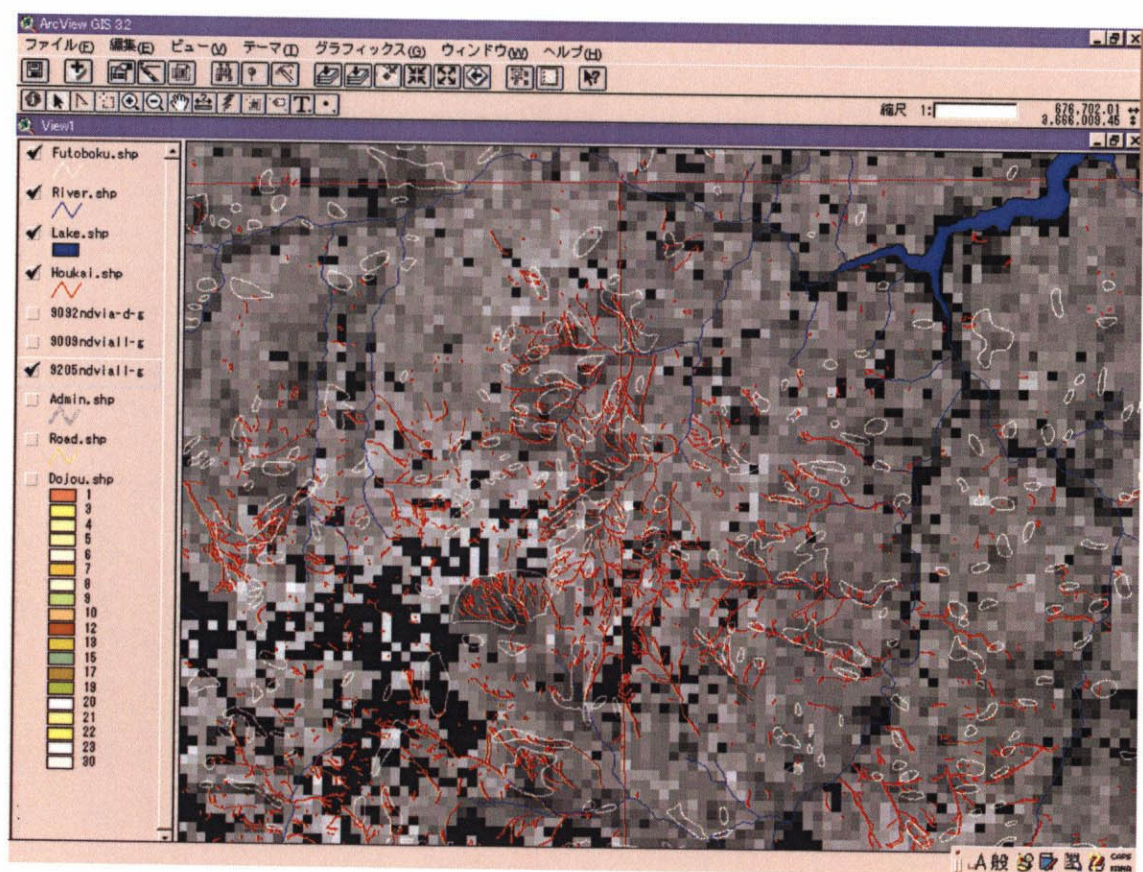
高

図4.10 風倒木発生前のNVIと崩壊地・風倒木地重ねあわせ図

青線：河川

白線：風倒木地

赤線：崩壊・土石流



低 植物活力度 高

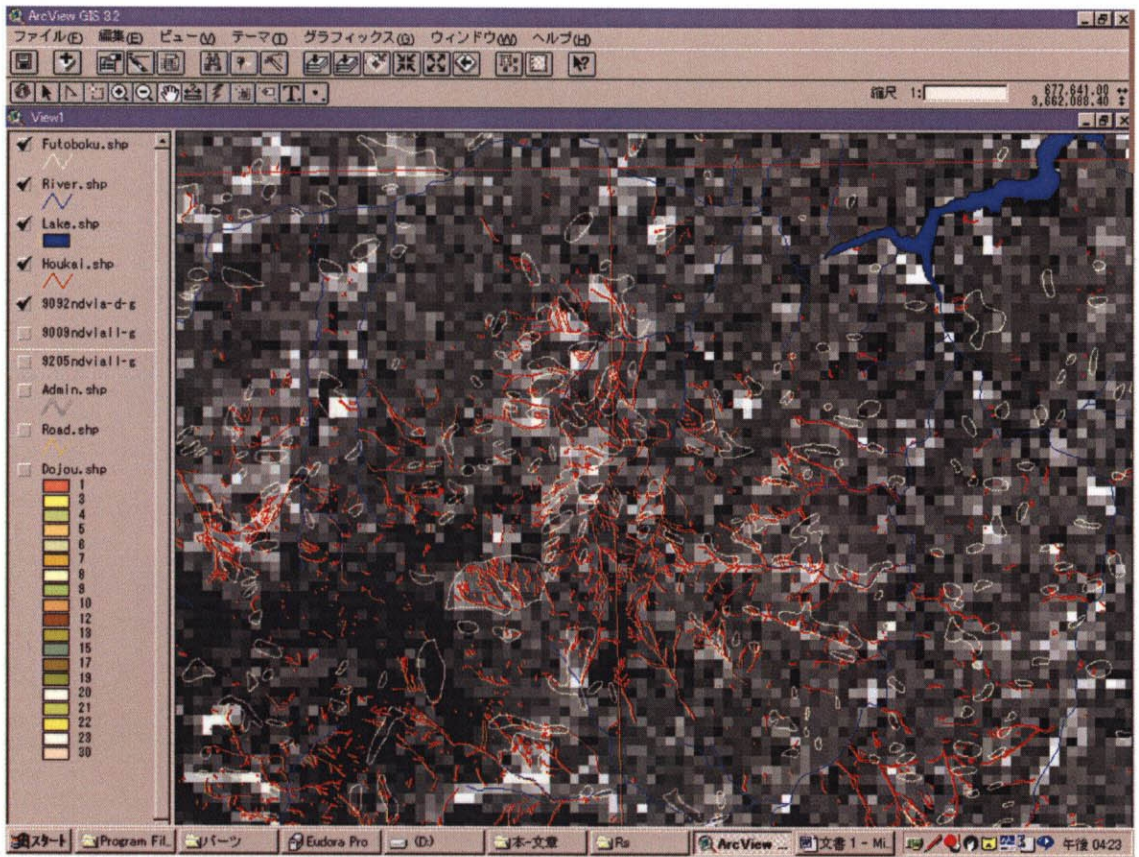
図4.11 災害後(1992年5月)のNVIと崩壊地・風倒木地重ね合わせ図

青線：河川

白線：風倒木地

赤線：崩壊地





低

植生活性度の差 ( $\Delta\text{NVI}$ )

高

図4.12  $\Delta\text{NVI}$ と1993年の崩壊地の分布

青線：河川

黄線：風倒木地

赤線：崩壊地

#### 4.4 まとめ

本研究では、風倒木地発生域周辺地域に関する風倒木発生前後の植生活力変化についてリモートセンシングを活用し、植生活力の変化と斜面の安定性との関係について検討した。その検討の結果、風倒木地発生域における非風倒木地斜面の安定性について、以下の知見が得られた。

- 1) 風倒木発生時前後の風倒木地発生周辺地域における樹木の植生活力変化は、ランドサットTMデータの観測波長帯のバンド値を用いて、 $\{(\text{バンド4} - \text{バンド3}) / (\text{バンド4} + \text{バンド3})\}$  のアルゴリズムで得られる植生活力指標により表現できることが判明した。
- 2) ランドサットTMデータを使用して、風倒木地発生域の植生活力分布を把握する場合、風倒木地の平均の面積とランドサットTMデータの位置誤差を考慮し、90m×90m（TMデータの最小ピクセルの3×3に当たる）とした擬似的なピクセルサイズでの解析が最適である。
- 3) 非風倒木地において、風倒木発生前後の植生活力低下量と崩壊発生頻度との関係について検討した結果、植生活力低下が大きいほど、崩壊発生頻度が高いことが判明した。この傾向は雨量が少ない区域ほど明瞭に現れるが、降雨の多い地域では、降雨等の要因が影響するため植生活力低下量と崩壊発生頻度との関係は明瞭に現れない。
- 4) 以上から非風倒木斜面で発生した崩壊の原因は、台風19号の強風により樹木が強く揺すられ、その揺動や振動が幹や根系部を通じて斜面表層土に擾乱をあたえ表層土の強度を低下させたためと考えられる。

本研究では、取り扱ったランドサットTMデータ特性の制約上、90m×90mという単位での解析となった。そのため、植生活力度の評価値の中には、森林以外の情報も混在していると推定され、植生活性度計測の精度に課題を残している。さらに、より精度の高い評価を行うためには解析精度を高める必要がある。

近年衛星リモートセンシング技術は著しく進歩し、最近では1m～数mという高解像度のデータが容易に得られるようになっている。しかし、リモートセンシング技術の利活用には、時系列的な解析が重要であり、データの蓄積が求められる。今後は、これら蓄積された高分解能のデータを使用した高精度の調査が期待される。



#### 引用文献

- 小川滋・戎信宏：砂防におけるリモートセンシング技術の活用 4. リモートセンシング技術の活用例(1), 砂防学会誌(新砂防), Vol. 48, No. 3, p. 31-41, 1995
- 大分県土木建築部砂防課：平成5年度荒砂委第1-3号調査委託(風倒木地災害実態調査)報告書, p. 139, 1994
- 後藤恵之輔・浜崎一弘・湯藤義文：台風9119号による風倒木災害の衛星リモートセンシング調査, 日本リモートセンシング学会第13回学術講演会論文集, p. 209-212, 1992
- 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, No3, p. 11-17, 1999
- 松村和樹, 片山哲夫：リモートセンシングを用いた風倒木発生周辺域における斜面安定性評価, 砂防学会誌, Vol. 53, No. 2, p. 5-12, 2000
- 社団法人日本測量協会：図解リモートセンシング(日本リモートセンシング研究会編), p. 308, 1992