

風倒木と山腹崩壊 (その1)

松村和樹*

森林の風倒による災害調査・研究は多くはなく、風の規模と風倒木地の範囲など記述した文献も少ない。洞爺丸台風、伊勢湾台風、第2室戸台風など暴風雨を伴った台風では、風倒災害は発生しているが、山腹斜面等の崩壊や土石流に起因する災害に比較して、残されている資料は少ない。ここでは入手資料をもとに風倒被害についてとりまとめる。

1. 過去の風倒木災害の実態

①1954年洞爺丸台風

この台風は、鹿児島県から北海道北部まで日本を縦断したため、その被害も全国的に広がり、死者1,327名、行方不明者371名、負傷者1,387名（その内、洞爺丸沈没による死者1,047名、行方不明92名）、建物被害3万167戸、建物浸水10万3,533戸、田畑浸水8万2,962町、船舶被害1,752隻、北海道岩内町の大火で焼失3,300戸、死者34名、行方不明29名、負傷者223名という大きな被害を被った。また、石狩川流域では約8,000万石に及ぶ莫大な風倒木が発生した（自然災害科学事典 1988）。

②1959年伊勢湾台風

伊勢湾台風は、1959年9月26日に潮岬西方に上陸し、そのときの勢力は、最低気圧929.5hPa、最大風速50m/sを記録するとともに暴風半径も500kmにおよぶ超大型の強い台風であった。

被害は死者・行方不明者の総数は5,098名（うち愛知県3,251名、三重県1,273名）にのぼり、明治以降では最大の台風災害となった。その他の被害は、家屋全壊3万6,135棟、家屋流出4,703棟、家屋半壊11万3,052棟、家屋浸水36万3,616棟、山・崖崩れ7,231カ所であった。

また、この台風でも多くの風倒災害が発生している。紀伊半島では、伊勢神宮境内で樹齢数百年とい

う大木が強風によって多数倒壊したほか、奈良県内でも春日山原始林やその他で巨木の倒壊が多数発生した。

なお、この台風による長野営林局南木曾営林署管内（3,500ha）における風倒は針広混交林や広葉樹林ではほとんど発生はなく、主として針葉樹林で発生し、樹齢別では40年未満の林地ではほとんど発生はなかった（林野庁治山課 1993）。

③1981年台風15号

8月の台風15号の観測では、最大風速は苫小牧で27.7m/s、最大瞬間風速では浦河40.4m/s、苫小牧38.6m/s、釧路33.2m/sと記録的であった。この強風のため十勝、胆振東部、日高西部、上川南部の北海道中央部から東部で風倒木被害が生じた。その面積は、58,780haで、カラマツ人工林の被害が多く全体風害量の35%を占めている（東京大学付属演習林1990）。

④1990年台風19号

台風19号は、9月19日20時過ぎに和歌山県白浜町に上陸し、尾鷲測候所で最大瞬間風速56.1m/s、三重県津地方気象台で43.9m/sの最大瞬間風速を記録した。三重県下での風倒木被害は、スギ、ヒノキを中心に2,700haに及んだ（陶山 1992）。

⑤1991年台風19号

この台風の被害については後述する。

⑥1993年台風13号

9月3日午後4時ごろ薩摩半島に上陸した台風13号は、中心気圧930hPa、暴風域半径190km、中心付近の最大風速は50m/sで、大隅半島肝属郡大根占町で74m/sの瞬間最大風速を記録し、薩摩半島南部、大隅半島南部で風倒木の被害が発生した。その被害区域面積は6,500ha、被害額は66億円であった。

* (財)砂防・地すべり技術センター砂防部長

⑦1998年台風7号

台風7号は、9月22日日本州中央部に上陸し、近畿・中部地方、特に岐阜県下では大きな風災害を与えた。このときに奈良の室生寺では、国宝の五重塔が、強風で倒れた巨木で大きく損傷を受けた。この台風の局所的な最大風速は40m/s以上と想定された。

奈良県下での森林被害は、2,579.35haにのぼり、被害面積では、とくに室生村、吉野町、東吉野村で300haを超えている。

一方、被害率では、明日香村(5.41%)、菟田野町(4.88%)、室生村(3.98%)、吉野町(3.94%)で高い値を示している(松本等 1999)。

以上の風倒木の実態から以下のような事柄がまとめられる。

- a. 全国的な広がりをもつ風倒木被害は、強風を加速させる速度の非常に速い、大型の台風によるものが多い。
- b. 倒木は、スギ・ヒノキやカラマツなどの針葉樹に多く発生するが、伊勢湾台風では春日山原始林でも風倒は発生している。
- c. 倒木は高齢林に多い。
- d. 倒木の発生は、山腹斜面表層土の強度低下を招きその後の崩壊発生に対する抵抗力を小さくする。

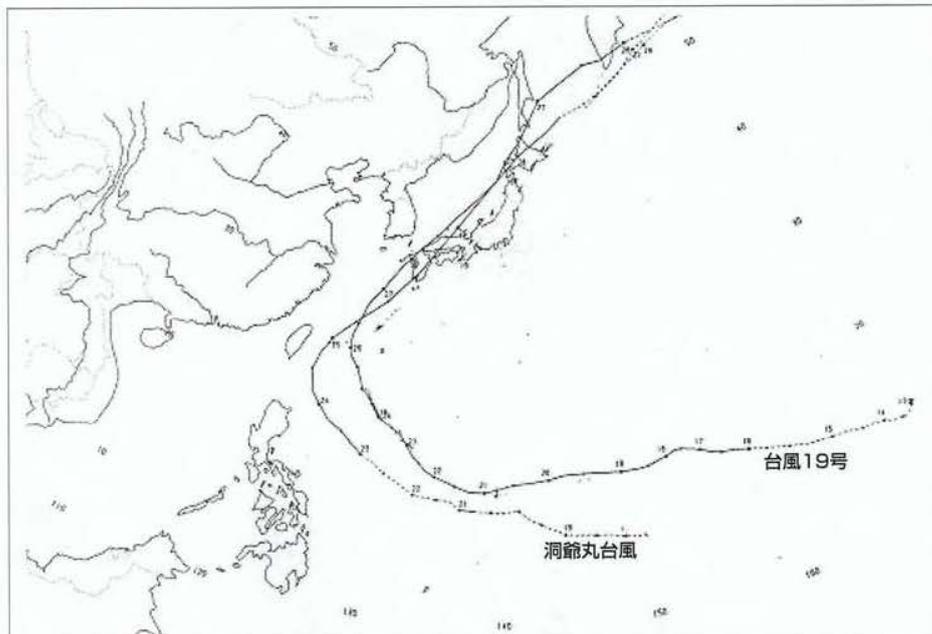


図2.1 台風19号と洞爺丸台風の進路

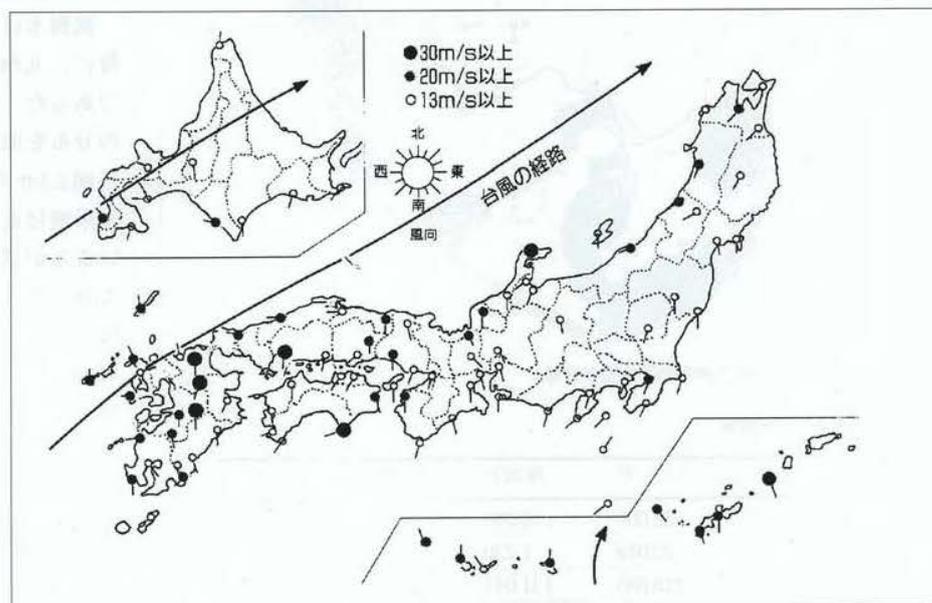


図 2.2 台風の進路と気象官署の最大10分間平均風速分布

2. 1991年台風19号の特徴

2.1 気象特性

1991年の台風19号は9月26日に沖縄付近を通過し、9月27日16時過ぎに長崎県佐世保市に上陸した。その時の中心気圧は940hPa、中心付近の最大風速は50m/s、暴風(25m/s以上)半径が300km以上、強風(15m/s以上)半径が600kmの勢力であった。

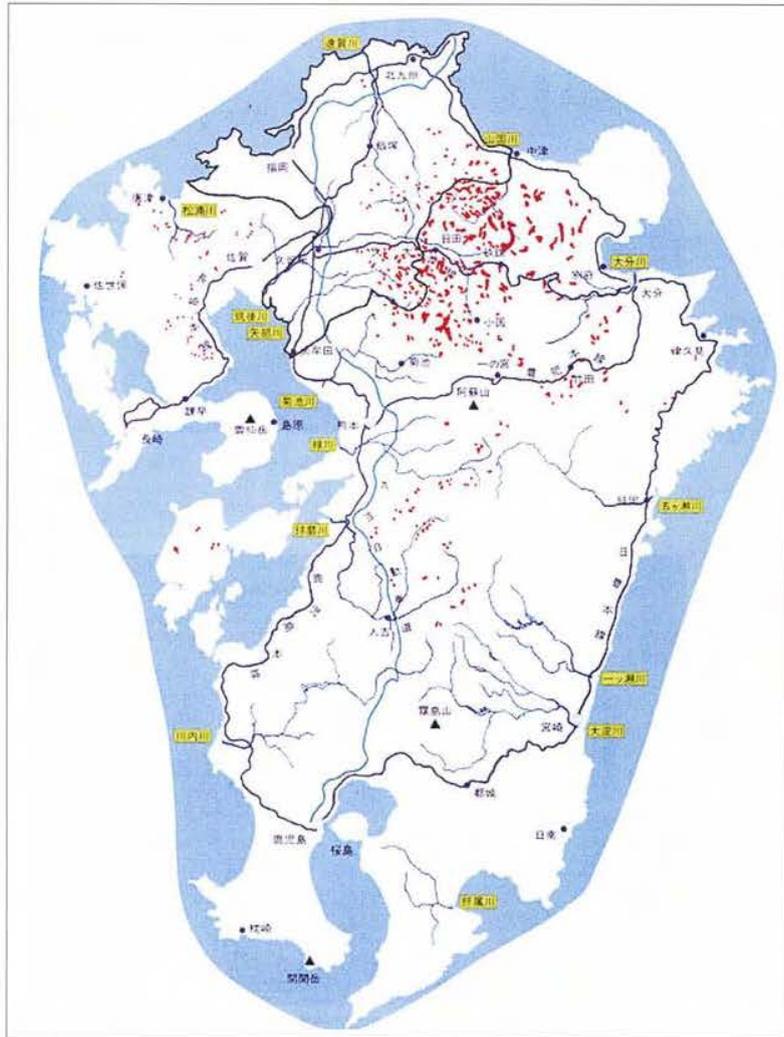


図2.3 台風19号による九州の風倒木地の分布

表2.1 各県の風倒木被害

	大分県	福岡県	熊本県	合計
風倒木本数 (千本)	22,000	10,900	6,000	38,900
風倒面積 (ha)	22,018	7,239	5,780	35,037
人工林面積 (ha)	218,885	131,041	243,452	593,378
被害率 (%)	10.1	5.5	2.4	5.9

表 2.2 流域別風倒木地面積

流域名 (km ²)	流域面積 (10 ³ m ²)	風倒木面積 (m ²)	面積率 (%)
筑後川	1,100.39	102,652.0	9.3
山国川	444.83	59,192.5	12.7
犬丸川	39.46	3,738.8	9.5
駅館川	152.72	7,148.7	4.7
その他	54.09	3,613.9	5.3
合計 (平均)	1,813.49	176,354.9	9.7

台風19号の進路を図2.1に示す。この進路は、同様の風台風であった1959年の洞爺丸台風と酷似している。

台風19号は、北海道に再上陸する頃には、その速度が90km/hr (25m/s) を超えていた。そのため、台風の進路右側にあたる地域の西日本から北日本にかけて日本海側を中心に各地で観測史上最大もしくは上位の瞬間風速を観測した (図2.2)。

大分県日田測候所では、最大瞬間風速44.4m/sを記録し、これまでの30.1m/sを大幅に更新した (大分県・大分地方気象台、1991、宮沢、1992)。

2.2 九州北部の風倒木の発生状況

風倒木は、全国各地で発生したが、特に、九州北部の被害は大きいものであった。九州で発生した風倒木地の分布を図2.3に示す。

図2.3から、大分・福岡・熊本県の県境付近での風倒被害面積が大きいことが認められる。被害の著しい大分・福岡・熊本県では、風倒木のほとんどがスギ・ヒノキであった。風倒被害が人工林で発生したとして、人工林面積に占める風倒面積について整理すれば、表2.1のようにまとめられる。大分県の人工林面積に占める風倒面積率は10.1%と他の2県を凌駕している ((財)砂防・地すべり技術センター 1992)。

また、上記各県に関わる主要河川における、流域面積にしめる風

倒木地面積率を、表2.2に示す。この表から山国川で12.7%と非常に大きく、全流域の平均は、9.7%である。

3. 大分県北西部の風倒木の特徴

3.1 風倒木の発生状況

風倒木地は九州全域に発生しているが、特に大分

表3.1 大分県北西部の風倒木被害 (大分県土木建築部調)

土木事務所	市町村	面積(A) (km ²)	森林面積(B)		風倒木地面積(C)		
			B(km ²)	B/A(%)	C(km ²)	C/B(%)	
中津	中津市	55.50	3	5	0	0	
	下毛郡	三光村	46.05	26	56	3	12
		本耶麻溪町	85.04	66	78	10	15
		耶麻溪町	184.65	159	86	30	19
		山国町	119.60	107	89	10	9
小計	490.84	361	74	53	15		
日田	日田市	270.78	208	77	29	14	
	日田郡	前津江村	78.99	73	92	14	19
		中津江村	81.91	77	94	7	9
		上津江村	88.53	83	94	18	22
		大山町	45.64	36	79	6	17
		天瀬町	101.45	80	79	15	19
小計	666.10	557	84	89	16		
玖珠	玖珠郡	九重町	270.70	216	80	19	9
	玖珠町	287.46	198	69	33	17	
	小計	558.16	414	74	52	13	
合計		1,715.10	1,332	78	194	15	

県北西部には、集中的に発生している。そこで、表3.1に示す対象エリアにおいて航空写真判読調査を行った。

判読結果のまとめを表3.1に示す。この表から、対象地域の風倒木地面積率は、平均で15%と大きく、特に筑後川上流域に位置する上津江村の風倒木地面積率は22%と非常に大きいものである。

3.2 風倒木の発生と地形的特徴

風倒木が発生しやすい地形的特徴は、強風を直接受けるかまたは、地形上風が集中し加速されるような場所である。

1991年に大分県北西部に多発した風倒木地は、調査範囲の約15%を占める広い面積で発生しているが、図3.2(a~c)((財)砂防・地すべり技術センター1992)のように風の集中、または風が加速され・乱れが生じる地形的特徴のある箇所での発生が多く認められる。

その主な特徴を以下に示す。

(a) 南～南西向きの斜面

図3.2(a)のような、南南西向きの斜面における倒木の発生は、図3.2(a)の下図に示すように風向と一致した南南西の強風が尾根に駆け上がり、この風は、凸型の曲率をもつ物体の流れとなり、風速が



写真3.1 風倒木の状況(風の方向に樹木が倒れている)

加速されたことが原因と推定される。

山頂部がなだらかな台地では、台地の曲率が小さいので流れは加速されず、倒木は発生しにくくなる。また、風が山頂を過ぎるときに流れの剥離が生じる。この剥離点下部の流れは逆向きとなり、強いせん断力が作用するので、樹木の幹折れがみられる。この現象を慣性力の卓越した流れの場で考えると、加速された風が周囲の風速に戻るため減速され、乱流境界層に圧力が増加する。そのため、尾根部近傍に生

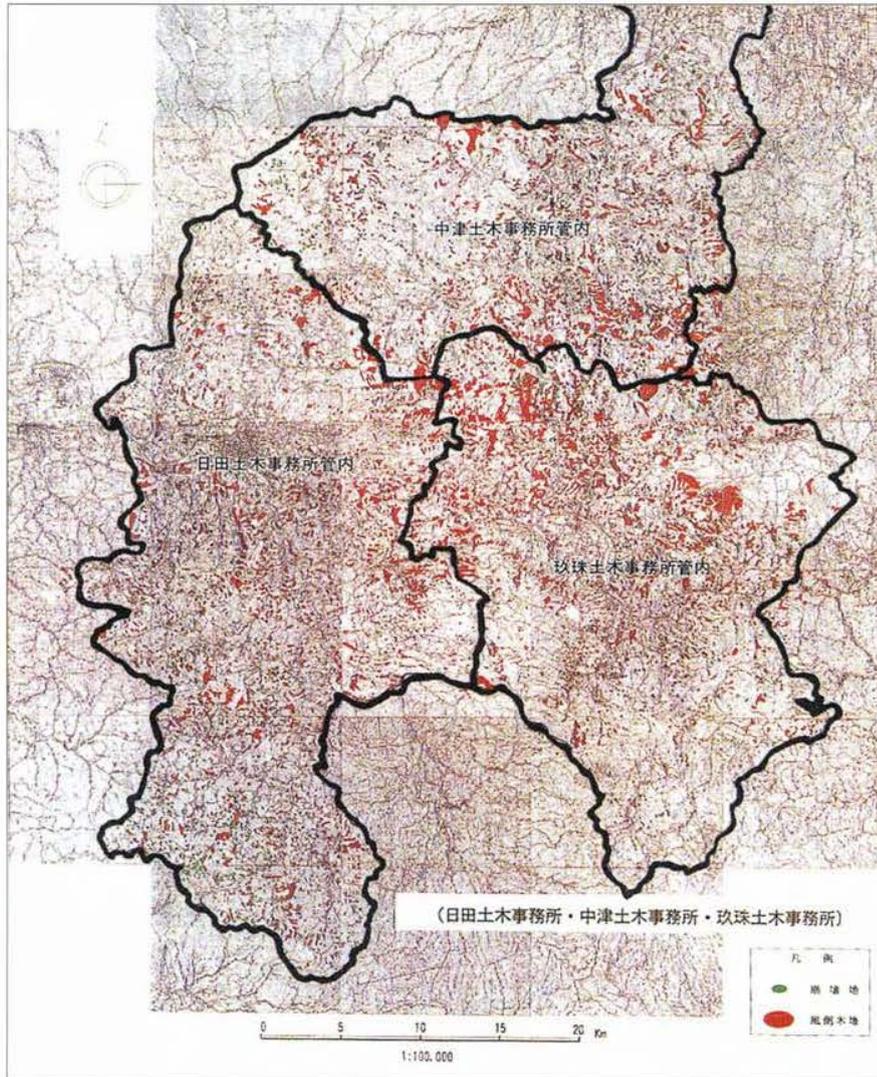


図3.1 1991年台風19号による風倒木地状況 (大分県北西部)

じている境界層に剥離が生じ、剥離した点の下流部には逆流が生じるためと理解される。

(b) 南～南西側が開けている谷筋

図3.2 (b) のように、南西からの風が谷の下流から上流に向かって駆け上がる場合の谷筋、特に源頭部の斜面での風倒木の発生は、図3.2 (b) 下部の図のように谷の断面の縮小によって流れが集中し、オリフィスの流れとなって風が加速されたためと考えられる。

(c) 孤立峰の東西斜面

図3.2 (c) に示す孤立峰のような鈍い形状の物体を通過する風は、流体力学のポテンシャル流でみら

れるように、物体の両サイドで風が加速される。この現象で、孤立峰の中腹において風倒木が発生したと考えられる。また、山頂や山腹を回り込んだ風が、風下の斜面に衝突する場合にも風倒木が発生している。この場合の倒木の方向は、一様ではない。

3.3 風倒木の状態

倒木の被害形状について陶山 (1992) は、「幹折れ」「幹曲がり」「幹傾斜」「根返り」「枝折れ」「枝葉損傷」ように詳細に分類しているが、山腹斜面安定・崩壊の観点から大きく区分すれば、表層土層に影響を与える「根返り」「幹折れ」「曲がり」の3分類で十分と考える。

- ・根返りは、樹幹が途中で折れることなく、根ごと転倒している状態をいう。
- ・幹折れは、樹木の幹が途中で折れている状態をいう。
- ・曲がりは、転倒まですら半転倒の状態でも傾いている状態をいう。

調査地域内における風倒木の形状は、「根返り」タイプが多い。

「根返り」状態の風倒木は、山腹斜面の表層土を著しく擾乱し、その強度を低下させている。また、「幹折れ」「曲がり」状態の樹木も強風に揺すられていることから、表層土層に擾乱を与えていると推定される。

3.4 風倒木の特徴

大分県北西部 (日田地方) に発生した風倒木について調査を行った。この地域は、わが国の中でも林業が盛んな地域であり、森林の73%はスギ・ヒノキの人工林で占められ、人工林の内スギが77%を占めている。

風倒木の82%はスギが占めており、倒木となったスギの内、30年生以上のものが78%を占め、20年生以上のスギでは98%を占めている。幼樹は樹冠が小さく、しなやかな樹幹を有しているため倒木とならなかったと推定される。

3.5 風倒木地の擾乱

「根返り」タイプの根系の貫入深や根返り直径の径を図3.5のように定義し、調査を行った。その関係を図3.6に示す。この図からは、根系の貫入深と根返り直径に関して明確な関係は認められない。一部のデータを除き、貫入深については0.5m～1.0mの狭い範囲に集中し、根返り直径は、1.5m～2.5mの範囲に集中している。表層土厚さの範囲が1.0～2.0mであること、また樹高(20～30m)を比較すれば、貫入深は小さいと考えられる。一方、現地での観察から根返り直径は、各樹木の植樹間隔に一致している。このことは、樹木相互の干渉で根系の成長が抑制され、密植された人工林は、不安定な状態になることを示している。

根返りが生じた風倒木地では、シート状に表層土が掘り返されたようになっている。このような倒木が生じた箇所では、斜面勾配が急峻であると倒木と同時に斜面崩壊が生じている。そのときに崩壊が生じなかったとしても、斜面は非常に不安定な状態となっているので、その後の少量の降雨でも崩壊や土石流が発生しやすくなっているものと考えられる。

3.6 風倒木地に発生した崩壊

大分県におけるこの台風19号の最大瞬間風速、最大風速ともに風向は南西から南南西であり、風倒木の倒れている方向とほぼ一致しているため、風倒木

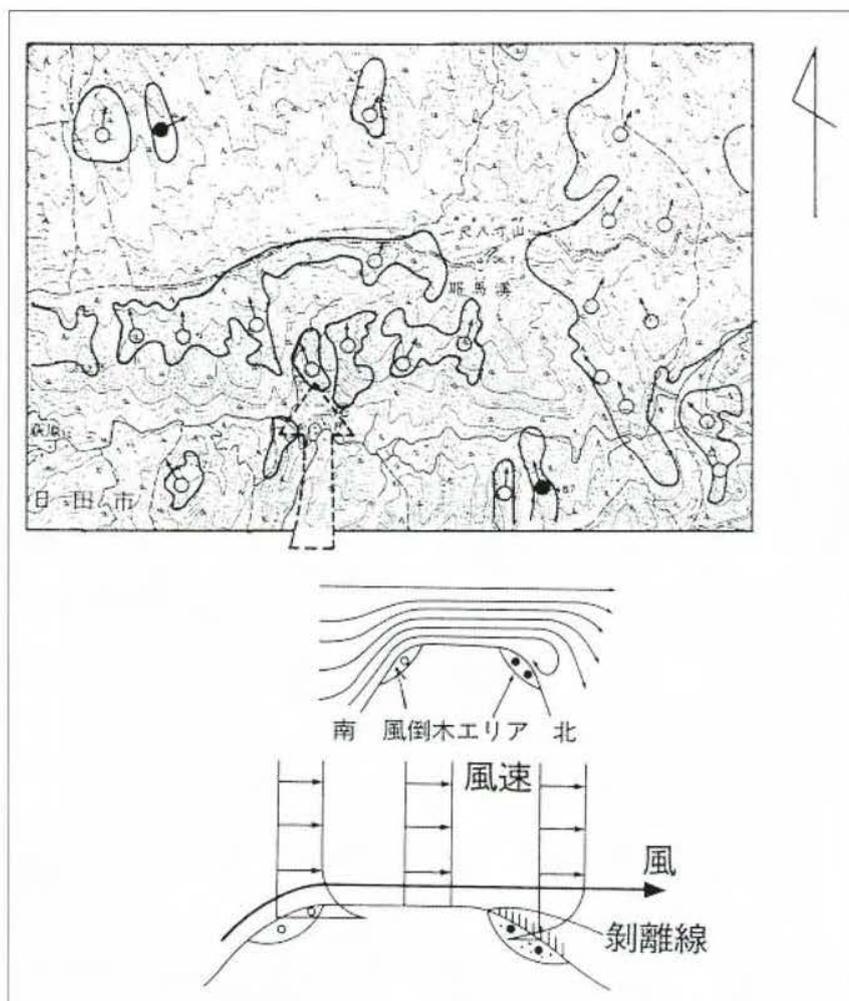


図 3.2 (a) 風倒木発生箇所での地形的特徴と倒木形態 南～南西向き斜面

は、この台風の強風時に発生したと推定される。日田測候所で観測された降雨記録は、総降水量で74.0mm、最大日降水量で70.5mm、最大1時間降水量で28.5mmと被害を発生させた台風の降雨にしては少なく、風倒木発生と同時に生じたと推定される崩壊地は、このような小さな降雨で発生したと考えられる。

根返りを起こした風倒木が分布する斜面は、表層土層が激しく擾乱を受けており、土質強度の低下が生じ斜面崩壊に関して不安定な斜面といえる。しかし、根返りが生じていても、勾配の緩い斜面では崩壊の発生可能性は小さいと考えられる。

ここでは、調査対象地域内において約1,500箇所の風倒木地を無作為に抽出し、その斜面縦断勾配を調べた。また、その一方で風倒木の発生と同時に生

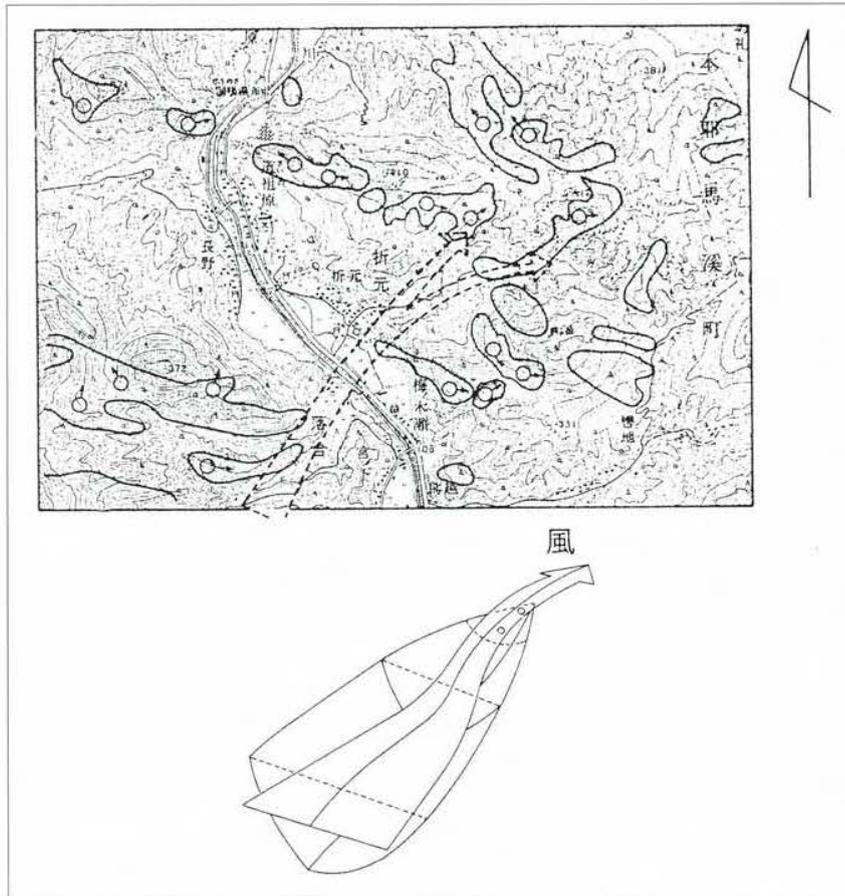


図 3.2 (b) 風倒木発生箇所の地形的特徴と倒木形態 南～南西側が開けている谷筋

じたと推定される崩壊箇所について斜面縦断勾配を調査した。その斜面勾配分布結果を図3.8に示す。

風倒木地の勾配は、約27度～30度を中心にほぼ正規分布を示しているが、崩壊地斜面の勾配は、33度を超えると急に崩壊地が増加する傾向を示している。さらに、33度以上の崩壊地の分布系は、風倒木地の分布系に類似している。このことから、33度以上の非崩壊地斜面は、非常に不安定な状態といえよう。

4. まとめ

1991年9月の台風19号は、その進路は1959年の洞爺丸台風と酷似し、台風の移動速度とあいまって、各地で風速の記録を更新した、近年まれにみる「風台風」である。青森県において収穫期直前のリンゴの落果被害が喧伝されたため、「リンゴ台風」とも呼ばれている。この台風被害は、全国各地で様々な形態の災害を引き起こした。

特に、九州北部における風倒木の多発はこれまで経験がなく、大分県、福岡県、熊本県では甚大な被害を被り、これら3県の風倒木地面積は35,037haにもなった。

さらに、甚大な風倒木の発生をみた大分県北西部1715.1km²に関して航空写真判読を行い、風倒状況を調査した。全域における風倒木地は194km²であり森林面積に対して15%程度である。日田郡上津江村における風倒木地面積は18km²となり、森林面積の22%を占めている。

風倒木の発生は、風の集中・加速される以下の地形的特徴を有する箇所に多く発生している。

- ① 大きい山岳あるいは山脈の風全面
- ② 風前の高い山からの吹き下ろし風を強く受けるところ
- ③ 暴風方向と一致した広く

長い溪谷

- ④ 円錐形の山の中腹山麓地帯

調査対象エリアは、森林の73%はスギ・ヒノキの人工林で構成されている。風倒木の82%はスギが占めており、倒木となったスギの内、30年生以上のものが78%を占め、20年生以上のスギでは98%を占めている。

日田測候所で観測された降雨記録は、総降水量で74.0mm、最大日降水量で70.5mm、最大1時間降水量で28.5mmと台風の降雨にしては少ないが、風倒木が発生した急勾配斜面では崩壊が発生し、斜面勾配が33度以上の斜面に多く発生している。



写真3.2 根返り



写真3.3 一部幹折れを含む

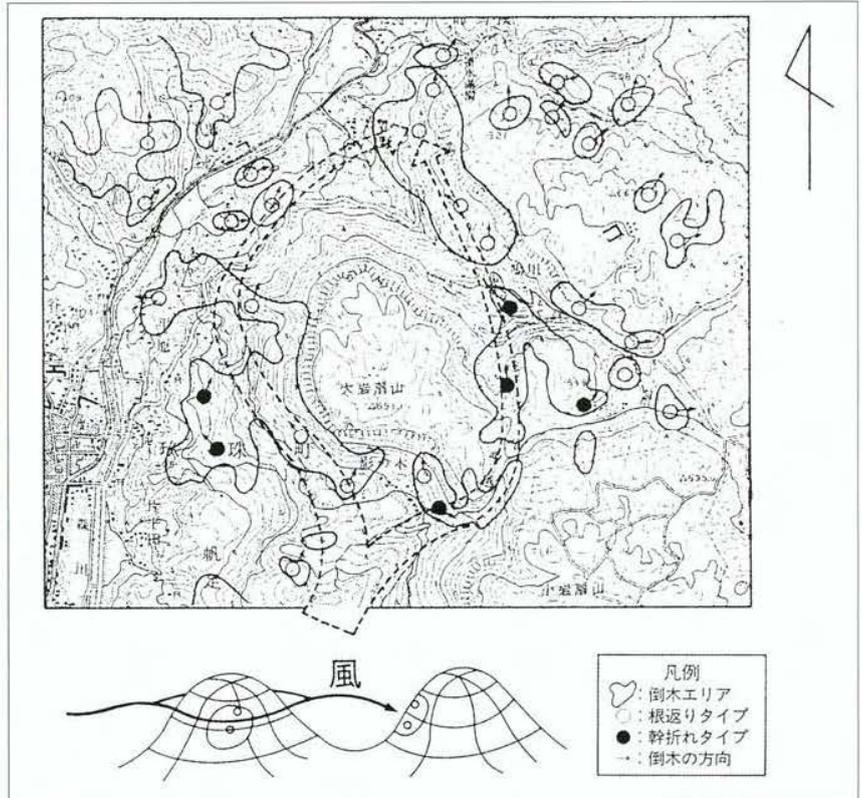


図 3.2 (c) 風倒木発生箇所の地形的特徴と倒木形態 孤立峰の東西斜面

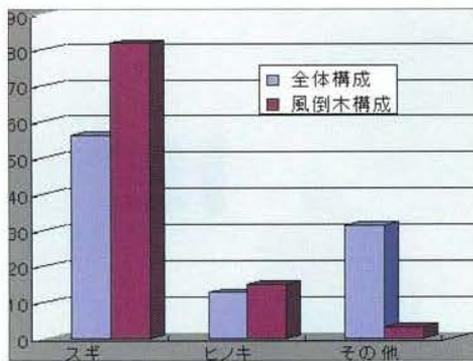


図3.3 風倒木と森林全体の樹種構成

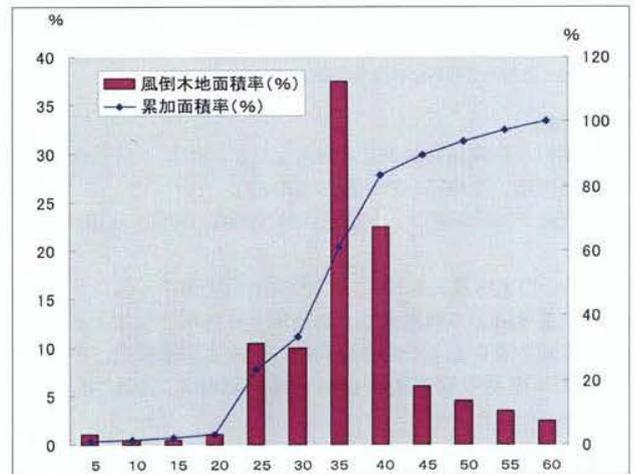


図3.4 樹齢別風倒木地面積率

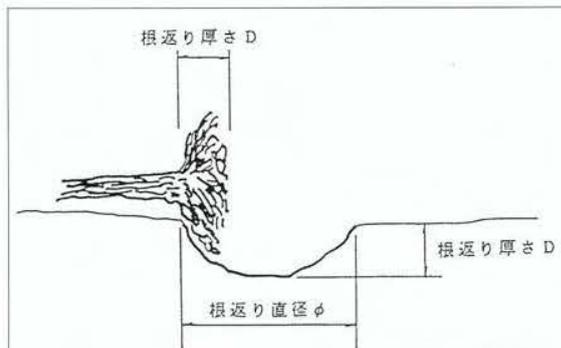


図 3.5 根茎の代表的ディメンジョン

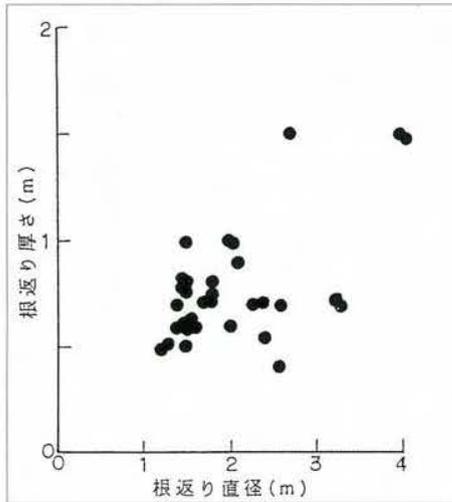


図 3.6 根張り厚さと根張り直径の関係

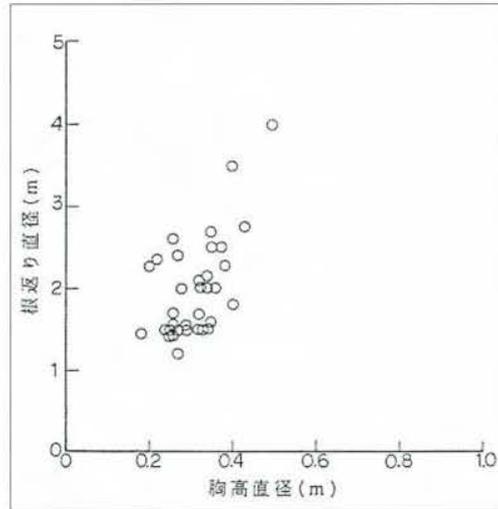


図 3.7 胸高直径と根張り直径の関係



写真3.4 風倒木の根系と表層土の擾乱

【参考文献】

- 安楽孝治：台風13号被害と今後の対応について、日林九支研論集、No47、p.291-292、1994.9
- 川口武雄：森林物理学、気象編、地球出版、1960、p.122-130
- 松本勝、白土博通、八木知己：1998年9月台風7号による奈良盆地周辺の強風被害、1998年9月台風7号による近畿地方を中心とした強風災害に関する調査研究、平成10年度科学研究補助金研究成果報告書、p.3-18、1999.3
- 大分県砂防課：風倒木災害対策砂防、1994
- 林野庁治山課、(財)水利科学研究所：平成3年の台風19号による二次災害対策に関する調査報告書、1993、p.9-13
- 自然災害科学辞典：1988、p.413
- 陶山正憲：台風による樹木の風倒・折損機構、水利科学、Vol.37、No 1、pp.25-53、1993、Vol.45、No.3、p.18-23、1992
- 東京大学付属演習林：演習林第27号、1990
- (財)砂防・地すべり技術センター：平成4年度大分県風倒木対策全体計画、1992
- (財)砂防・地すべり技術センター：平成4年度大分県風倒木対策全体計画、1993

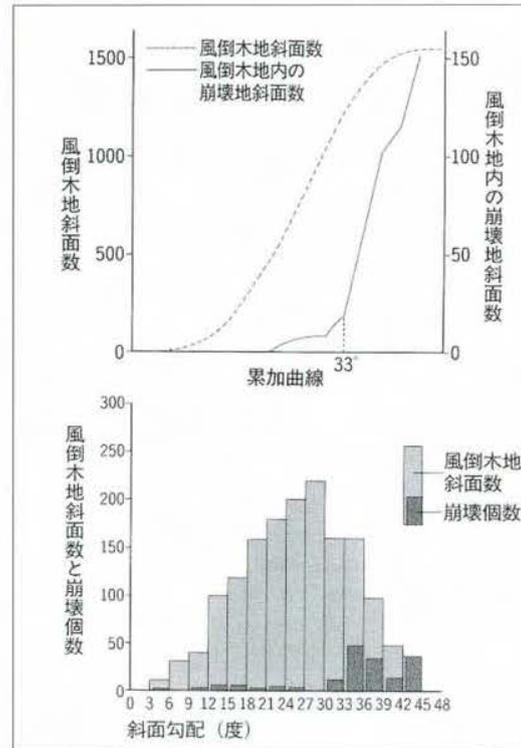


図3.8 風倒木地および崩壊斜面の縦断勾配分布