

2007 年 9 月台風 9 号による軽井沢地方の倒木被害

－軽井沢の本来の自然を知る－

江川良武・山本博・杉崎孝一郎

軽井沢自然地理研究会

2009 年 9 月



この報告書は 2008 年度の PRO NATURA FUND による助成金によって作成されました

目次

要約	1
1. はじめに	3
2. 気象・地質・地形・樹林・土地利用の概要と調査方法	4
(1) 気象・地質・地形の概要	4
(2) 樹林・土地利用の概要	8
(3) 調査方法	10
1) 倒木調査	
A.倒木分布	
B.倒木状況	
2) 気象および人的被害調査	
3) 土壌調査	
4) 過去の倒木調査	
3. 台風 0709 号による倒木の状況	13
(1) 倒木の概要	13
(2) 倒木の分布	13
(3) 各地区の倒木状況	15
1) 追分北方地域	
A.全体	
B.針葉樹林	
C.混交林	
2) 太郎山山麓	
3) 軽井沢東南方～国道 18 号バイパス	
4) 千ヶ滝地域、鶴溜地域、小瀬地域	
5) 南軽井沢一帯	
6) 茂沢付近など急傾斜地	
(4) 倒木の時間経過	34
4. 過去における倒木の状況、台風 0709 号による倒木との比較	35
(1) 顕著な倒木災害	35
1) 1959 年台風 7 号による倒木災害	
2) 1982 年台風 10 号による倒木災害	
3) 1949 年キティ台風およびその以前の倒木災害	
(2) 倒木災害と気象	43
5. 倒木要因の検討	45
(1) 全域における検討	45
1) 気象	

2) 地質・土壌	
3) 樹木	
4) 小活	
(2) 追分北方針葉樹林における検討・・・・・・・・・・	48
1) 気象	
2) 地質・土壌	
3) 樹木	
4) 小活	
(3) 倒木からみた湿地・原野の回復、樹木管理・・・・・・・・	52
1) 適地にあわせた湿地・原野の維持回復	
2) 樹林の管理	
6. おわりにーまとめと倒木調査の意義ー・・・・・・・・	55
(1) まとめ	
(2) 防災の観点	
(3) 「土地条件の再発見」の観点	
(4) 「守るべき植生」の観点	

謝辞

引用文献

図表写真リスト

要 約

2007 年 9 月、台風 0709 号は多数の樹木を倒木させ、森の町・軽井沢に多大の被害をもたらした。本調査の目的は、第 1 に今後の防災のために今回の倒木災害の記録を残しておくことであり、第 2 に倒木という一見特殊に見える事象を通して、軽井沢の環境特性の一端を把握し、まちづくりや環境保全の基礎データを積み上げることである。調査地域はおもに軽井沢町内とし、一部御代田町を含めた。また主な調査内容は①地域毎の倒木状況と地区の特性との対応関係、②過去の倒木災害、③樹木の形状・根系・土壌の状況の 3 点とし、これらより倒木災害要因の解明を試みた。

強風による樹木の被害を、根返り、傾斜、幹折れに 3 分類した。台風 9 号ではこの内、根返りが圧倒的に多く 1982 年などの災害と異なっている。樹木の年輪測定を行ったところ、軽井沢の大多数の樹林（カラマツ主体）は戦後の拡大造林の産物で、樹齢の高いものはわずかに古くからの別荘地や寺社林に残っているが、明治期にさかのぼる樹木は見出せなかった。

現地踏査により倒木率 5～50%と 50%>を基準とした倒木分布図を作成したところ、両者はいずれも島状の平面形を示し、倒木は連なって折り重なるように倒れていた。倒木は、別荘の建つ区画で少なく、林業地あるいは別荘地であっても別荘が未建築の区画で多かった。これは別荘の建つ区画において建物敷地に樹木が無く、また生活を快適にするため樹木の間引きが行われて樹木密度が小さい故であろう。また樹種の面から、間引きの際に広葉樹を残す傾向があり、広葉樹の比率が高い場所に倒木が少ない。反対に「荒れた」林地、すなわち樹林密度が高く、枯れ木が放置され、下層に雑木が込み合っている林地では、しばしば激しい倒木が見られた。

被害林地の土地条件は、追分を中心とする追分火砕流堆積地域、および湯川畔、地藏原、南軽井沢などの湿地に集中する傾向が明らかである。一方、厚い火山灰、軽石層が堆積する千ヶ滝、鶴溜、小瀬などでは倒木が少なかった。これらは地盤条件が大きな倒木要因であることを暗示する。

記録によれば、戦後の倒木災害は、1949、1959、1982 年の台風で甚だしく、これらとその他の顕著な倒木災害のいずれもが、最大瞬間風速がおおよそ 20m/s 以上、降雨は日雨量 150mm 以上で発生しており、強風とともに豪雨が倒木の必要条件であることを示唆している。季節的には、晩秋～春にかけての非台風期が、7 月～9 月の台風期と比べて強風が頻度・風速共に甚だしいが、倒木災害は報告されていない。常緑のモミ、アカマツも倒木しないことから、葉の有無が大きな要因とはいえず、豪雨を伴わないことに加えて、土壌の凍結深度は 70～80cm に及び地盤が強固になることが倒木しない原因と考えられる。これまでの樹木の倒木方向は、いずれも西～南で、台風期の風向の東～東北に対応し、またアカマツの多く、カラマツの一部などの幹が過去の何回もの傾動を反映して湾曲しているが、変形の方法は倒木と同じく西～南である。

追分原の国有林内の激甚被害林地では、総体として樹林の密度（本数/面積）は大きく、倒木耐性を持つとされる適正密度を超えていたと考えられ、間伐が充分ではなかったと理

解される。土壌硬度は貫入式土壌硬度計では礫が抵抗となって硬度が上昇し、深さ 25～35cm で根系がほとんど侵入しないと推定される値となった。一方、山中式土壌硬度計では礫間の土層の硬度を測定することになるため、測定がおこなわれた深さ 90cm まで根系発達に阻害の有ると判断される値を下回った。このため、根系は下方に向かって礫間を伸長することは可能であるが、礫が障害となって制限を受けているものと推測される。

透水性は腐植に富む表層で大きいことが測定されたが、下層の火砕流堆積物では小さいと推定され、豪雨時には土壌水分増加が推定される。なおこの地域の道路一本を挟んで南の別荘地および一部の民有林では倒木は圧倒的に少ない。土壌断面は国有林内とほぼ同様であるが、樹木は広葉樹の比率が高く、ことに別荘区画での樹林密度は小さい。

地下水位の高い湿地、湯川などの河川沿岸に見られる倒木には、樹高が 20m 以上の高木であっても根の深さが 30～40cm に過ぎない例がしばしば認められる。また根が鉛直方向に伸展できない結果、側方に拡がり、隣接木の根系と絡まり合って根系のマットすなわち板状体を形成している。これにより連鎖倒木を起こし易くなったことが考えられる。

千ヶ滝、鶴溜、小瀬などの降下火砕物堆積地域では、倒木によって根が軽石層を貫いて深さ 1.2m に及んでいるものと、軽石層に阻まれて 40～50cm の深さで止まっているものの双方があった。軽石層を貫いていても軽石層は脆弱であり、支持力が増していたかどうかは不明である。これら地域はいずれも傾斜地であり、地下水位が低いことと、降下火砕物の透水性が極めて高いため、豪雨に際しても、容易に飽和しなかったと考えられる。

中部電力の調査によると、軽井沢町で倒木害が発生し始めるのは瞬間最大風速を記録する時刻の 12 時間以上前からである。そして、この時間帯は連続降雨量が極大になった直後であった。これに対し御代田町では倒木害は風速の増加に伴い増えており、降雨量への依存性は認められない。

以上から倒木の原因は、①追分火砕流堆積地、湿地において根系が浅く倒木を起こしやすかった、②これらの地域、特に湿地においては豪雨によって容易に土壌水分が増加あるいは飽和して支持力の低下が生じた、③これら地域の分布面積が軽井沢で広がった、④林地の手入れが充分でなく、密度が高すぎた結果、根系の発達が充分でなく、風心高も高く倒木しやすかった、と整理できる。

0709 号台風の比較的大きな外からの作用により、開発過程で均質化されたと思いがちの元来の土地条件の差異が倒木状況から顕在化し、現在でも依然としてその差異が存在することが明らかとなった。湿地の乾地化が、一定の排水処理や植林によって成功したと見えても、実は依然として湿地であり、「追分原」であった追分火砕流堆積地は依然として荒地の要素を残しているなどである。巨大な資本の投下ならいざ知らず、軽井沢でこれまで行われてきた程度の人為では土地の本来の特性は大きく変わるものではなさそうである。土地利用の改変、森林の育成や開発行為は、本来の土地の特性を踏まえて行うべきと思われる。

1. はじめに

長野県東信地方は、2007年9月6日～7日にかけて関東平野中央部を北上した台風9号（以下、台風0709号）により河川、道路などの土木施設、家屋の損壊や浸水、斜面崩壊、農作物損傷などの災害を被った。なかでも軽井沢町は多数の倒木が発生、これによる災害が顕著であった。倒木した樹木により1名が死亡、多数の家屋が損傷を受けたほか、ほとんど全ての道路が通行不能となった。また電力線が寸断され、全町にわたって停電が発生、地域によっては5日間に及び、サービス業など少なからぬ事業所が営業停止に追い込まれるとともに、多くの世帯で調理すら出来ない状態が続いた。

台風0709号による軽井沢の強風は、全国の過去の強風記録と比較すれば、著しく強いとはいえない。また、各地のかつての強風による森林の破壊、例えば1991年の九州地方、2004年の九州、中部、近畿、北海道などの風災害と比較しても、樹木の倒木率、倒木面積はいずれも問題にならないほど小さい。しかし軽井沢町は我が国では珍しい森の中の町である。別荘は14,000軒を数え、多くは樹林地域に位置する。7,000余の常住世帯の中にも樹林地域に居住するものは少なくなく、しかもその数は年々増加している。森の中に住宅があるので多数の倒木により、山間の林業地とは全く異なる災害の様相を示すことになったといえよう。

従来、多くの倒木に関する報告・研究がなされているが、ほとんどは林業育成の観点からのものである。そして今回の倒木災害についても、官公庁、大学関係者による視察的報告は2,3見られるものの、いずれも軽井沢町に隣接する御代田町や佐久市の林業地を対象としている。居住地域として最大の被害を受けた軽井沢町については、それらの町と隣接する局部の斜面崩壊を扱ったものを除いて、私達の知る限り報告書の類は皆無である。過去にも深刻な倒木災害は発生しているが、報告書の類はもとより整理された記録も皆無である。軽井沢町は美しい森を育成するため、新規建築や開発にあたっては極力木を切らぬよう指導を行ってきた。もとより森の維持や育成は大切であるが、「安全を確保しつつ」という観点も重要であると考ええる。町民や別荘所有者の災害後の対応も様々である。一方に再発を恐れて庭木を皆伐する例があり、他方に「倒れるべき木は既に倒れた」として、樹木の一切の伐採をせぬよう呼びかける声がある。さらに、樹木の倒木は風道次第として積極的対応を空しいものとする人々も多い。

樹木の根返りや幹折れは、災害とだけ捉えるのは適切でない。これらにより森は明るくなり、かつて豊かだった野草やそれを食草とする昆虫、野鳥が増えることも期待される。人間が無理をして作ってきた森が、その土地にあった状態に戻る過程とも捉えられる。如何なる森を形成すべきか、軽井沢町内にも様々な意見があるが、ともすれば好みに基づく情緒的な議論になりやすい。これを改善するためにも森を変えていく自然のプロセスとしての倒木を的確に把握することは大切と考える。本稿はこの倒木被害現象に焦点を当てることとし、本調査結果から得られた樹木管理および防災上の注意点、土地のもつ自然条件について若干の記述を加える。

ここでは樹木の風害を、根ごと倒れる「根返り」、途中で折れる「幹折れ」、幹が傾く「傾

斜」に3分類して記述する。これらによる樹木の総称を倒木、あるいは被害木とする。

調査力の限界から調査地域は主に軽井沢町の民有地とし、国有林については比較のための調査にとどめた。調査地域の概要と本稿で言及する主な調査地点を図1に示す。倒木の実態を、今回の倒木の空間分布と時間経過(3.(1)節、3.(2)節、3.(3)節、3.(4)節)ならびに過去の災害事例(4.(1)節、4.(2)節)から明らかにし、つぎに倒木が生じた原因についての考察を気象・地質・土壌・樹木(5.(1)、5.(2)節)から行い、さらに倒木から見た樹木管理(5.(3)節)と倒木調査の意義(6.(2)節、6.(3)節、6.(4)節)についての若干の考察を報告し、合わせて提言を行う。

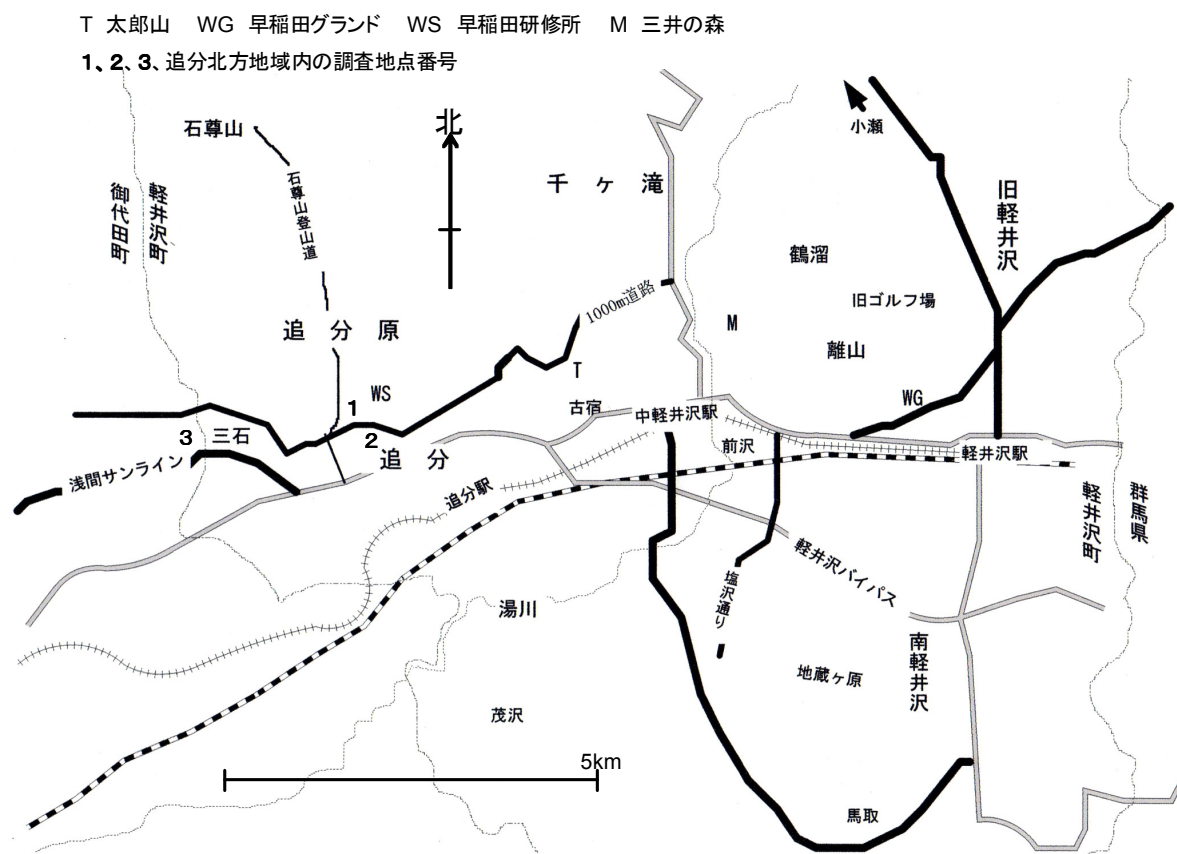


図1 軽井沢地域の概要と主な調査地点の位置

2. 気象・地質・地形、(・ではないのか?) 樹林・土地利用の概要と調査方法

(1) 気象・地質・地形の概要

台風 0709 号は伊豆半島南部に6日深夜上陸、関東地方を北上し、7日昼には東北地方に抜けた(図2)。軽井沢測候所における気圧、降水量、気温、風向、風速の時間経過を表1に示す。軽井沢に台風が最接近したのは気圧から判断して7日早朝3時であったが、強雨と強風はむしろ前日に生じている。

表1 軽井沢測候所における気圧、降水量、気温、風速、風向の時間変化

月日	時	気圧 (hPa)	降水量 (mm)	気温 (℃)	風速 (m/s)	風向 (16方位)
9月5日	1	901.1		20.2	1.0	東北東
9月5日	2	901.1	0.0	20.1	1.4	北東
9月5日	3	901.0	0.0	19.8	1.3	東北東
9月5日	4	900.7	0.5	19.5	1.1	北東
9月5日	5	900.8	0.5	19.6	0.9	東北東
9月5日	6	901.2	1.0	19.5	1.2	北東
9月5日	7	901.3	0.0	19.6	1.0	北東
9月5日	8	901.0	0.0	20.3	1.1	東北東
9月5日	9	901.2	0.0	21.0	1.4	東北東
9月5日	10	900.8	0.0	22.2	1.6	北東
9月5日	11	900.2		22.8	2.2	東北東
9月5日	12	899.9	1.0	20.3	2.0	北東
9月5日	13	899.6	1.0	21.6	2.2	北東
9月5日	14	899.1	1.5	20.4	1.3	北東
9月5日	15	898.9	1.0	20.4	1.3	北東
9月5日	16	898.9	2.5	21.1	1.8	北東
9月5日	17	898.7	0.0	20.8	0.9	南南東
9月5日	18	898.8	0.0	20.2	1.5	北北東
9月5日	19	899.1	11.5	19.8	2.0	北北東
9月5日	20	899.5	10.0	19.9	1.3	北東
9月5日	21	899.5	7.5	19.8	1.2	北東
9月5日	22	899.3	10.0	19.6	1.5	北北東
9月5日	23	899.2	3.5	19.7	2.7	北東
9月6日	0	898.8	1.0	20.0	1.8	北東
9月6日	1	898.3	0.0	19.8	1.2	北東
9月6日	2	897.8	1.5	19.6	1.7	北東
9月6日	3	897.2	2.0	19.9	1.7	北東
9月6日	4	897.0	0.5	19.7	2.0	東北東
9月6日	5	896.4	3.5	19.5	2.3	北北東
9月6日	6	895.8	33.5	20.3	3.5	東北東
9月6日	7	896.7	28.5	20.1	3.2	東
9月6日	8	896.5	17.0	20.1	2.8	東北東
9月6日	9	896.5	16.5	20.0	1.8	東南東
9月6日	10	896.1	10.0	20.3	2.2	東北東
9月6日	11	895.4	14.0	20.5	2.6	北東
9月6日	12	894.4	6.0	20.5	3.6	東北東
9月6日	13	893.9	17.0	20.1	2.8	北東
9月6日	14	893.4	8.0	20.4	4.0	東北東
9月6日	15	892.2	16.5	20.5	4.2	東北東
9月6日	16	891.4	14.5	20.6	3.7	東北東
9月6日	17	890.2	2.5	20.6	5.3	東北東
9月6日	18	889.3	4.0	20.8	5.5	北東
9月6日	19	888.8	7.0	20.6	5.6	北東
9月6日	20	888.2	8.5	20.9	5.3	東北東
9月6日	21	886.3	11.5	20.8	5.8	北東
9月6日	22	884.2	19.0	21.0	7.7	北東
9月6日	23	881.8	26.0	21.1	8.1	北東
9月7日	0	881.3	18.5	20.8	5.9	東北東
9月7日	1	879.6	11.5	20.3	4.8	北東
9月7日	2	877.7	11.0	20.2	4.8	北東
9月7日	3	877.3	13.5	19.7	3.9	北東
9月7日	4	877.4	10.0	19.3	0.9	南南西
9月7日	5	877.6	3.5	19.3	1.5	南西
9月7日	6	878.7	3.0	19.4	2.7	南西
9月7日	7	880.1	1.5	19.5	3.3	南西
9月7日	8	882.0	2.0	19.7	2.6	西
9月7日	9	882.8	1.5	20.7	2.9	西
9月7日	10	884.5	0.0	21.9	2.4	西
9月7日	11	885.4		24.6	2.5	西南西
9月7日	12	886.3		26.6	4.4	南西
9月7日	13	887.0		27.8	4.4	南西
9月7日	14	887.4		26.8	4.0	西南西
9月7日	15	888.1		26.1	3.5	西南西
9月7日	16	889.1		25.4	3.4	西南西
9月7日	17	890.3		24.7	2.0	西
9月7日	18	890.9		23.7	2.4	西北西
9月7日	19	891.9		22.6	2.3	北西
9月7日	20	893.2		22.6	2.7	北北西
9月7日	21	893.9		21.7	2.7	北北西
9月7日	22	894.3		21.3	1.9	西北西
9月7日	23	894.4		20.6	1.9	北西

風速（風速は正時前 10 分間の平均風速を表す）は雨とともに増す傾向にあるが、5m/s をこえる風は 6 日の 16:00～7 日 0:00 に発生し、23:00 には 8.1 m/s であった（表 1）。瞬間最大風速の時間変化を図 4 に示す。20m/s の風は 6 日の 17:52～7 日 0:54 の約 7 時間に、また 25m/s 以上の強風は 6 日の深夜 22:20～23:06 の約 1 時間に生じており、22:21 に最大値 27.7m/s を記録した。軽井沢消防署は 6 日 22:00 に同様な最大瞬間風速 29.5m/s を観

測している。群馬県西部から長野県東部にかけて 9 月 5 日～7 日の最大平均風速は、群馬県嬭恋村田代で 6 日 18:50 に 9m/s を示したが、軽井沢で 6 日 23:00 に 8.1m/s、西方の東御ではその 10 分後の 23:10 に 8m/s を記録した（図 5）。6 日 21:00～7 日 1:00 の毎正時ごとの風速と風向の分布をみると、軽井沢は強風域の中心であったことがわかる。

台風 0709 号における風の吹き方の立体構造の解析によると、地形の影響を受けて 6 日 23:00 に群馬県では赤城山、榛名山などの東側に上昇流が、西側に下降流が示され、高標高山地では風速の高まりが想定されている。関東平野西縁山脈の西側の軽井沢付近においても下降流の存在が示されていることから、軽井沢から東御にかけて台風の接近により地形の影響を受けた下降流が生じ風速が高まっていたことが考えられる。なお軽井沢測候所は追分の標高 999m に在り、風速観測位置は 3 階建庁舎屋上の観測搭上、地上約 18m である。周囲はカラマツの 20m 以上の高木林であるが、観測の障害を少しでも減らすため、樹冠部がカットされている。軽井沢消防署の風速観測位置は標高 923m に位置する庁舎の屋上である。

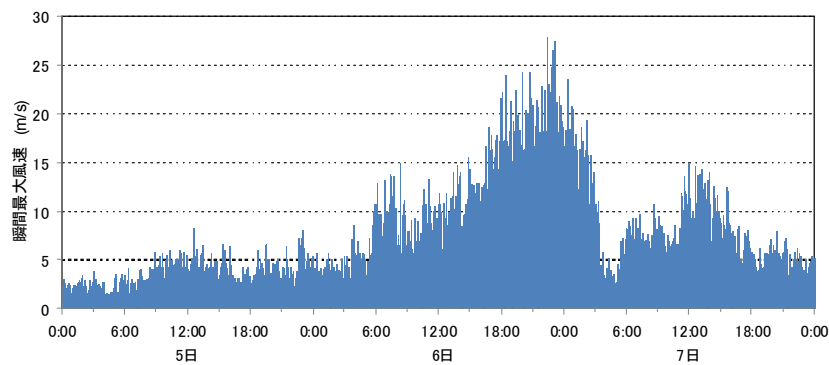


図4 軽井沢測候所における最大瞬間風速の時間変化

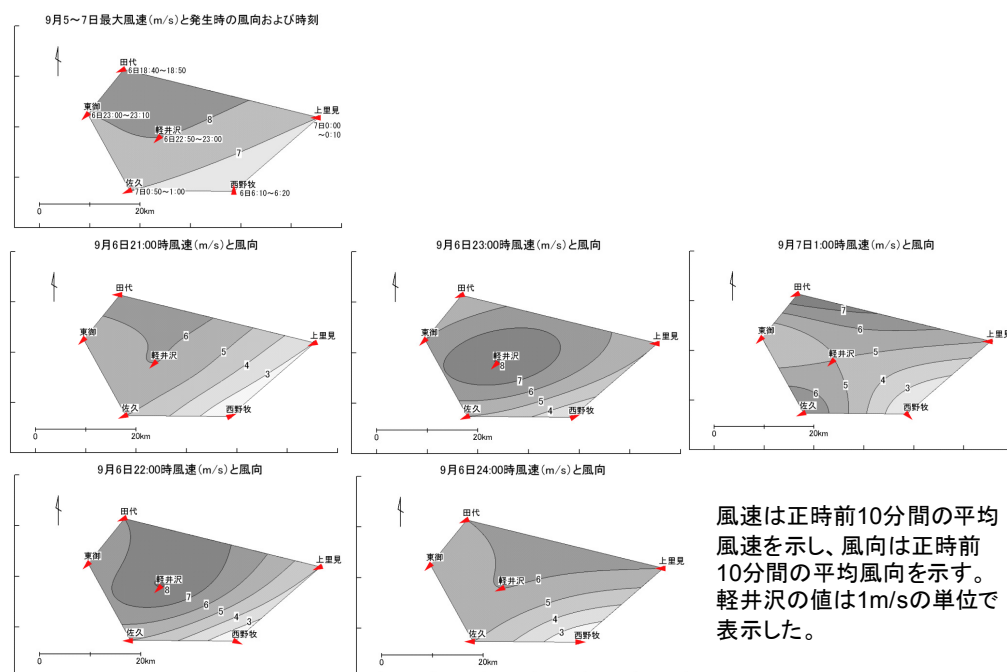


図5 群馬県西部から長野県東部における風向・風速の分布

軽井沢地域の主要な地質は、西の追分地域が追分火砕流堆積物、中央の長倉・千ヶ滝地域と南の茂沢地域が第1小諸軽石流堆積物、南東の南軽井沢・塩沢地域が湖底堆積物、北東の旧軽井沢・小瀬・鶴溜地域が降下火砕物堆積物である。

軽井沢地域の地形は、北が浅間山、南が森泉山、八風山、日暮山、東が愛宕山、矢ヶ崎山、一ノ字山、鼻曲山などの山地で囲まれているが、西は開けている。北西の石尊山周辺は浅間山麓の急斜地である。西の追分地域は浅間山麓の緩斜地で起伏が少ない。中央の長倉・千ヶ滝地域も浅間山麓の緩斜地であるが若干の起伏がある。南東の南軽井沢・塩沢地域は平坦地で起伏が少ない。北東の旧軽井沢・小瀬・鶴溜・離山地域は丘陵～山地、南の茂沢地域は山地でいずれも起伏が多い。

(2) 樹林・土地利用の概要

軽井沢は、江戸時代には、一部を除いて燃料、秣、屋根材などを採集するための原野であったが、明治中期に至って大規模なカラマツを主とする植林事業が行われた。しかしこれによる樹木も戦前の軍需が拡大した時期に大部分が伐採されたという（大井 1974）戦後再び原野あるいは低木林の状態が卓越し（軽井沢サクラソウ会議 2005）、1960年代まで国道18号線を通して中部小学校へ向かう学童は馬取の集落を見通せたし、現在では高木が多い鹿島の森地区を含む町内の至る所から、浅間山が良く見えたという。諸書には雨宮敬次郎による明治期の植林が今日の軽井沢の樹林を形づくったと書かれているが、現在、樹齢100年を超える巨木を見出すことは困難であり、正しい記述とは思われない。米軍が昭和23年に撮影した航空写真を概観すると、原野の広がりが三笠地区の山地、旧ゴルフ場の北方の山地（後の旧軽井沢倶楽部、三笠パークなどの別荘地）、新軽井沢、西端・東端を除く離山、南軽井沢、星野別荘地を除く鶴溜の大部分、追分地区の現在の温水路の一带などに見られる。樹高が20mを越すと見られる高木林は、寺社林、旧軽井沢の別荘地区の一部、離山の西端など一部に限られる。そのほかの林地は、樹高が20m以下、多くは15m以下のようなものである。植林はカラマツを中心に1950年ごろから再開され、特に燃料・化学肥料革命が進んだ1960年代に最盛期を迎えた。植林は林業のためであったが、現在では、このための林地は皆無であり、ほとんど全てが別荘地あるいは将来の別荘用地と化している。

表2 樹木の年輪と直径

地域	樹種	年輪	直径(cm)	伐採・倒木年	倒・立木の別
三井の森	カラマツ	51	54	2003	立
	クワ	40	26	2007	立
	カラマツ	53	40	2003	立
	カラマツ	50	52	2007	立
	カラマツ	47	39	2007	立
鶴溜	ナラ	59	26	2007	倒
	ナラ	50	41	2005	立
	カラマツ	80	64	2007	立
	カラマツ	90	36	2007	倒
	カラマツ	83	38	2007	倒
	カラマツ	51	30	2007	倒
	モミ	27	24	2007	倒
	ミズキ	47	20	2007	立
星野	カラマツ	55	33	2007	倒
	モミ	66	32	2007	立
鹿島の森	アカマツ	75	34	2007	立
	アカマツ	95	32	2007	立
	モミ	77	41	2007	立
	モミ	60	36	2007	立
	ナラ	40		2007	立
旧軽	ニレ	82	45	2007	立
	ミズキ	45	32	2007	立
湯川左岸	カラマツ	58	34	2007	立
	カラマツ	83	28	2007	倒
	カラマツ	60	34	2007	倒
	カラマツ	54	39	2007	立
	モミ	47	33	2007	倒
	カラマツ	51	35	2007	倒
湯川右岸	ニレ	20	27	2007	倒
	カラマツ	23	23	2007	倒
	カラマツ	44	37	2007	倒
	カラマツ	45	34	2007	倒
	カラマツ	47	35	2007	倒
追分1000m道路	ニレ	50	26	2007	立
	カラマツ	39	32	2007	倒
	アカマツ	35	36	2007	倒
	モミ	40	29	2007	立
	モミ	42	40	2007	倒
追分	アカマツ	56		2007	倒
	モミ	39	27	2007	倒
	アカマツ	31	27	2007	倒
	ナラ	28	25	2007	立
	ナラ	32	23	2007	立
	アカマツ	40	32	2007	倒
	アカマツ	37	37	2007	倒
	カラマツ	45		2007	立
千ヶ滝	カラマツ	44	46	2007	立
	クリ	47	60	2007	立
	モミ	52		2007	立
	モミ	90		2007	倒
	カラマツ	54	38	2007	倒
	カラマツ	54	56	2007	倒
	カラマツ	52	36	2007	倒
太郎山	モミ	80	59	2007	倒
	モミ	73	55	2007	倒
平均		53.0	36.4		

倒木調査に当たっては、林木の樹齢を知る必要がある。台風 0709 号により発生した多数の倒木処理によって、また今後の被害を免れるため立木も多くが伐採され、多くの切り株がのこされた。これらの一部、55 本について主に別荘地域で年輪測定を行った。調査地区別の結果を表 2、町内全域の結果を集計した推定発芽年の頻度分布と倒木率を図 6 に示す。測定数が少ないため、地区別の差異は顕著でない。町内全体では、ごく一部が大正期（1912～1926 年）に植林された。大半は昭和以降（1926 年以降）、しかも戦後（1945 年以降）の植林が圧倒的である。植林はピークが 1960 年ごろ、1970 年にはほぼ停止している。これらは、概ね上記の文献、航空写真、伝聞と一致している。

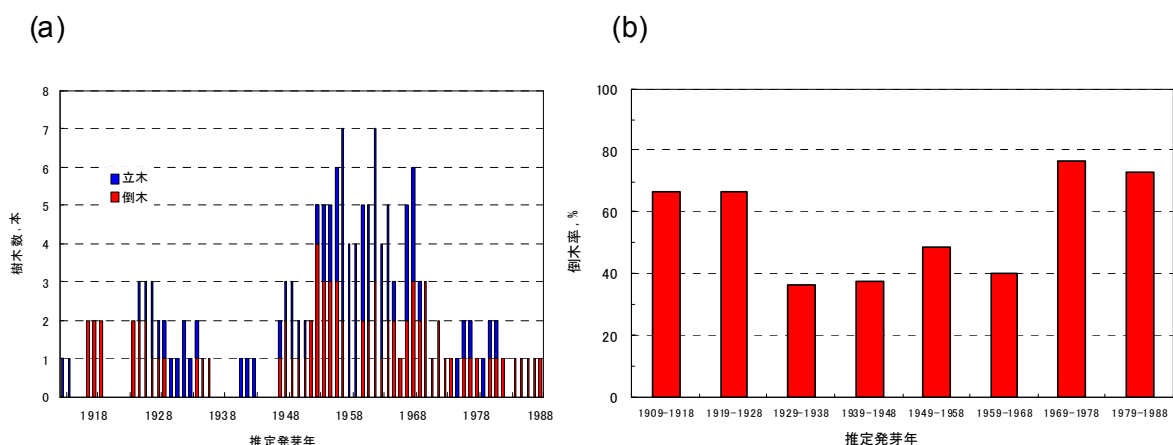


図6 樹木年輪調査による発芽年の頻度分布(a) と倒木率(b)
頻度分布(a)は3年ごとの移動平均、倒木率(b)は10年ごとの集計

別荘地域も別荘あるいは定住家屋が既に建っている敷地と、そうでない土地に分かれる。前者は当然のことながら建物敷地に樹木は存在せず、また庭では庭そのものあるいは建物を明るくするため間伐と類似のことが行われている。その際、下生えの広葉樹が残されることが多いから、針葉樹、広葉樹の混じった混交林に転化する傾向がある。それに対して後者は間伐などの手入れがなされず、痩せたカラマツが密植状態になっていることが多い。

軽井沢町内の土地利用は多様であり、樹林の豊かな林地のみならず、樹林の乏しい居住地、農地、商工業地などが、点在あるいは拡がりをもって分布し、または林地の中に散在している。国道 18 号線や軽井沢バイパスの北側は、林地が多い。林地に対する農地、宅地などの比率は、新旧軽井沢や中軽井沢の市街地を除けば地区毎に大きく異なるとはいえない。国道 18 号線や軽井沢バイパスの南側は土地が平坦化し標高が下がるため、住宅、商用地、農地、工場敷地の比率が高くなっている。

(3)調査方法

1)倒木調査

A.倒木分布

甚大な災害が発生した場合の倒木被害分布調査は、官民の関係機関により撮影された航空写真によって進められるのが定石である。しかし台風 0709 号による災害は甚大とは見なされなかったであろう、倒木を対象とする撮影事業は行われなかったから、軽井沢町内のできるだけ多くの道路を車、自転車、徒歩で辿ることによって目視で調査を行うこととした。軽井沢町内は、例えば 1ha という拡がりで見れば、その中に倒木が皆無という地域は稀である。その意味で全町被害地ともいえるが、ここでは調査の簡便も考え、倒木本数の割合を 2 段階に分けて、倒木率 5%以上～50%未満を「倒木被害林地」とし、また倒木率 50%以上を「激甚倒木被害林地」とした。なお、軽井沢町は、本調査開始後の 2007 年 11 月に航空写真を撮影している。しかし納期は翌年 3 月であり、少なくとも 12 月の段階では委託会社から納入されていない。納入されたとしても課税資料故公開できないとのことであり、活用できる状態になかった。

調査期間は台風直後の有葉期から 2007 年 12 月の落葉期に及んだが、倒木率の判定は道路からの目視のため、見通しの良い落葉期調査では倒木率が大きくなる傾向がある。これらにより倒木率 5%以上の地域は控えめに記載されている可能性があるが、全体の傾向は適切に示されていると考える。

B. 倒木状況

倒木の著しい地域においては、被害状況に対応させて 100m²～1000m² の面積についての樹木調査を行った。100m²程度の面積の調査は、湯川沿岸、鶴溜、太郎山山麓でおこない、1000m²程度の面積の調査は、追分北方地域の針葉樹林、混交林でおこなった。

追分北方地域の針葉樹林では南北方向に長さ 50m のライン（調査測線）を設定し、そのラインを交差して倒れている樹木と、ラインから東方向に幅 20m の帯状の範囲内の立木を平面図に図化した。また、混交林と針葉樹林の水平根測定木周囲および鶴溜の針葉樹林では、調査区域内の樹木の状況について平面図を作成した。樹木の個体調査では、針葉樹林で倒木 6 本、混交林で倒木 2 本について樹高、胸高直径、枝下高、樹冠直径、根鉢深、根鉢直径（図 7）を計測し、そのほか、三井の森、太郎山山麓、湯川河岸でも若干の計測をおこなった。また、追分北方針葉樹林では、倒木 1 本について水平根（図 7）の長さと直径を計測した。

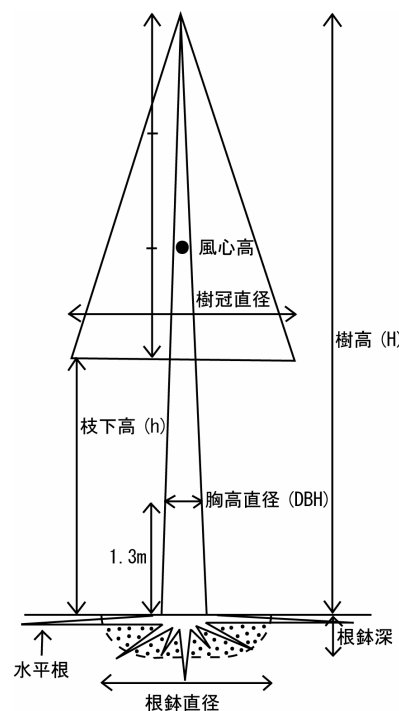


図7 樹木の測定形状

2) 気象および人的被害調査

降水、風速などの気象情報は、主に気象庁の測定データを閲覧・利用したが、他に地域消防署、国土交通省、神津牧場、畜産草地研究所の測定データを収集し、分布および時間変化の解析をした。倒木に関連した軽井沢町の配電線の故障について時間経過の資料を中部電力株式会社より見せていただいた。また周辺地域であるが御代田町域での倒木害・水

害の被害については御代田消防署より閲覧させていただいた。

3)土壌調査

土壌につき、土壌硬度調査、浸透試験および土壌断面の観察を行なった。土壌硬度調査は3種の器具を用いて測定した。(1)山中式土壌硬度計では、円錐状の先端をもつ測定器を土壌断面に対して垂直に押し込み、深さ5cm間隔で測定を行なった。(2)貫入式土壌硬度計(SR - 2型)では、地表面に鉛直に測定器を立て、地表から底面積2cmの円錐状の先端をもつ鋼柱を押し入れ、貫入に伴う土の抵抗を測定した。(3)SH 型貫入試験機では、地表面に鉛直に試験機を立て、地表から底面積490mm²の円錐状の先端をもつ鋼柱をハンマーの自由落下により打ち込み、貫入に伴う土の抵抗を測定、深さ5cm間隔の平均土壌硬度(平均Nd/drop値)として表した。

浸透試験は、円形の枠を地表面から10cm埋め込み、その枠内に14.6Lの水を注ぎ、その水が土壌へ浸透する速さを測定した。

4)過去の倒木調査

倒木は林業の観点からはそれ自体が災害である。しかし軽井沢のような、すでに林業への関心が失われている地域では倒木そのものが注目されることは少ない。顕著な倒木災害が発生しても、調査あるいは報道の焦点は停電や道路の通行止め等の被害である。台風0709号による倒木ですら、軽井沢町による記録は、町道など町管理の施設の被害およびそれを引き起こした倒木の個所数のみであり、民有林や国有林については全くなされていない。過去の倒木についても、地域防災計画書などに記載されている災害記録も、事情は全く同様である。国有林管内についても林野庁による記録は極めて乏しい。顕著な災害についてせいぜい被害面積がhaで示されるのみである。

町民への聞き取りは約20名に試みたが、複数の災害を混同しているなど記憶があいまいであり、後に述べる1959年の台風7号、1982年の台風10号による顕著な倒木災害についても限られた方の談話のみ有益であった。ただ別荘や保養施設などの管理に係わった一部の町民は、自身が倒木処理に係わっただけに貴重な証言を提供してくれた。また意外にも夏期にのみ軽井沢を訪れていた別荘人が、鮮明な記憶を残している。別荘地区の樹林が地元の方々の居住地域に比べて密度、樹高共に大きかったことに加えて、非日常的な場で非日常的な出来事に遭遇したためであろう。しかし情報提供が自分の別荘周辺に限られるうらみがある。

信濃毎日新聞の記事、特に「地方版」蘭の記事が全体を俯瞰する上では最も有効な情報源となった。情報量はページ数に比例するが、1949年のキティ台風の頃は、現在の40ページに対してたった2ページに過ぎず、この場合は軽井沢地域についての被害情報など得るべくもない。時代によって情報量に大きな差がある。

気象情報は主に気象庁のデータによった。雨量については日雨量ならびに10分および1時間最大降水量を公開している気象庁HPより、また連続降雨量については新聞報道より収集した。なお気象庁HPには、1963年以前のデータが掲載されていない。これは軽井沢測候所が中軽井沢から追分に移転し、データの取扱に注意を要するからであろう。(

3. 台風 0709 号による倒木の状況

(1)倒木の概要

台風 0709 号による樹林の変動は、幹折れ、傾斜に比べて根返りが圧倒的であり、90%以上を占めるのではないかと思われる。数少ない幹折れも破断部に腐食、空洞が見られることが多く、多くは樹体が脆弱化している故の特殊例であることがわかる。

倒木は、カラマツが圧倒的多数を占める。あとはアカマツ、モミ、ストロブマツが多く、一部にヒノキが見られる。倒木率はカラマツ、ストロブマツが高く、アカマツ、モミはやや低い感を受けた。広葉樹の倒木は針葉樹に比べて少ないが、シラカバ、ニセアカシヤ、ニレ、ミズキ、ナラなどにも認められる。特に、密植状態である故に、針葉樹と類似の、幹が細長く真っ直ぐ、樹冠が先の方についている樹冠長比の大きな広葉樹に、周囲の針葉樹と変わらない倒木率を示す場合がある。

多数の倒木が発生したが、それによる直撃を受けた家屋は相対的に少ないように見える。建築物が建っている区画では倒木を抑えるようなメカニズムが働いていた可能性がある。

別荘地や国有林などのまとまった林地の外縁に生育する林縁木は、中心部とくらべて生育がよいため樹冠長比が大きくなるなどにより、倒木が相対的に少なくなるとされる。軽井沢においてもそのような傾向が認められるが顕著ではない。

倒木方向は圧倒的に西～西南方向が多い。4.2 で述べるように、夏期の強風は東～東北が圧倒的に多いことに対応していると思われる。

(2)倒木の分布

倒木の分布を図 8 に示す。図中に示した「調査路線」は、居住地域など道路密度の大きな地域について図面の錯綜を避けるためかなり省略している。居住地域においては、倒木が、台風直後に株ごと片づけられる場合も少なくないため、一見して倒木があったと気づかないこともある。被害木の分布は、当然のことながら樹林の少ない地域に少なくなるので、このことを充分加味して倒木分布図を検討する。

被害地は広域に広がるのではなく、島状に散在している。被害地の「島」は概ね 5ha 以下である。被害地と激甚被害地の倒木率には 5%と 50%という大きな差があるが、図 8 から明らかなように両者の面積、出現頻度にそれほどの差があるとはいえない。これは一旦倒木が発生すると島状の区域内で連鎖的に被害が拡大するためと考えられる。被害地のそれぞれの形状は、調査が道路からの観察のみによっているため、奥の様子はわからない場合も少なくないが概ね楕円形状である。

被害地、激甚被害地とも追分原周辺に集中している。1108 年に流下したといわれる追分火砕流分布地域と被害の大きな地域の分布とがオーバーラップしており、追分火砕流分布地域の内側で著しい。なお火砕流の分布は荒牧(1993)によったが、わずかに簡略化した。

被害地の内、湿地ないし地下水位が概ね 40cm より浅いという根拠がある場合に湿地記号を記した。追分原より東側の平坦部では多くの被害地は湿地ないし地下水位の浅い地域(以下、単に湿地と呼ぶ)であることが明瞭である。

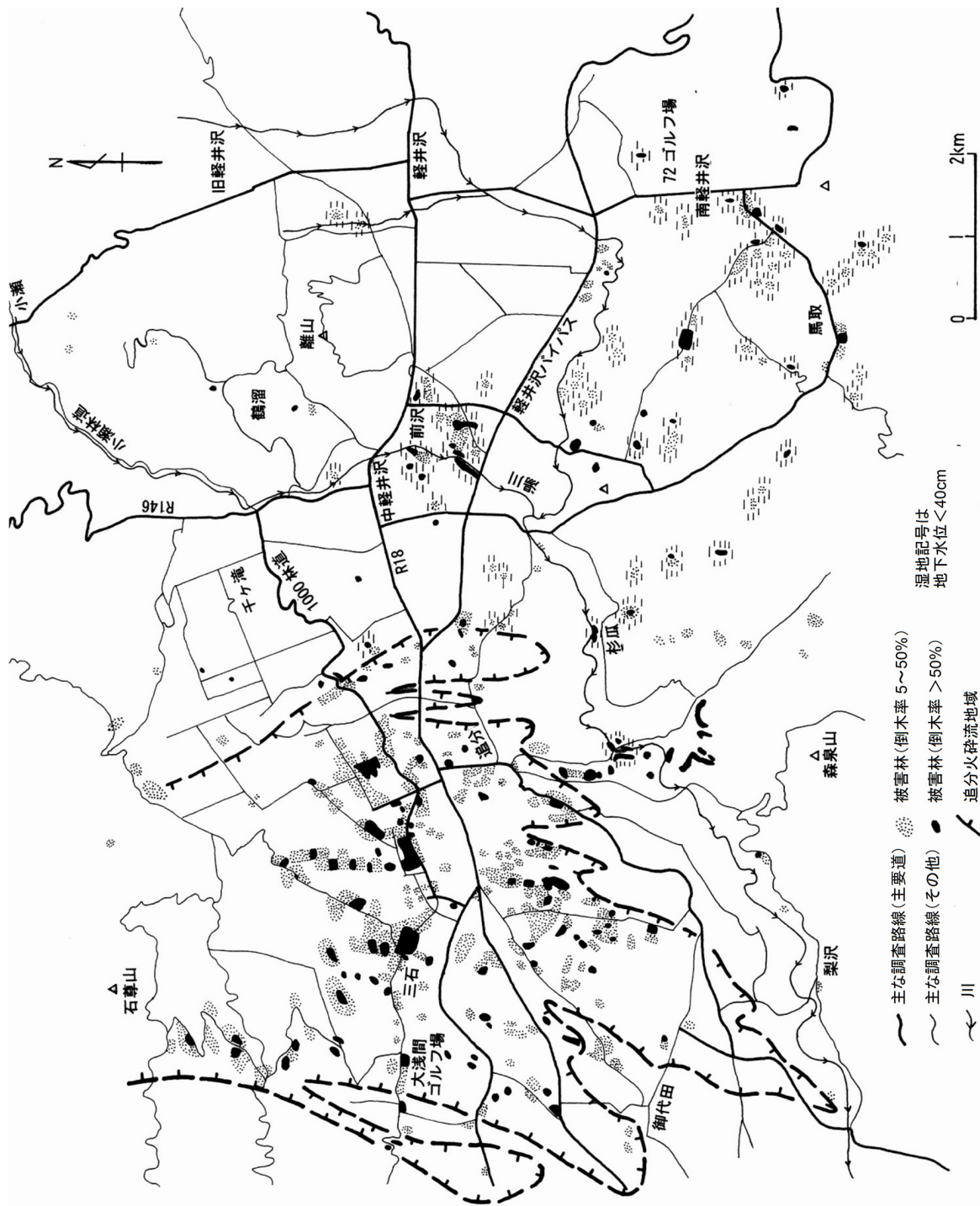


図8 倒木被害の分布図

斜面が風上あるいは風下に位置するか否かで倒木に差が出る可能性が高い。離山は基本的にカラマツの植林地帯であるが、西側の方が手入れが行き届いている感がある。全般に広葉樹が下層木として散在しているが東側の方がやや多い。風上側の東斜面で諸所に倒木を見るが、西側はこれを見つけるのが困難である。ただし西側も麓近くになると、倒木が目に入るようになる。鶴溜も倒木の少ない地区であるが、寶性寺西北の風上斜面で相対的に多い。また標高 1238.5m の三角点西南側斜面の泉ヶ丘、三笠パーク、旧軽井沢倶楽部の各別荘地の急斜面もやや他より多い感がある。一方、碓氷峠から三度山に至る群馬県との県境である稜線は、強風を受けやすい地形と思われるが倒木は顕著でない。これらから考えて、倒木は風上側にやや多い程度というべきであろう。

(3)各地区の倒木状況

林地が一定の割合を占め、倒木の存否、状況の特記できる地域についてのみ、これらを記述する。

1)追分北方地域

A.全体

追分付近において標高 1000m に沿って東西方向にのびる通称「1,000m 道路」の北側は国有林、南側は民有の別荘地区である。北側国有林内の、石尊山へ登るハイキング道から東側約 200m の約 5ha は、倒木率が 50%を超え、台風 0709 号による被害地のなかで最も被害の大きかった地区である（写真 1）。ところが 1000m 道路より南側の別荘地区は、諸所に倒木は見られるものの、倒木率が 5%を超えるところは少なく対照的な状況を示している。道路の北側は 47 年生を中心とするストロブマツ、アカマツの針葉樹林であるのに対し、南側は諸所に別荘、保養所が林間に建つ広葉樹と針葉樹の混交林という差がある。



写真1 追分、1000m林道北の激甚倒木林地

B.針葉樹林

被害の大きかった 1,000m 道路北側、追分北方針葉樹林に調査区域(長さ 50m x 幅 20m)を設定した(以下、調査地点 1)。ここにおける倒木および立木の状況を図 9 に示す。調査面積は 1000m²であり、総樹木本数は 71 本、樹木密度は 710 本/ha である(表 3)。総樹木本数 71 本の内、58 本が倒木(根張り木 51 本、幹折れ木 2 本、傾斜木 5 本)、倒木を免れた無被害木は 13 本である。これを倒木率にすると 81.7%となる(表 3)。倒木方向はおおむね西～西南西方向であり、東～東北東方向の強風により倒木したことが推定される(図 10)。また、倒木の樹種は約 7 割がストロブマツ、約 3 割がアカマツであった(表 4)。

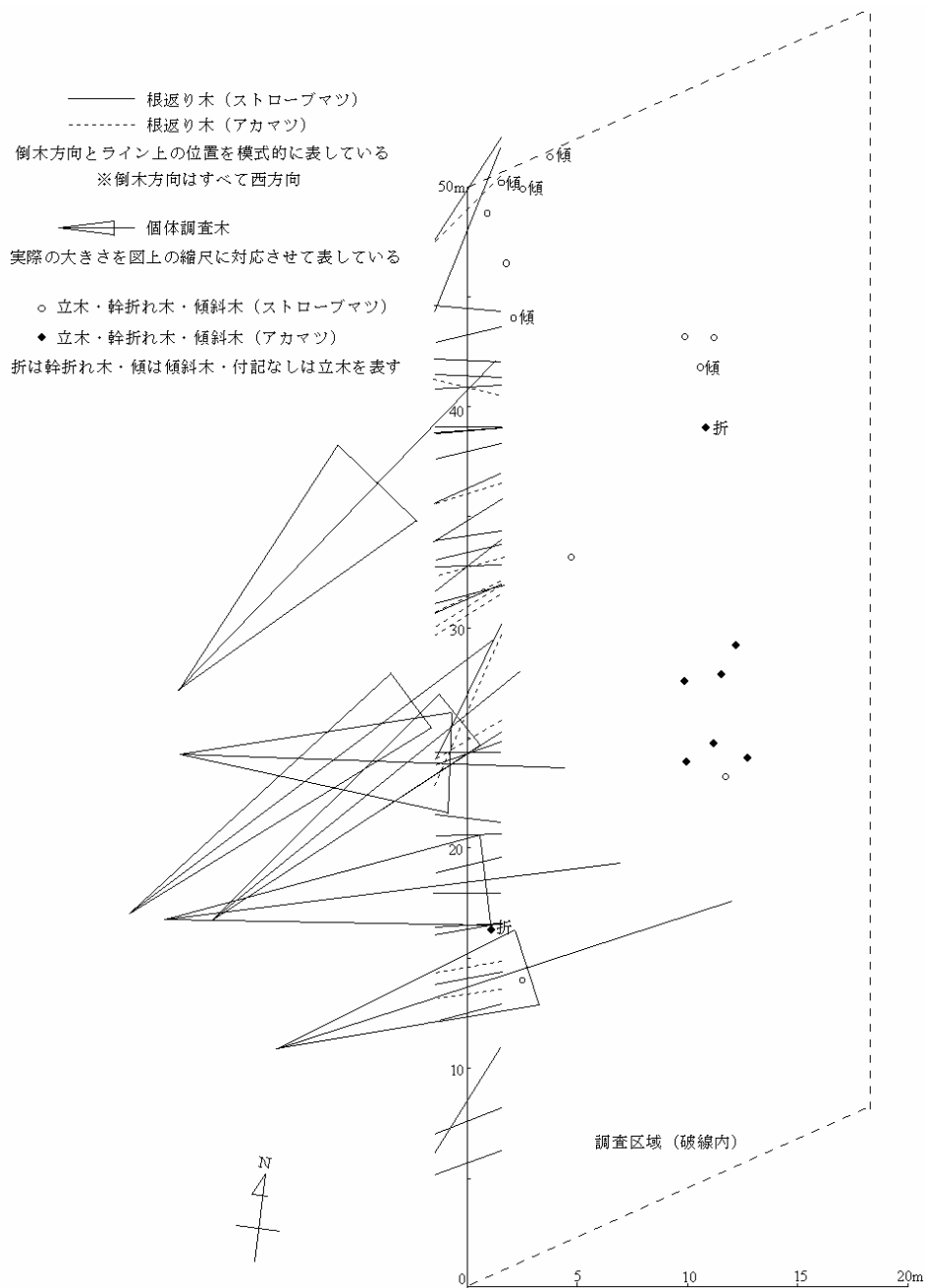


図9 針葉樹林 倒木平面図

倒木したストロブマツ 6 本の平均樹木形状は樹高 19.9m、枝下高 13.8m、樹冠直径 3.9m、胸高直径 0.36m であった（表 5）。また、樹高と胸高直径から求められる樹高胸高直径比は平均 56、樹高と枝下高から求められる樹冠長比は平均 30 となった（表 5）。地下部の根系は、根返りした状態の根系が土壌を保持していた範囲（図 7 の根系部分の破線内）を根鉢として定義し、計測したところ、平均深さが 0.74m、平均直径が 2.31m であった（表 5）。また、根鉢の範囲を超えた根系の最大長を 2、3 のストロブマツで測定したところ、鉛直方向と水平方向の最大値はそれぞれ 1.85m、13m であった。発達の良いストロブマツの根系は深さが 3m に達する（荻住 1979）とされるため、計測をおこなったストロブマツの根系は浅いといえる。全体的な根系の傾向としては鉛直方向への太い根は短い、水平方向への長さは比較的長く、細根は疎生（まばら）である（写真 2）。



写真2 ストロブマツとコナラの根系
（左 ストロブマツ、右 コナラ）

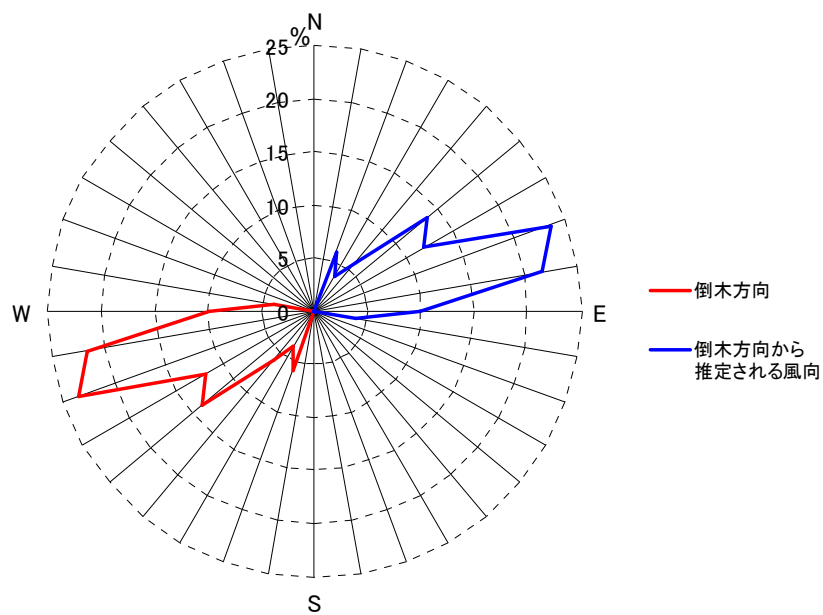


図10 針葉樹林 倒木方位分布

表3 針葉樹林 立木と倒木の本数

	立木	倒木			合計
		根返り木	幹折れ木	傾斜木	
本,数	13	51	2	5	71
本,数	13	58			71
百分率,%	18	82			100
密度,本/ha	130	580			710

表4 針葉樹林 樹種別ライン上倒木数(根返り木)

	ストローブマツ	アカマツ	合計
本,数	35	16	51
百分率,%	68.6	31.4	100

表5 針葉樹林 個体調査木

樹種	状態	樹高 H (m)	枝下高 h (m)	樹冠直径 (m)	胸高直径 DBH(m)	樹高胸高直径比 H/DBH	樹冠長比 (H-h)/H*100	根鉢直径 (m)	根鉢深 (m)
ストローブマツ	根返り	21.7	11.9	3.6	0.37	58.6	45.2	2.30	0.95
ストローブマツ	根返り	20.8	14.7	4.2	0.31	67.1	29.3	1.65	0.70
ストローブマツ	根返り	17.4	12.3	4.6	0.33	52.7	29.3	2.90	0.85
ストローブマツ	根返り	17.9	14.5	3.0	0.35	51.1	19.0	1.70	0.65
ストローブマツ	根返り	20.7	16.1	3.2	0.37	55.9	22.2	2.20	0.80
ストローブマツ	根返り	20.8	13.1	5.1	0.41	50.7	37.0	3.10	0.50
平均	—	19.9	13.8	3.9	0.36	56.0	30.3	2.31	0.74

根返りしたストローブマツ 1 本について水平根の長さと直径を測定した。水平根の直径は、根株からおおよそ 2~3m の距離で急激に減少し、それ以降は緩やかに減少している（図 11）。この測定木周囲の樹木密度は 446 本/ha、平均樹幹距離は約 4.7m である（図 12・表 6）。水平根は平均樹幹距離のおおよそ 1/2 にあたる 2.5m 程度の距離から隣接樹木による影響を強く受けるものと推測される。このことは測定木の水平根直径の減少傾向とおおむね整合的である（図 11）。

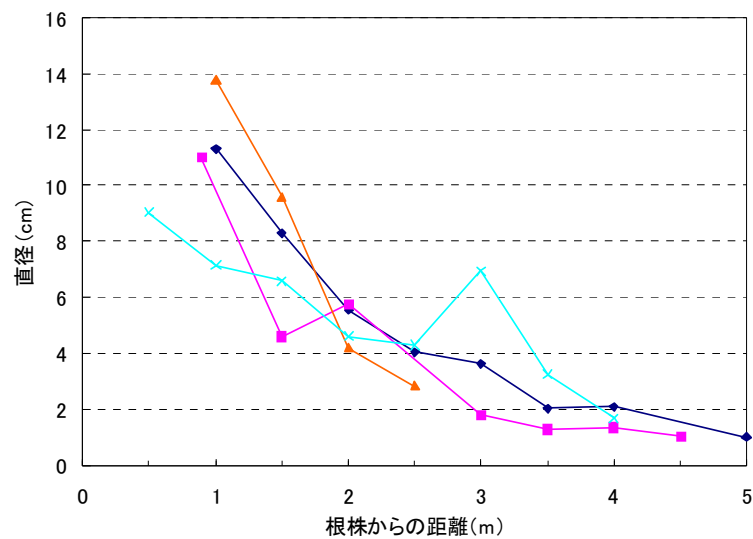


図11 水平根の根直径の変化

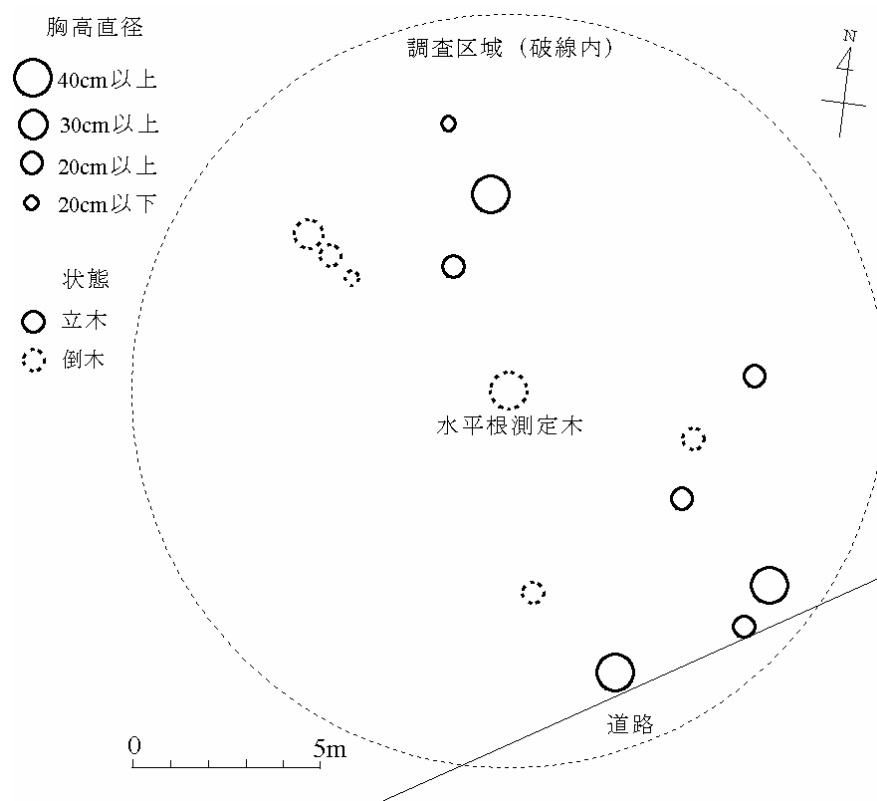


図12 針葉樹林 水平根測定木と周囲の樹木配置

表6 針葉樹林 水平根測定木周囲の立木と倒木の本数

	立木	倒木			合計
		根返り木	幹折れ木	傾斜木	
本数	8	5	0	1	14
本数	8		6		14
百分率,%	57		43		100
密度,本/ha	255		191		446

調査地点1において土壌断面を観察した。深さ0cm～8cmは砂礫質壤土（A層）、8cm～28cmは粘土を含む砂質壤土（B層）があり、28cm以下では粘土、シルトを含む砂礫（C層）が90cm+まで確認された（図13）。この砂礫C層は1108年に噴出したとされる追分火砕流堆積物である（荒牧 1993）。合わせて土壌硬度を測定した。山中式土壌硬度計による測定では、深さ55cmから急激に土壌硬度が増大し、それより下層では若干の減少を挟みながら90cmまで徐々に硬度が増大した（図14）。貫入式土壌硬度計による測定では、深さ20cmから32cmで貫入不可能になることが多く、この層を通過した場合でも45cmで貫入不能となった（図15）。これは深さ20cmから45cmで礫が現れることをあらわし、深さ45cm程から以深には鉛直方向には硬度計の鋼柱がまっすぐに入れないような径数cm以上の礫が存在するためである。

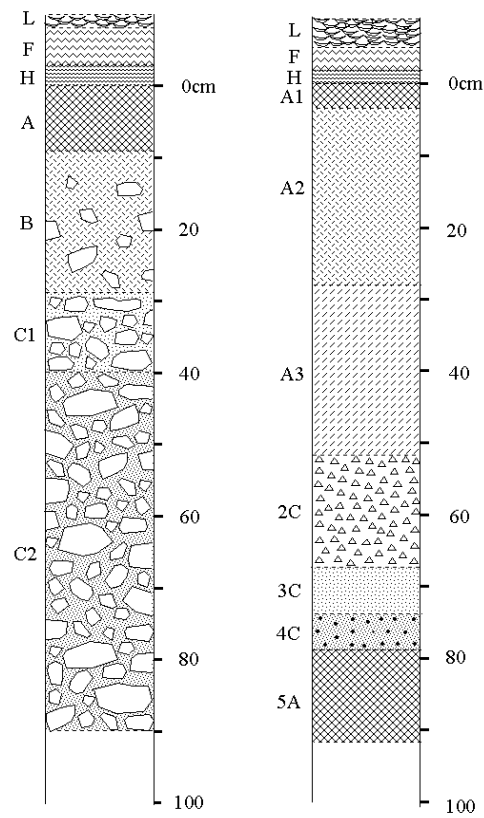


図13 針葉樹林 土壤断面図
(左図:追分火砕流、右図: 第2小諸軽石流)

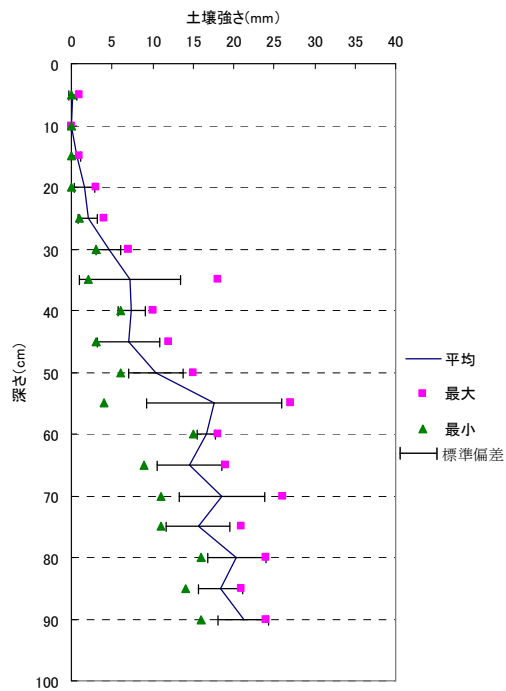


図14 針葉樹林 山中式土壤硬度計計測結果

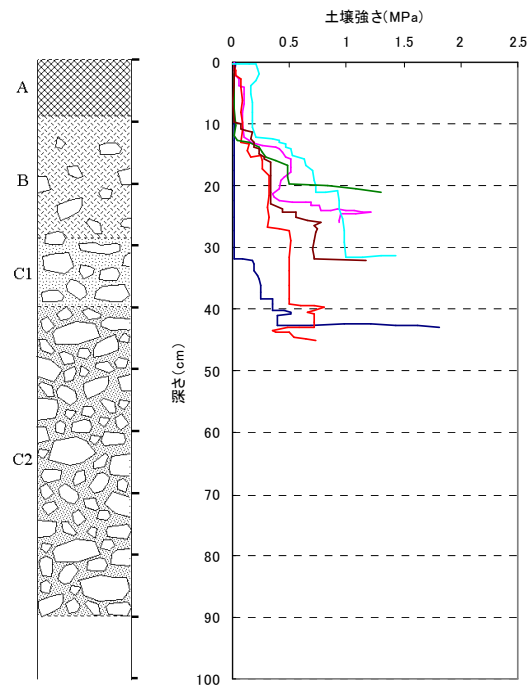


図15 針葉樹林 貫入式土壌硬度計計測結果

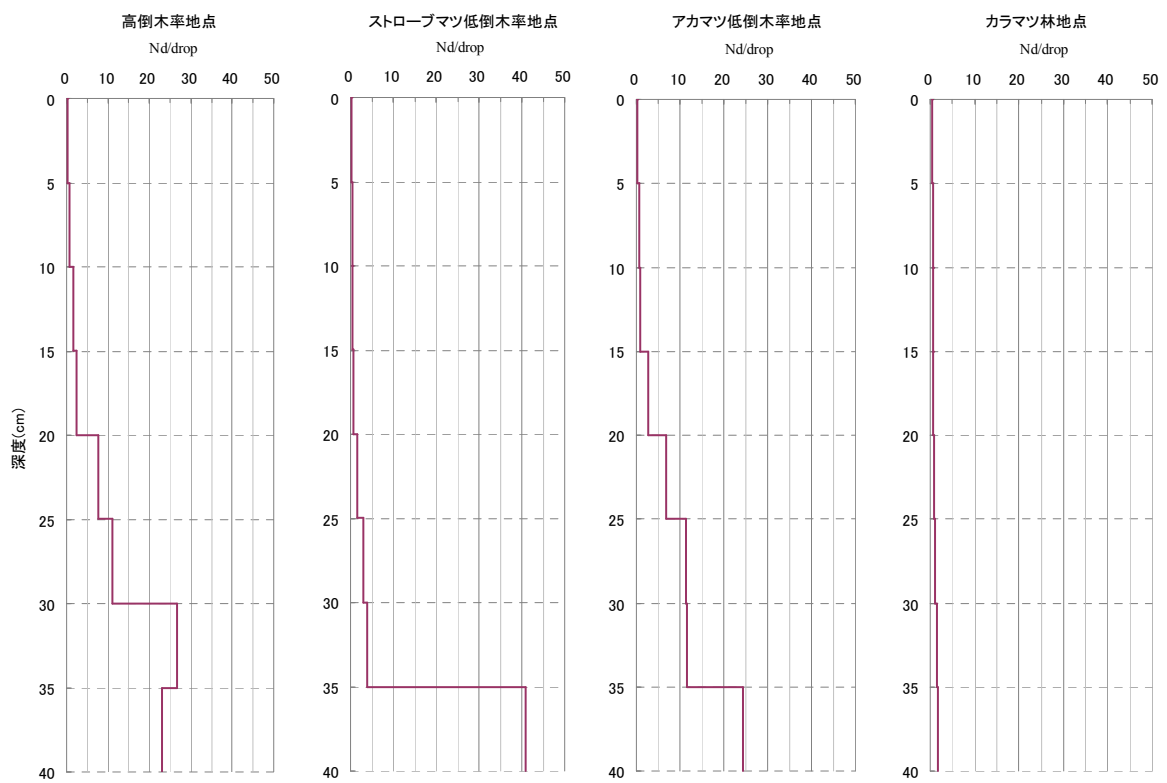


図16 針葉樹林 SH 型貫入試験機計測結果（5cm間隔の平均を示す）

この付近の針葉樹林を高倒木率地点、ストロブマツ低倒木率地点、アカマツ低倒木率地点に分類し、SH 型貫入試験機による土壌硬度の測定を行なった。その結果、この3ヶ所に大きな土壌硬度の差異は見られず、いずれの地点も浅部から高い土壌硬度を示した（図16）。

さらに追分北方針葉樹林と近接しているが異なる地質、すなわち第2小諸軽石流堆積物上の林分として、調査地点1から西北西方に直線距離で約1.7km離れたカラマツ林（以下、調査地点3）において土壌断面の観察と土壌硬度の測定を行なった。土壌断面は深さ0cm～53cmまで黒色腐植層（A層）があり、それより下層には軽石層（53cm～67cm）、火山砂層（67cm～79cm）となっている（図13）。これらの軽石層ならびに火山砂層は第2小諸軽石流堆積物（荒牧 1993）と考えられる。深さ79cmより深部は埋没腐植層となり、92cm+まで確認された。土壌硬度は深部まで低く、地質が異なることによる土壌硬度の違いが明瞭に表れた。

地表の浸透能測定を調査地点1の3ヶ所（高倒木率地点、ストロブマツ低倒木率地点、アカマツ低倒木率地点）および調査地点3で行なった。その結果、調査地点1の3ヶ所に大きな透水性の差異は見られず、いずれも大きな透水性を示した（表7）。一方、調査地点3は調査地点1に比べて透水性が小さい結果となった。

表7 針葉樹林 透水試験結果

調査地点	地質	ベーシックインテイクレイト (mm/h)	1時間浸透量 (mm)
ストロブマツ・アカマツ高倒木率地点	追分火砕流堆積物	1481	1937
ストロブマツ低倒木率地点	追分火砕流堆積物	-	6233
アカマツ低倒木率地点	追分火砕流堆積物	2132	2106
カラマツ低倒木率地点	小諸第2軽石流堆積物	279	506

C.混交林

被害の小さかった 1,000m 道路南側の混交林に半径 10m の円をなす調査区域を設定した（以下、調査地点 2）。この区域における倒木および立木の状況を図 17 に示す。調査面積は 314m²、総樹木本数は 27 本であり、樹木密度は 860 本/ha となる（表 8）。総樹木本数 27 本の内、立木は 24 本、倒木は 3 本（根返り木 2 本、傾斜木 1 本）であった（表 8）。これを倒木率にすると約 11%となり、隣接する針葉樹林の倒木率（82%）に比べて顕著に少ない（表 3）。調査区はリョウブ、アカマツ、コナラ、ニレなど多数の樹種で構成されているが、この内コナラが根返りとなった（図 17）。根返りとなったコナラ 2 本の樹高は 23.5m と 15.0m、胸高直径は 0.27m と 0.24m である（表 9）。なお、林分内の立木の胸高直径はいずれもこのコナラの胸高直径と同等か小さい。また、根返りとなったコナラの根鉢は、深さが 0.60m と 0.85m、直径が 2.35m と 2.70m であった。コナラの根系は細根が密生しているものの太い根は乏しく、また、鉛直および水平方向への長さも短かった（写真 2）。

土壌硬度は、貫入式土壌硬度計によると深さ約 20cm～40cm で貫入が不能となり、調査地点 1 とほぼ同様である（図 18）。この深度で貫入不能となる原因は、土壌断面図（図 19）

からわかるように多くの礫が含まれているためである。山中式土壌硬度計では深さ 25cm から土壌硬度が上昇し、深さ 70cm で根系発達に阻害の有ると判断される値（指標硬度 24mm）に達した（図 20）。この結果から比較的浅部より根系発達に対する阻害があるものと推測される。

針葉樹林（調査地点 1）と混交林（調査地点 2）において両林分の土壌硬度に大きな差異は無かった（図 14、図 20）。そのため、土壌硬度の違いによる両林分の根系発達の阻害程度に大きな差異は無かったものと推測される。しかし、実際には針葉樹林において著しい倒木が発生し、混交林ではわずかな倒木の発生にとどまった（表 3、表 8）。このことから、両林分での倒木率の著しい差異には、土壌条件よりも林分条件が大きく影響しているものと考えられる。

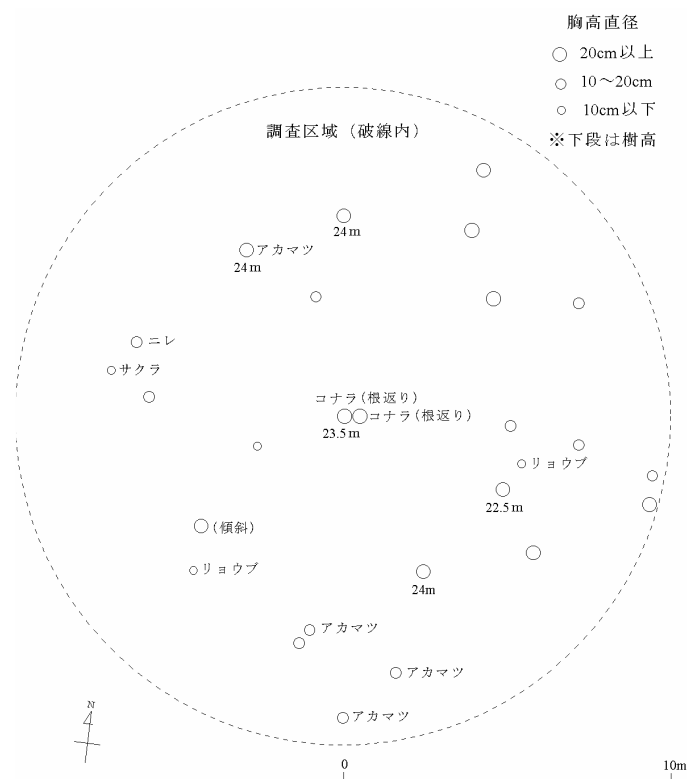


図17 混交林 倒木平面図

表8 混交林 立木と倒木の本数

	立木	倒木			合計
		根返り木	幹折れ木	傾斜木	
本数	24	2	0	1	27
本数	24		3		27
百分率,%	89		11		100
密度,本/ha	764		96		860

表9 混交林 個体調査木

樹種	状態	樹高 H (m)	枝下高 h (m)	樹冠直径 (m)	胸高直径 DBH(m)	樹高胸高直径比 H/DBH	樹冠長比 (H-h)/H*100	根鉢直径 (m)	根鉢深 (m)
コナラ	根返り	23.5	5.1	9.0	0.27	87.0	78.3	2.70	0.85
コナラ	根返り	15.0	3.1	8.2	0.24	62.5	79.3	2.35	0.60

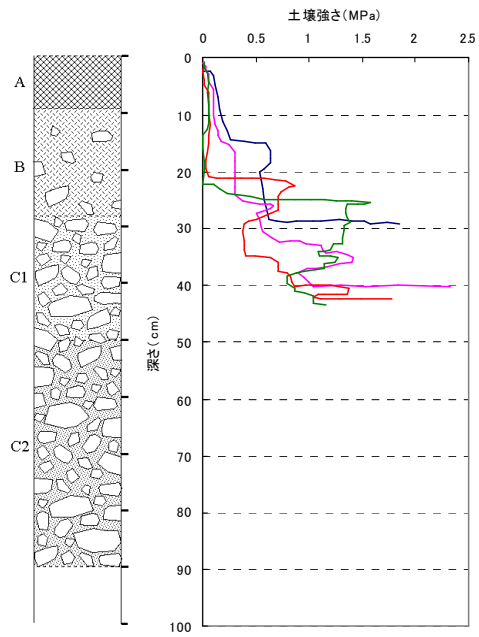


図18 混交林 貫入式土壌硬度計計測結果

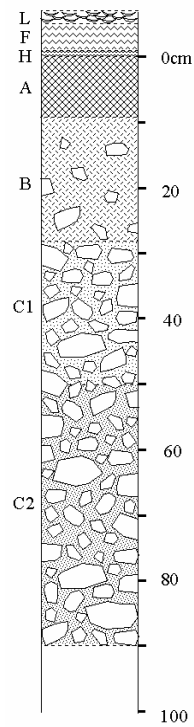


図19 混交林 土壌断面図

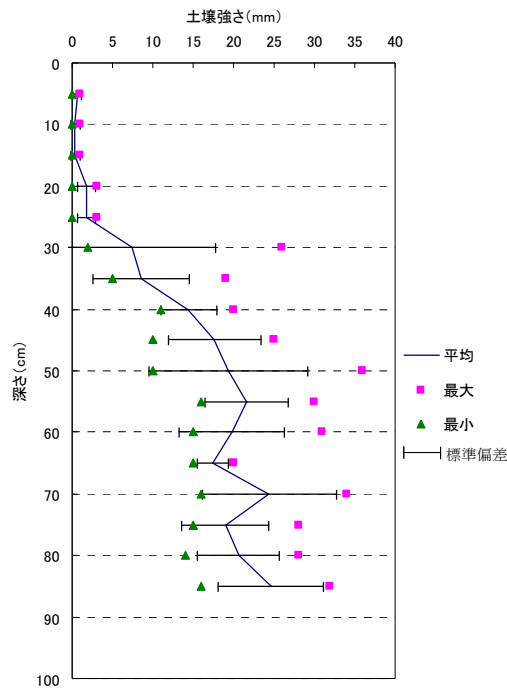


図20 混交林 山中式土壌硬度計計測結果

過去の倒木調査により針葉樹は耐風性が弱く、広葉樹は耐風性が強いことが経験的にわかっているが、その要因は根系あるいは樹形などの特性が針葉樹と広葉樹で異なっているためであると考えられる。しかし、今回の調査では針葉樹のストロームツと広葉樹のコナラでは、根鉢の大きさに顕著な相違は見られなかった（表 5、表 9、写真 2）。一方、樹形では針葉樹のストロームツでは1本の幹が根元から先端まで鉛直に伸びた形状であるのに対して、広葉樹の幹は数本に分岐していることが多い（図 21）。主要な幹が1本のストロームツでは風圧は分散されず、揺れを相殺する機構が働かない。一方、幹が数本に分かれた広葉樹では風圧が分散・低減され、揺れを相殺し、耐風性を高めている可能性がある。

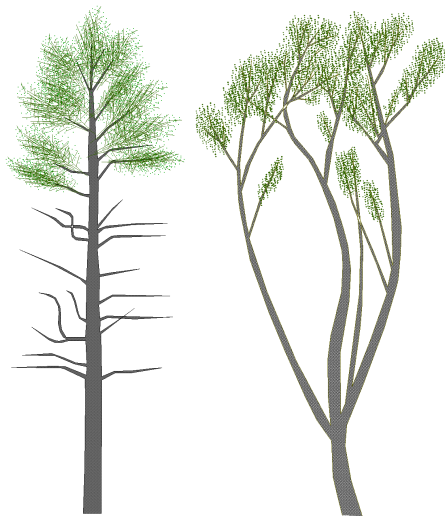


図21 針葉樹(ストロームツ)と広葉樹(コナラ)の樹形

2) 太郎山山麓

太郎山山麓は小川が集中する湿地帯である。しかし別荘樹林の管理が良いためか倒木がそれほど目立つわけではない。その一角の沼田地籍に興味深い倒木が見られたので写真 3、図 22 に示す。3 本のヒノキの根は横方向につながり、約 5m の広がりには達するが、厚みは 40cm 程度にすぎない。写真左の自転車の前輪が水面に反射していることからわかるように、根返りの跡には泉が湧き出ている。このような地下水位が浅い所では根は下方に伸びることが出来ずに側方に拡がり、近接する樹木の根同士が絡まり合ったものであろう。



3本の倒木の根系を側方から見たスケッチ図。根系から樹冠の方向が紙面の表から裏の方向。1, 2, 3: 倒木樹幹の位置。
根系の板状体が矢印の反対方向に右上からずり下がっている。
1. L=21m ϕ =49cm、 2. L=21m ϕ =35cm、 3. L=21m ϕ =34cm

図22 ヒノキ根系の板状体



写真3 ヒノキの倒木と根系の板状体

かつて小出（1955）は、「表層崩壊は板状の根系層が斜面から剥がれ落ちる現象」として、根系よりなるマットを「板状体」と唱えたことに倣い、湿地の重なり合った根系に対して板状体と呼ぶことにする。大きな板状体を観察できるケースは少ないが、これは根返りと同時にバラバラになるためであって、実際には一般的な現象ではないと思われる。板状体を形成したため共倒れを引き起こし、また背後の山地斜面から排出された地中水が土壌と根系との結合力を低下させたことによって倒木が生じた可能性が推定される。

3) 軽井沢東南方～国道 18 号バイパス

ここで記述する地区は、しなの鉄道中軽井沢駅の東南 0.5～1.5km に広がる、国道 18 号バイパス、塩沢通り、しなの鉄道に囲まれた字名：前沢、大谷地、谷地上、向原、河原、中ノ沢、石橋、関、反目などの湯川左右岸である。河畔公園、別荘地などのカラマツを主体とする林地が拵がり、人口の比較的多い地域の中では、追分南西から温水路付近に至る地域と共に、倒木被害の多い代表的な地域であり、激甚被害も各所に見られる（写真 4）。字名からも伺えるように地下水位の非常に高い地域である。数十 cm 掘っただけで現れる地下水涵養の池や自噴泉が散在している。湯川河岸における貫入式土壌硬度計計測結果を図 23 に示す。土壌硬度は深さ 70cm 弱まで他地域と比較して低い、深さ 20～50cm にかけて上昇がみられる。深さ 50cm より深部では硬度が減少するが、深さ 70cm 弱で急激に上昇する。



写真4 松並木通りの倒木

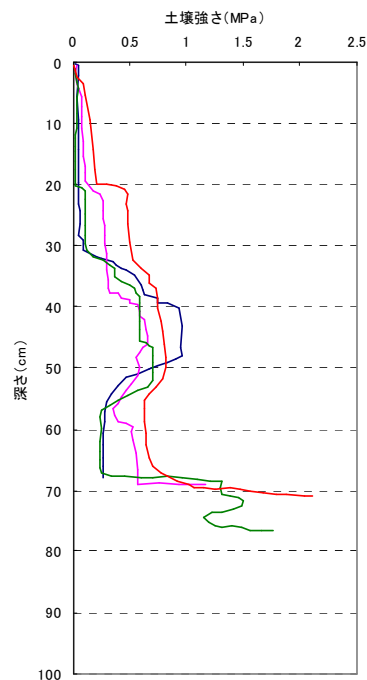
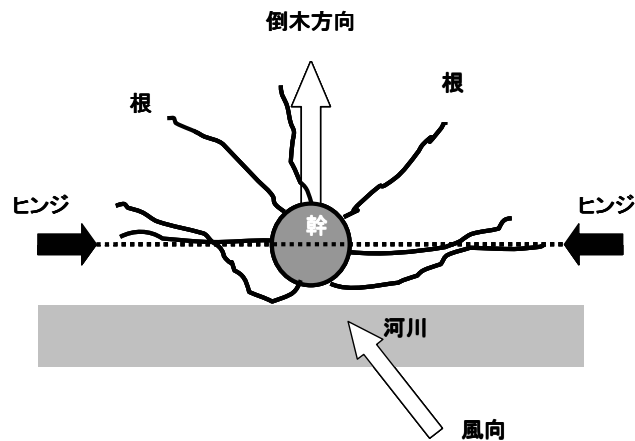


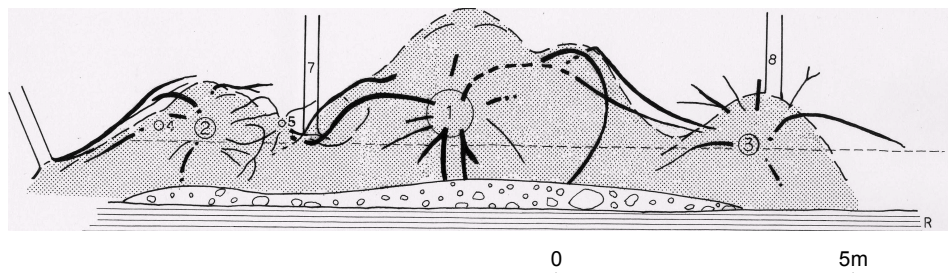
図23 湯川河岸 貫入式土壌硬度計計測結果

別荘や一般住家が既に建ち、庭木の間引きがなされている区画では倒木が少なく、一方、別荘用地のまま放置されている区画は倒木が多く、倒木率が50%を超えるところも少なくない。倒木9本（モミ、ニレ各1本、他はカラマツ）の年輪を数えたところ、平均値46.7を示した。一方、倒木しなかった樹木の年輪観察は3件（ミズキ1本、カラマツ2本）に限られたが、平均値は52.5であった。樹齢と倒木の相関を示す結果は得られなかった。倒木は圧倒的に右岸河畔で数多く発生している。湯川から1～2m離れた倒木の根を調べると、一旦、河側に伸びようとした根は川に阻まれ、内陸側に回り込んだ形状をしている（図24）。すなわち幹の根元から放射状に伸びるはずの根が、川側だけ存在しない状態である。したがって川側から大きな風圧を受けると、容易に根返りしてしまう。そして隣接樹木の根が絡み合い、さらに枝が互いに干渉し合ってドミノ倒し状の倒木を起こし、右岸側の被害拡大につながった。なお強風の風向は東～東北であったが、川畔直近の樹木は川と直交する西北側に倒れている。これは、樹木中心から川の上流、下流方向に伸びる根がヒンジとして作用した結果である。岸から3～4m入った樹木は風向通り西～西南に倒木している（図25）。該当地区より上流側あるいは下流側は、川畔が段丘となっており住宅地や畑地であるから樹木が少なく、したがって被害は目立たない。



樹体と河川を上空から見たスケッチ図

図24 河川脇の根系と倒木方向



T. 段丘(氾濫原)

R. 川

1.ニレ、L=22m、 ϕ =47cm、倒伏方向N45° W

2.ミズキ ϕ =35cm、倒伏方向N40° W

3.モミ、 ϕ =25cm、倒伏方向N45° W

4.モミ、 ϕ =12cm

5.ニレ、 ϕ =11cm

7.モミ、 ϕ =35cm

8.モミ、 ϕ =35cm

湯川方向S50° W、岸より3~4m内側での倒伏の一般方向はS45° W~S80° W

図25 湯川右岸の倒木の根系

4)千ヶ滝地域、鶴溜地域、小瀬地域

これらの地域は浅間火山の東南にあたるため、降下火砕物、すなわち火山灰や軽石層が厚く堆積する地域である。地質と相まってゆるやかに傾斜する丘陵～山地であることから、地下水位は比較的深いと考えられる。倒木被害は比較的軽微であった。

千ヶ滝の西区、中区、東区の全域にわたってカラマツと広葉樹の混交林である。また別荘が既に建ち、放置されたままの荒れた林地は少ない。倒木率が5%に及ぶ林地は極めて限定的であり、被害は軽微であった。特に北側は標高が高いにもかかわらず少なく、南側でやや多い傾向が認められた。千ヶ滝区は、浅間の仏岩期の溶岩台地といわれ、以降の火山灰、軽石層などが厚く堆積している。また傾斜地であるだけに地下水位も一般に低いと思われる。

鶴溜は 10～20° 程度の斜面がゆるやかに起伏する地域である。カラマツを主体とし、ニレ、ミズキ、アカマツ、クワ、クリなどの広葉樹が混交している。カラマツは 50～60 年生、広葉樹はそれより若干若い。この地域は軽井沢の中では倒木が少なく、有葉期にはドライブしても倒木があまり目に入らないくらいである。ただし三井の森の一部にカラマツおよびアカマツが集中的に重なって倒木している区画がある（図 26）。この区画 997m²における総樹木本数は 48 本、樹木密度は 481 本/ha となる（表 10）。総樹木本数 48 本の内、立木は 34 本、倒木は 14 本（根返り木 6 本、幹折れ木 5、傾斜木 3 本）であった。これを倒木率にすると約 29%となる（表 10）。根返りしたカラマツ 2 本の樹高胸高直径比は 70 と 72 であり、追分針葉樹林のストロブマツや太郎山山麓のヒノキよりも若干高い値となっている（表 11）。倒木は樹体が同じ方向にそろって重なりながら倒れていることからドミノ倒し状の倒木が発生した可能性がある。この地域の土壌は、深さ 0cm～4cm に腐植質壤土（A 層）、4cm～22cm まで火山灰質砂壤土（BC 層）、22cm～70cm までが軽石層（2C 層）、それ以下 70cm～82cm までが埋没黒ボク土（3A 層）、82cm～は軽石層（3C 層）である。貫入式土壌硬度計による調査では、2C 層から硬度が上昇し、硬度の高い状態が深さ約 60～75cm の 2C 層の下部または 3A 層の上面まで続く（図 27）。3A 層では硬度が低下するが、3C 層で再び硬度が上昇する。

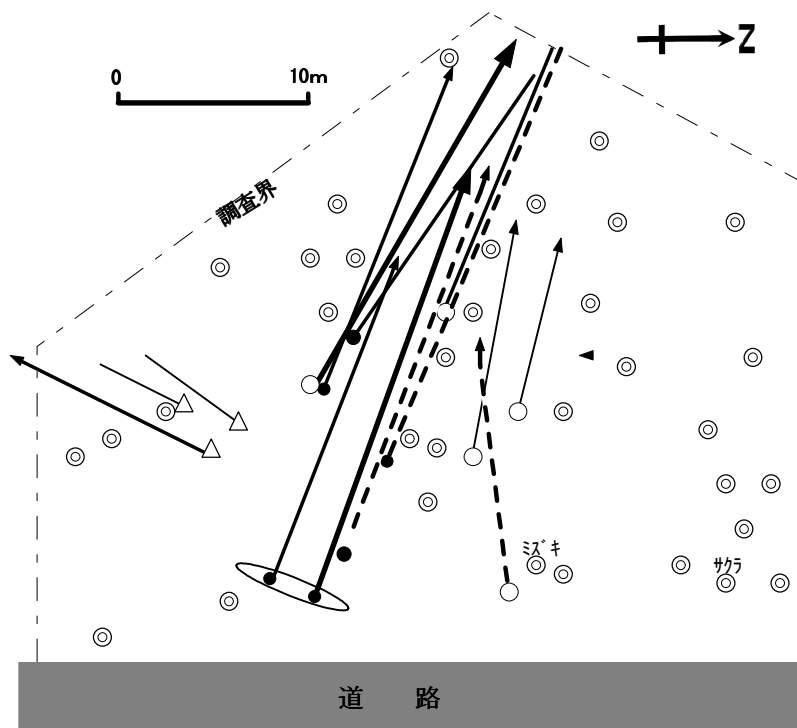


図26 三井の森ドミノ倒し状倒木平面図

◎立木(付記なき場合カラマツ) ●根返り木 ○幹折れ木 △傾斜木
 倒木方向と樹種 実線:カラマツ 破線:アカマツ
 倒木後の樹幹の切断 矢印あり:切断なし 矢印なし:切断あり
 ○ 板状体

表10 三井の森 立木と倒木の本数

	立木	倒木			合計
		根返り木	幹折れ木	傾斜木	
本数	34	6	5	3	48
本数	34	14			48
百分率,%	71	29			100
密度,本/ha	341	140			481

表11 軽井沢地域における倒木の樹種・樹体の形状

地区	樹種	樹高 H (m)	胸高直径 DBH (m)	樹高胸高直径比 H/DBH	樹木密度 (本/ha)	倒木率 (%)
三井の森	カラマツ	18.1	0.25	72	481	29
	カラマツ	24.4	0.35	70		
	平均	21.3	0.30	71		
太郎山山麓	ヒノキ	21.0	0.49	43	—	—
	ヒノキ	21.0	0.35	60		
	ヒノキ	21.0	0.34	62		
	平均	21.0	0.39	55		
追分針葉樹林	ストロブマツ	22.2	0.35	63	710	82
	ストロブマツ	21.7	0.37	59		
	ストロブマツ	20.8	0.31	67		
	ストロブマツ	17.4	0.33	53		
	ストロブマツ	17.9	0.35	51		
	ストロブマツ	20.7	0.37	56		
	ストロブマツ	20.8	0.41	51		
	平均	20.2	0.36	57		
追分混交林	コナラ	23.5	0.27	87	860	11
	コナラ	15.0	0.24	63		
	平均	19.3	0.26	75		
湯川河岸	ニレ	22.0	0.47	47	—	—

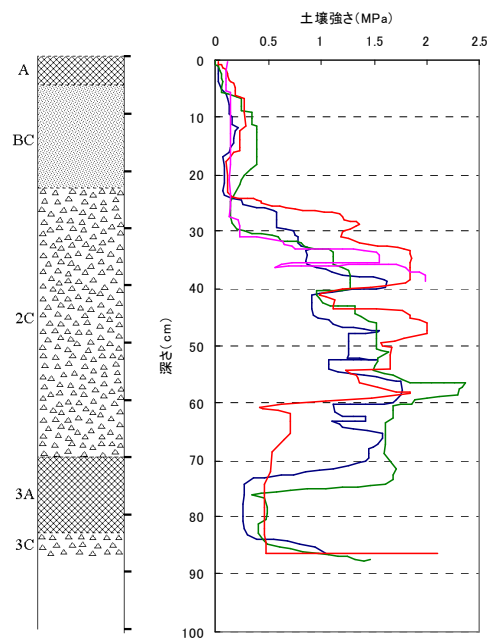


図27 三井の森ドミノ倒し状倒木地区 貫入式土壌硬度計計測結果

樹高 24m、胸高直径 35cm のカラマツの根を観察すると、一部は軽石層を貫き、地表下 1.2m に及んでいる。同様の土壌断面を持つ別の個所でシラカバやミズキの根返りを観察できたが、この場合は軽石層上面で根の侵入は止まっていた。この地域は一区画 1,000m² の別荘地域であり、この区画を除いて既に別荘が建っている。すなわち未建築の区画に限り集中的な倒木が発生したことになる。樹木相互の間隔は 2～5m 程度、それに対し、別荘の建っている庭のそれは 3～6m 程度であり、両者の樹木密度に 1.5～2 倍の差がある。また別荘が建っている土地では建物の上空が開けており、樹幹長比が大きい傾向がある。

小瀬林道周辺、小瀬以東、以北はほとんどが国有林地帯であり 20～60 年生カラマツの人工林を主とし、河畔を含む諸処に広葉樹が卓越する自然林が分布している。この地域は倒木が軽井沢地域で最も少ない。ただし 15～20 年生のカラマツ林分で傾斜が目立ち、一部が根返りしている。浅間火山の降下火砕物が最も厚く堆積し、表層近くは 1108 年、1783 年に噴出した 1m 以上の軽石層が覆っている。そのため透水性が高く、湿地とは対極をなしている。樹根は 1m 以上の深さまで食い込んでいる。

これらの地域では、根は他と比べて深くに侵入しやすかったとはいえ、火山灰や軽石層の強度は弱く、根―地盤系の転倒に抗する力が大きいとは言い難い。

5) 南軽井沢一帯

この地域は元来、広大な湿地であった。現在では 2/3 以上が晴山、72 ゴルフ場、プリンスホテル敷地などの芝生で占められ、主にアカマツ、一部カラマツがコース相互の間などに短線状（島状）に残っている。したがって樹木密度は軽井沢で最も小さい地区の一つであるが、倒木率は高く 15～20%になったのではないと思われる。

ゴルフ場、ホテル用地、商業地以外の林地については、放置されたカラマツ林が多い。ここでは倒木が目立ち、特に「治安の礎」の東北側は、倒木率が優に 50%を超え、1,000m 林道と石尊山登山口の交点近くに次ぐ激甚被害地区であった（写真 5）。



写真5 「治安の礎」東北側の被害

軽井沢駅の南南西約 2km の雨宮新田付近は湿地上の 25 年生カラマツ林である。台風 0709 号では特に顕著な被害を受けなかったが、これまで伐採適期を待たない内に風害で幾度となく倒れてきたという。

6) 茂沢付近など急傾斜地

茂沢付近で激甚被害が発生している。これは小諸軽石流よりなる急斜面の崩壊に伴う倒木である。同軽石流上には厚さ 0.5～1.5m の火山灰質の土壌が乗り、樹木の根はその部分内にのみに張っている。同様の現象は、八風の里別荘地の上部、妙義荒船林道周辺などに見られる。斜面の横断形が凹型のところに崩壊が比較的多く発生している。この種の倒木については長野県林務部（2007）から報告されているので、これ以上の記述を省略する。

(4) 倒木の時間経過

倒木による軽井沢町における電力線の断線の情報は、刻々中部電力佐久営業所に伝えられた。それによると断線は 6 日 7 時 30 分より愛宕、レイクニュータウン、南平台、矢ヶ崎、南ヶ原、南原、千ヶ滝などで発生し始めている。風速は、同日 6 時、7 時になり初めてそれぞれ 3.5m、3.2m と 3m 台となり、その後、23 時まで、多少の上下を繰り返しながらも、着実に増大している。最大瞬間風速は同日 22 時過ぎ（図 4）であるから、12 時間以上前から倒木が発生したことになる。この初期の倒木は、降雨強度の最大値 33.5mm/h が生じた 6 日 6 時の約 1 時間後である。

電力線はネットワークを構成しており、1 ヶ所の断線が配電線の故障とはならず、ネットワークが破壊されて初めて配電線故障となる。中部電力佐久営業所が記録する配電線故障の件数は 6 日 14 時台から発生しているが（図 28）、この時点でも最大瞬間風速の 8 時間前で、配電線故障を引き起こした倒木被害は、風速の小さい時点であるが降雨の大きな時点から発生している。

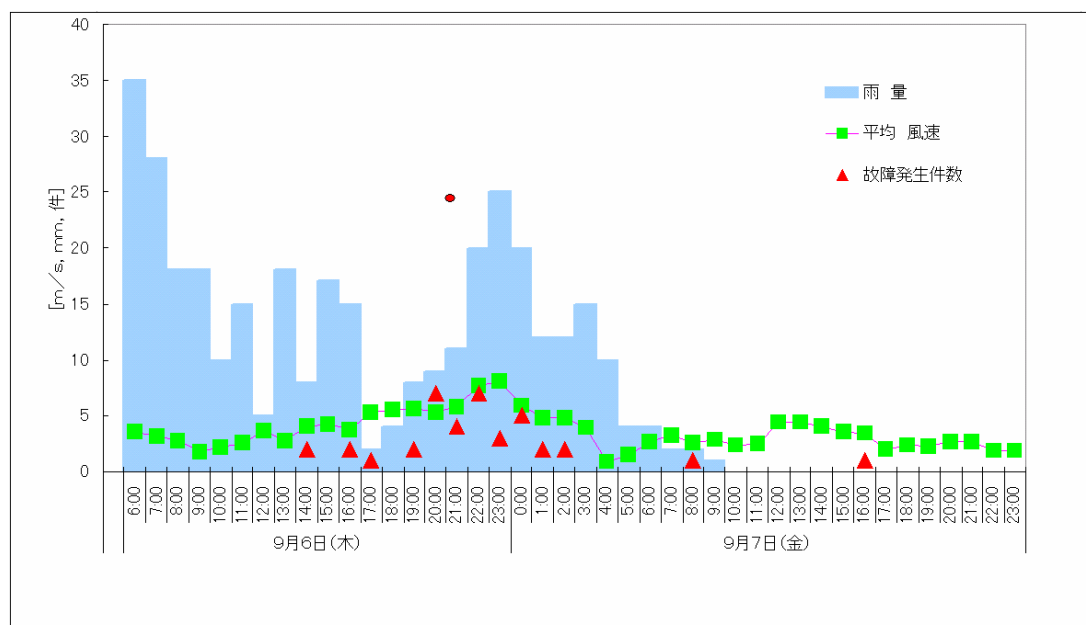


図28 軽井沢町における風速、雨量と配電線故障発生時刻
中部電力佐久営業所資料

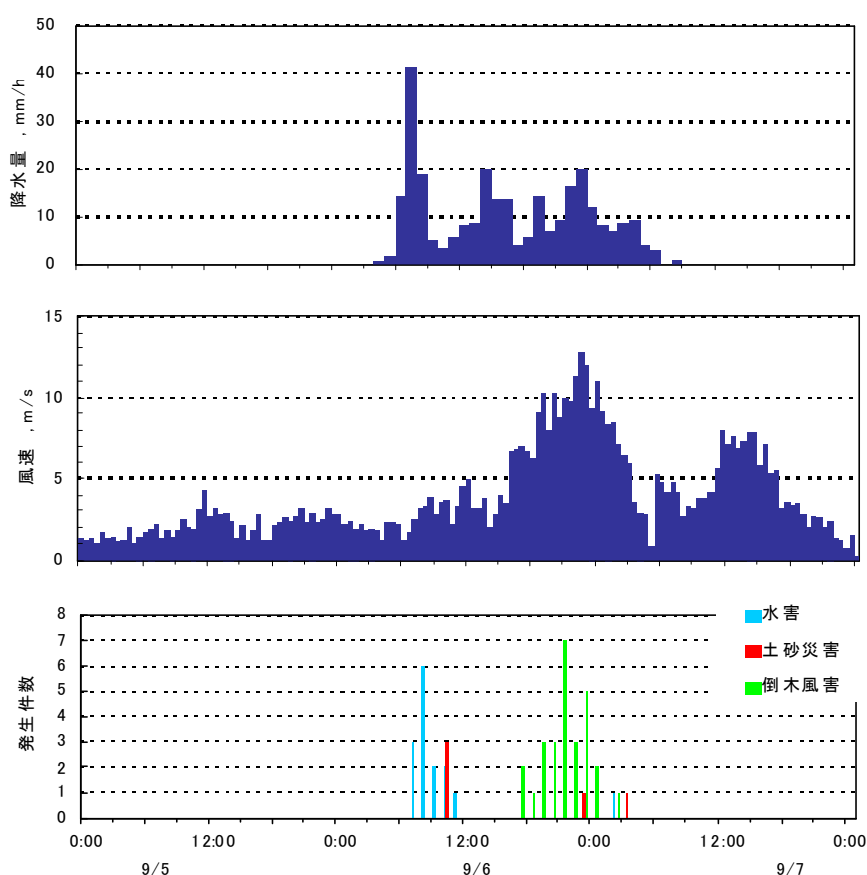


図29 御代田町における降水量、風速と災害の通報・確認の時刻
御代田町消防署資料より集計

一方、軽井沢町と比較するために隣接する御代田町の消防署が把握した災害を、水害、土砂災害、倒木風害に分類してその時間経過を降水量と風速とともに示すと、水害は6日の午前中に、また倒木風害は6日の午後～7日午前2時に集中している（図29）。水害は洪水と浸水の被害からなりおもに6日6:00～7:00の41mm/hの強雨直後7:00から11:00の間に発生している。これに対し、倒木風害（おもに樹木の倒木の被害からなり、街路灯の巡視対応と倒れの合計2件および公民館屋根の吹き飛び1件を含む）は風速が継続して6m/s以上の強風時6日16:00～7日3:00に生じている。

この比較からは、御代田町域では倒木被害と水害の発生時刻が明瞭に異なり、それぞれ風速と降雨強度の大きな時点にほぼ対応しているのにたいし、軽井沢町では風速の大きくなる前の降雨強度の大きな時点から倒木被害が発生していることがわかる。

4. 過去における倒木の状況、台風0709号による倒木との比較

(1) 顕著な倒木災害

1949年以降から2007年台風0709号までの過去の強風気象と災害の履歴を表12に示す。戦後に発生した最も深刻な風災害は1959年の台風7号と1982年の台風10号、1949年のキティ台風によるものである。

表12 強風気象と災害の記録

台風名	最大瞬間風速 m/s	〔総雨量〕 mm 〈日最大雨量〉 (月最大24時間雨量)	経路	軽井沢町の被害 主に信濃毎日新聞による * は軽井沢町地域防災計画(2003)による
2007/9/6 台風9号	27.7m 東	(328)	関東中部を 北上	29.5m (軽井沢消防署観測)、屋根損壊4棟、 キティ台風と進路が類似
2001/9/10 台風15号	17.7北東	325(231)	太平洋沿岸 を北上	死者2(茂沢)、別荘3戸土砂により損壊、風倒木46ヶ所*
2001/8/22 台風11号	12.9北東	78(21,22計)	太平洋沿岸 を北上	風倒木15ヶ所*
2000/7/8 台風3号	14.4南西	(24) (1日以來60以 上)	太平洋沿岸 を北上	風倒木5ヶ所、停電*
1998/9/16 台風5号	16.3西	(127)	関東中部を 北上	風倒木4ヶ所*
1995/7/12 大雨	5.7西南西	〈37〉(1日以來160以上)		風倒木20本*
1990/8/10 台風11号	24.6 m 東北東	(152)	太平洋沿岸 を北上	150本の立木が電線に倒れかかる、中部電力150人体制で処理
1982/8/2 台風10号	27.2m 東北東	299 (前日との加算)	名古屋→能 登半島	風倒木で9,100戸停電、追分停電回復に1週間、旧軽、早稲田大学など2007より被害大、大日向は2007より被害小、鶴沼カラマツ林被害甚大、死者2(中軽井沢)、全壊11戸、半壊7戸、 岩村田営林署管内被害2,700ha、
1981/8/22 台風15号	19.8m北東	(199)	関東中部を 北上	信越線、追分、平原-御代田間などで倒木
1959/8/14 台風7号	36.3m 東北	293	山梨→長野 市	草軽電鉄バス車庫倒壊、家屋全半壊143戸、浸水家屋534戸、重軽傷9、自衛隊給水車出動、災害救助法発動、旧軽被害甚大、西小学校裏林は全滅、岸首相以下災害視察
1958/9/17,18 台風第21号	24.2m 西南西		太平洋沿岸 を北上	軽井沢について報道なし 県北東部、東部周辺として「キティ台風を上回る数十年来の被害」、総雨量140～200mm以上
1949/8/31～9/1 キティ台風	30.1m (最大風速)	348	関東中部を 北上	グリーンホテル付近立木無し、全壊26 特筆記事無し(信濃毎日新聞は表裏の2ページ)

情報量の少ないキティ台風をのぞいた、これらの台風災害と2007年台風0709号災害と

の比較を表 13 に示す。

表 13 過去の顕著な倒木災害と2007年9号台風による災害との比較

被害地など 被害年 倒壊家屋、死傷者	1959台風7号 家屋全半壊143戸、 重軽傷 ^{*1} 災害救助法発動	1982台風10号 全壊11戸、半壊7戸 (土砂害によるものを含む) ^{*1}	2007台風9号 一部破損2戸 死者1名 ^{*1}
国有林	壊滅状態(千メートル林道 北) ^{*2}	2,700ha ^{*3} 千ヶ滝川の東側で壊滅的 ^{*4}	20ha被害(応急集計) ^{*5}
早稲田大学グラウンド (離山下)		約900本根返り ^{*6}	ゼロに近い
追分、早稲田大学研修所	当時、畑地	約900本 根返り ^{*6}	約500本 根返り ^{*6}
追分、西部小学校裏の樹 林	全滅 ^{*7}	記事無し	被害少ない
三井の森 鶴溜	当時、入会地 記録無し	被害少ない 一部でカラマツの過半が根 返り ^{*6}	被害少ない 被害少ない
千ヶ滝	記事無し	全般にニセアカシアが弱 かった、谷沿いで多数倒れ た。台地上は被害小 ^{*6}	被害少ない
追分 某別荘(900坪) 上ノ原 某別荘(2,000坪)	カラマツ約5本、シラカバ約 10本などが根返り(被害率約 50%)、クリ? 大木が家を半 壊 ^{*8}	約500本根返り ^{*6} シラカバは2本を残し根返り ^{*8}	被害少ない 1982より酷かった?
鹿島の森某別荘地(800坪、 カラマツは若木で浅間山が 見えていた、モミは大木)	50本くらいの庭木の内、5.6 本が倒伏、方向性は今回よ り乱れていた ^{*9}	記事無し	被害少ない

1) 1959 年台風 7 号による倒木災害

1959 年の台風 7 号が来襲した際、最大瞬間風速は観測史上最大の 36.3m を記録している。軽井沢町に、後にも先にも唯一の災害救助法が発動され、首相をはじめとする多数の政府要人が現地視察に来軽したほどの大災害であった。しかしながら軽井沢町誌には家屋全半壊 143 戸、浸水家屋 534 戸、重軽傷 9 などの記載に留まっている。倒木の記録は軽井沢町役場を含めて全く見あたらないし、多くの地元年輩者の記憶もあいまいである。「西部小学校裏の樹林が全滅した」、「旧軽井沢の町営駐車場一帯が当時はニレの大木よりなる樹林であったが、多数倒木した」などの談話が得られたのみである。しかし当時、別荘を利用していた方々より「旧軽井沢の鹿島の森別荘地区、中軽井沢上ノ原別荘地区の庭木が多数倒れ、1982 災害や台風 0709 号によりはるかに被害が大きかった」、「追分付近も今回より被害がひどく、特に 1,000 道路の北側ではほとんど全てが倒木していた」などを聞き取っている。地元の方々の倒木への印象がさほどでないのは、水道、電力線、家屋などの被害に眼を奪われていたであろうことに加えて、樹林の高さが低く、「存在感」が今日ほどでなかった故かもしれない。また当時の別荘戸数は現在の 1/7、2,000 戸であり、道路、電線類も圧倒的に少なかったから、倒木が発生しても災害につながりづらかったと考えられる。なお 1,000m 道路北の倒木処理によって多数現れた株の年輪を調べると、1959 年の直後に植林されたことがわかる。この地区の林地はほぼ 50 年前にも今回と同じく倒木で破壊されたわけである。

軽井沢駅東方 10km の群馬県松井田町（現安中市）に小根山国有林がある。森山（1960）は、これが 1959 年台風 7 号により「未だかつて見なかった被害を受けた」と報告している。一般にチョウセンゴヨウ、ストロブマツなどの外国産樹種の被害が多く、広葉樹は被害が少ない。根返りが圧倒的に多く幹折れはその 1/10 以下、ただしアカマツは根返りに近い量の幹折れがある。東～東南斜面において被害が多く、倒木方向は西南などとしている。添付の写真で見る倒木景観は、本報告書の写真 1、5 などと酷似している。小根山国有林は 1971 年に森林公園に指定された。群馬県南部は 0709 台風により各地で倒木が生じたが、ここは例外的なものを除き、被害をほとんど受けなかった。

軽井沢における民有地の当時の植生景観を一例示しておく。写真 6a は、旧ゴルフ場北方におけるカラマツ幼年木を、災害の半年後 1960 年に撮影したものである。先に 1948 年当時は原野であったことを当時の航空写真判読の結果として示したが、これは 12 年後にあたり、平仄が合っている。同じ角度で現在の状態の撮影を試みたが樹木に覆われ、果たせなかった。写真 6b は、やむを得ず谷を挟んで南側の斜面から撮影した同じ斜面である。

倒木方向は西～西南方向が卓越していたが、今回ほど顕著ではなかったという談話がある。

同年 9 月に伊勢湾台風（台風 15 号）が来襲、県下の森林に大きな被害をもたらしたという報告もあるが（例えば信濃毎日新聞社（1983））、軽井沢町およびその周辺についての具体的資料は見あらず、台風 7 号よりは被害は軽微だったのではないかと思われる。

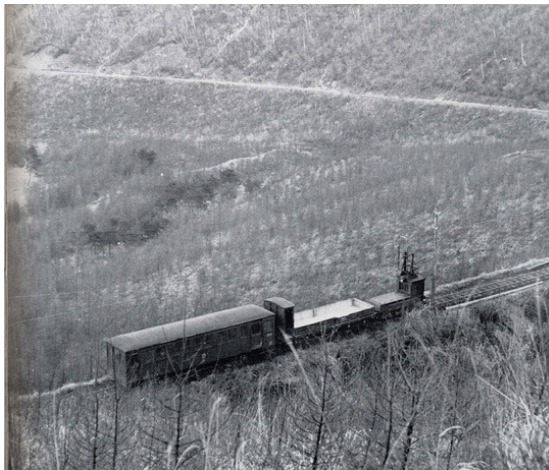


写真6a

三笠－鶴溜のカラマツ幼木、1960年3月
黒岩保美(1989)



写真6b

同斜面、写真6aの左奥の対岸斜面から撮影、
2007年12月

2) 1982 年台風 10 号による倒木災害

信濃毎日新聞社(1983) は、県林務部の報告として、1982 年の台風 10 号により、長野県下は伊勢湾台風以来、戦後最大級の風倒木被害を被ったと報じている。そしてその中心は南北佐久郡から小県郡東部町、真田町、須坂市など群馬県県境側であり、ほとんどは、戦後植林した 20～30 年生カラマツ林であったという。軽井沢近辺の記録としては、「岩村田営林署のあゆみ」のパンフレットの中に、明治 17 年～平成 10 年までの「主なできごと災害記録」として、唯一「昭和 57 年、台風 10 号により風倒木発生、被害面積 2,700ha」の記載がある（今回の台風 0709 号による国有林被害面積は、緊急集計であり、精度に問題があるとされるが 20ha）。また信州大学が被害甚大と見たのであろう、「1982 年台風 10 号による浅間山麓の風倒被害調査」（高橋ほか 1985）を公表している。これは図面集ともいべきものであるが、閲覧した報告書は印刷が不鮮明で見づらく、詳細に分析することは困難であった。この調査地域の大部分は軽井沢森林事務所管内であり、西側の御代田森林事務所管内を除外している。両森林事務所の管轄境界は千ヶ滝を流れる川であるから、それより東側で被害が甚大であったのだろう。根返りあるいは傾斜した樹木の比率が 30% 以上を占める区画を被害地大・中としているが、軽井沢森林事務所管内はざっとみて 70% 以上の面積を占めている。被害は根返りよりも傾斜の方が多かった模様である。これは台風 0709 号の際の小瀬近辺の若木のケースと似ている。樹齢も図示されているが、被害との関連は特に明確ではないようである。いずれにせよ、この調査は国有林内に限られ、民有地については軽井沢町役場の調査を含め資料は皆無である。

離山南麓の旧早稲田グラウンド、および追分の早稲田研修所について、大嶋健司氏より、詳しい倒木の状況を聞き取ることができた。氏は倒木の処理・搬出に関する業者との契約交渉に係わったから、数量まで記憶を残しておられた。旧早稲田グラウンドは、一部のグラウンドを除いてカラマツを主体とする林地であった。東半分は湿地状態であり、降雨後には

現在でも諸所から地下水が湧き出ている。全体に倒木が著しかったが、特に東半分で倒木率が100%に近いひどさであった（図30）。ここでは1982年以降、植栽されることなく、残った木も台風0709号で大きな被害を受けることは無かった。また旧早稲田グランド近隣の被害も今回の台風で特に目立つものではなかった。追分の早稲田研修所は1982年に倒木率30～80%に及ぶ被害を受けている。敷地内の林地は1965年の東京オリンピック直後に植林されたといい、密植状態であった。（図31）。早稲田研修所も地下水位の高いところである。地籍図の西端には青線が描かれており、かつて自然の水路があったことを示している。敷地西南端の池は、掘削中に地下水が湧き出でて出来たものである。台風0709号による倒木は、図31の西北端で100本、東南端付近で50本程度であったが、1982年に比べれば軽微であった。中央大通りの並木は1982年に根返りないし傾斜となったが、引き起こした上で支持木を添えたところ、直根が深く入り、今回は1本も根返り・傾斜とはならなかった。

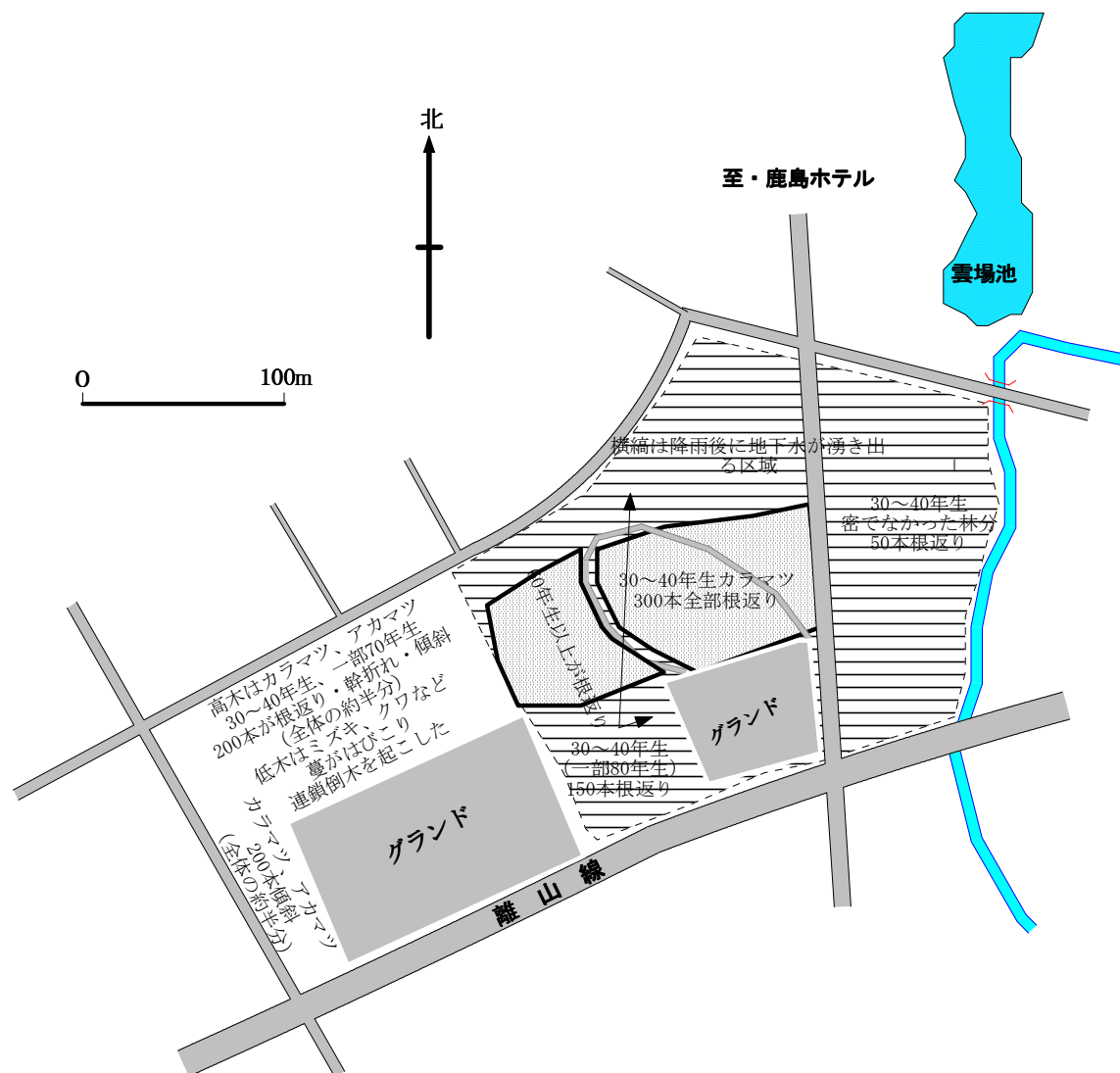


図30 旧早稲田グランド付近における1982年台風10号による被害

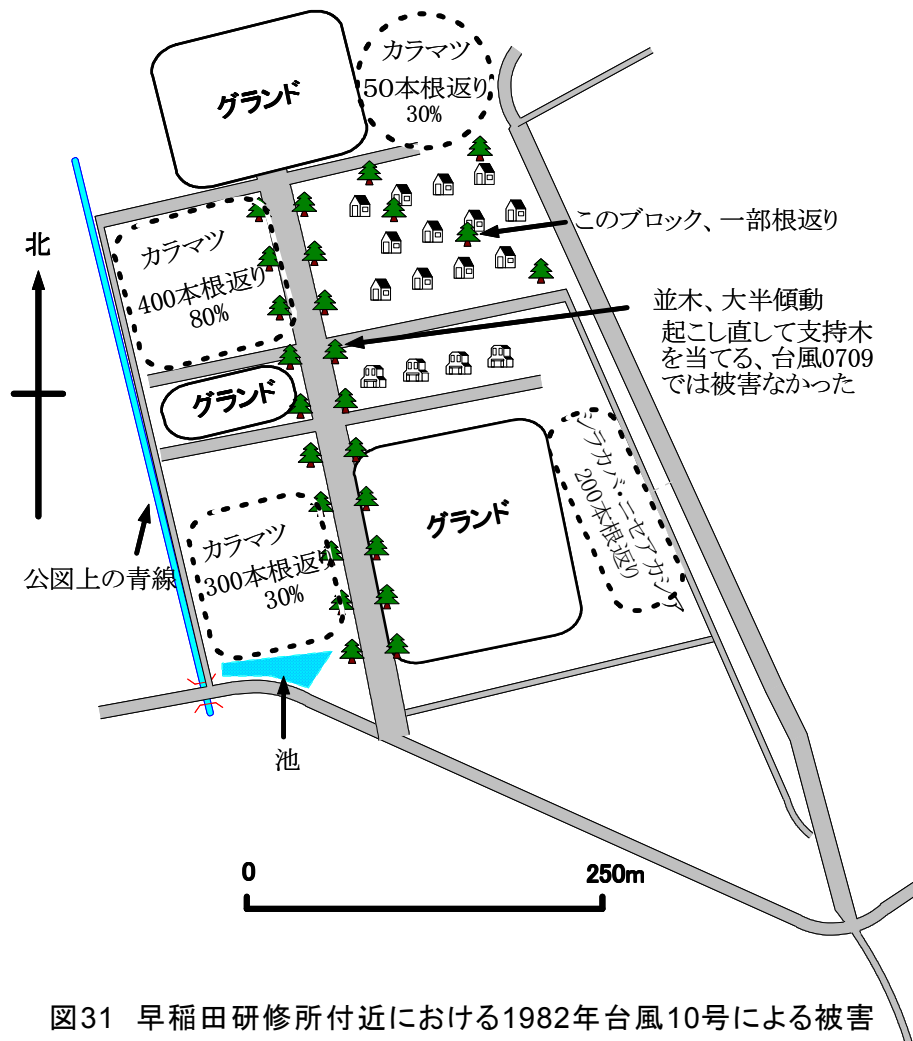


図31 早稲田研修所付近における1982年台風10号による被害
台風0709号では西北端のカラマツが100本程度、
東南端のシラカバ等が100本程度倒木

別の証言によれば、追分集落を貫通する中山道は至る所倒木で遮断され通行不能となった。追分集落の停電も今回より長く復旧に丁度一週間かかった。早稲田研修所の被害が著しかった一方、1,000m 道路に接する国有林の被害は今回より少なかったという。

国土地理院の2万5千分1地形図で鶴溜と注記しているあたりは過半が倒木したという。ただし、その際に生き残ったと考えられるカラマツで、数年前に伐採されたものに年輪幅の当時の変動は認められない。このことは、「間伐効果」によって生長量の増大がなかったことを示し、鶴溜のなかでも倒木が多かったのは一部地区だったのであろう。

中部電力は電力線の回復のため、当時も大量の根返り、傾斜、幹折れした樹木を伐採しているが台風 0709 号の 3,300 ヶ所に対し、2,000 ヶ所と少ない (表 14)。しかし電力線の総延長も長くなっており、これをもって倒木の多少を論ずることはできない。中部電力の記録写真によっても 1982 年当時の伐採木の直径は今より大幅に細かったことは明らかである。

表14 電力線の回復のための倒木伐採実施状況(中部電力による)

	倒木箇所数	樹木平均直径
台風 0709 号	約 3,300 ヶ所	30～40cm 程度
1982 年台風 10 号	約 2,000 ヶ所	15～20cm 程度

三井の森は、1982 年にもほとんど倒木を見なかったが、当時の植生を示すものとして写真 7a・7b、8a・8b、9a・9b、を掲げておく。a の符号がついているのは、いずれも災害の半年後の撮影、b は同じ場所の 2007 年 12 月撮影である。いずれも 1983 年においてカラマツは細く、モミは著しく小さい。



写真7a 三井の森1983年2月

カラマツが現在より細い

三井の森中軽井沢管理センター提供



写真7b 三井の森2007年12月



写真8a 三井の森 1983年2月

カラマツが現在より細い

三井の森中軽井沢管理センター提供



写真8b 三井の森 2007年12月

モミが成長した



写真9a 三井の森 1983年2月

モミは苗状態

三井の森中軽井沢管理センター提供



写真9b 三井の森 2007年12月

モミが成長し、向こうの建物が見えない

これらの聞き取り結果を総合すれば、1982年の倒木は、台風0709号よりも著しかったといえそうである。また根返りばかりで無く、傾斜も多数含まれていたようであり、台風0709号と様相が異なっている。倒木方向については、大方、西～西南であったようだが、三笠付近は全て北方に倒れていたという。これは谷が南北性であることと関係していよう。

なお、1982年の前年、1981年に台風15号による針葉樹の倒木が多量に発生したという。そしてこれが広葉樹を育てようとする「どんぐり運動の会」が生まれる契機になった（星野裕一氏談）。信濃毎日新聞社(1983)は林業白書を引用、「56年には全国で豪雪、豪雨、台風による森林被害が多発し被害は『人工林被害としては未曾有』」としており、確かに倒木が発生した模様であるが、軽井沢およびその近辺について、この倒木に関する新聞記事を含む文書は見あたらない。

3) 1949年キティ台風およびその以前の倒木災害

1949年にキティ台風が30.1mの最大瞬間風速の記録を残し、今回の台風と経路が似ていとされる。しかしこの調査の主要情報源である信濃毎日新聞は、当時2ページのみであり、軽井沢の災害については一切の記述がない。また報告書の類も見あたらないが、昭和29年5月の北海道大倒木を報告した檜山徳治(1956)は、浅間山麓に1949年の風害で同様の景観が見られたとしている。地元住民からは、千ヶ滝の今はないグリーンホテル周辺は立木が一本もないほど倒木がひどかったという談話が一件得られたのみである。

1934年の室戸台風は、長野県地方にも大きな被害を残し、信濃毎日新聞は東信地方の被害として「屋根を剥がされ塀を倒されたもの大木の折損倒壊したもの等相当ある模様」と報じている。なお前出の檜山は、1932年にも浅間山麓で大倒木があったことを示唆しているが、同年に顕著な台風は来襲しておらず、1934年の誤認である可能性も無しとしない。

(2) 倒木災害と気象

過去の顕著な倒木を引き起こした災害の最大瞬間風速、降雨量を表12に示す。合わせて日降水量、月最大24時間降水量、日最大瞬間風速・風向の極値を表15に示す。

表15 軽井沢における降水量と風速の極値

下線あり:過去の顕著な倒木を引き起こした気象。網かけ:2007年0709台風。

要素名／順位	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位	9位	10位	統計期間
日降水量 (mm) 年月日	318.8 1949/8/31	<u>286</u> 2007/9/6	271.7 1959/8/13	199.1 1950/8/5	176.5 2001/9/10	174.5 1999/8/14	160.5 1982/9/12	154.6 1928/7/31	151.5 2001/9/9	149.2 1961/10/27	1925/1/1 ~ 2007/12/31
月最大24時間 降水量(mm) 年月日	<u>328</u> 2007/9/6	<u>230.5</u> 2001/9/10	<u>198.5</u> 1981/8/22	<u>195</u> 1982/8/1	174.5 1999/8/14	<u>169.5</u> 1982/9/12	151.5 1990/8/10	146.5 2006/7/18	145 1986/9/2	140 2000/9/11	1971/1/1 ~ 2007/12/31
日最大瞬間 風速(m/s)・風向 年月日	西 30.3 2003/3/2	<u>東 27.7</u> 2007/9/6	<u>東北東 27.2</u> 1982/8/2	<u>東北東 26.8</u> 1982/8/1	南西 25.5 2006/4/3	西南西 25.5 1979/3/30	北 25.4 1980/12/24	西北西 25.1 1985/2/11	西南西 24.9 1987/3/25	<u>北東 24.6</u> 1990/8/10	1964/4/1 ~ 2007/12/31

軽井沢においては、強風の頻度は台風期よりも晩秋から春にかけての季節風の時期に高い。過去 30 年間に於ける風速 20m 以上の強風をカウントすると、5 月～10 月では 5 回に過ぎないが、11 月～4 月にかけては 28 回にも上る（表 16）。瞬間風速 25m 以上については 8 回にとどまるが、内 5 回は 12 月～4 月である。2003 年 3 月には台風に劣らない 30.3m/s を記録している（表 15）。しかし信濃毎日新聞にこの季節の風倒木災害の記事は全く見られず、顕著な倒木は発生しなかったことがうかがえる。なお風向はおしなべて夏期と反対の西の成分が卓越している。カラマツなどの落葉樹は、落葉期ゆえ、風圧が回避された結果と見ることもできるが、アカマツやモミは常緑であるにもかかわらず倒木していないから、それだけでは説明できない。軽井沢は厳寒期には土壌凍結深度が 70～80cm に及ぶとされるが、上記 12 月～4 月はこの時期に相当し、地盤の強度は高かったはずである。倒木が晩秋～春に発生しないのはこれが原因と思われる。なお、北海道では土壌凍結の場合、根返りよりも幹折れが発生するとされる（森林総合研究所 2006）。

表16 過去30年間(1978～2007)に瞬間最大風速20m/s以上を記録した回数

月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	計
回 数	着葉期 5回 2007/9 最大瞬間風速 27.7m/s						落葉期 28回 2003/3 最大瞬間風速 30.3m/s						
内訳	1	0	1	2	1	0	2	2	3	7	10	4	33

軽井沢における台風期の強風の風向は、いずれも東ないし東北である。一部に西北があるが、台風による吹き返しであろう（図 32）。樹木の多くは過去の複数回の強風により傾動が繰り返された結果、幹が湾曲している。この方向は概ね西ないし西南であり台風期の強風方向と一致している。

風速が大きくても季節によっては倒木を引き起こさないのに対し、顕著な倒木災害は、日降水量又は月最大 24 時間降水量が過去 10 位以内に入るケースが多く（表 15）、豪雨が倒木の必要条件であることを示唆している。

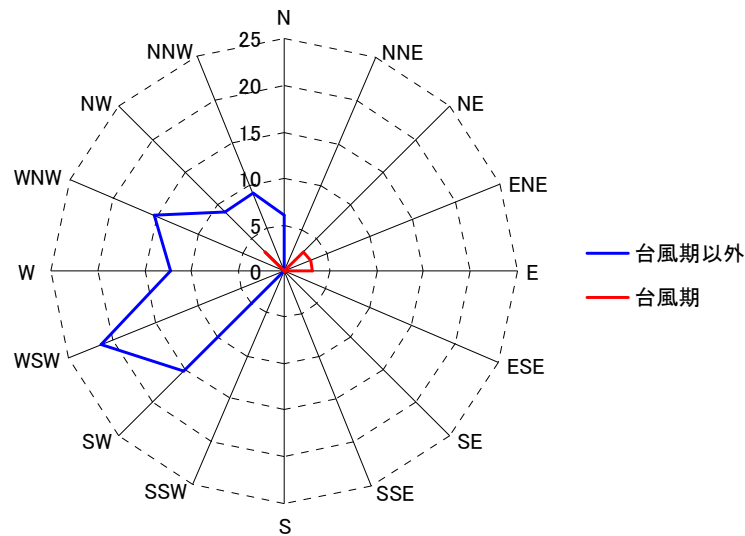


図32 台風期と台風期以外の最大瞬間風速20m/s以上の強風の風向別出現頻度

5. 倒木要因の検討

樹木の根返り、幹折れ、傾斜の原因は、様々の観点からの検討が可能であるが、①風や降水などにより樹木を倒そうとはたらく気象の条件、②倒そうとする力に対して地面の下で樹体を支え樹木の倒壊を防ぐ地盤の条件、および③気象と地盤の条件の間にある抵抗または助長する樹木の条件の3つの要因からの検討ができると思われる。そこで、これらの要因について、全域的な検討、および激甚倒木地の追分北方針葉樹林における検討をおこなう。

(1) 全域における検討

1) 気象

台風 0709 号の軽井沢における瞬間最大風速は、最大で 27.7m であるが、これは、著しい倒木被害をおこした 1949 年や 1959 年の強風（表 12）と比べると小さい。この瞬間最大風速時点の風向は東であったが、卓越風は前後の記録を見れば比較的安定的に北東であった。倒木方向は全町にわたって西～西南方が圧倒的であり、気象データと整合的である。したがって、多くの倒木はこの時の強風により生じたものと考えられる。しかし、「3.5 倒木の時間経過」で見たように、愛宕、レイクニュータウン、南平台、矢ヶ崎、南ヶ原、南原、千ヶ滝などでは、少なからざる倒木が瞬間最大風速を記録する 12 時間以上前の降水強度の大きくなる時点から始まっていたことから、風のほかに降水の要因も検討する。

配電線故障の件数と風速および降水量との関係を見ると、風速では 5m/s の平均最大瞬間風速以上から配電線故障が発生している（図 33）。また降水量では 7mm/h の時間降雨強度以上から配電線故障が増加する傾向がある。この配電線故障の多くは倒木によって生じているので、倒木被害は風速の増大だけでなく降水量の増大にともなっても増大すると

いう特徴がある。ところが、御代田町での倒木被害については、倒木風害の件数と風速との間には比較的良い相関関係があるが、降水量とは無相関であり、降水量は水害と土砂災害の件数とともに増加する関係が認められた（図 34）。

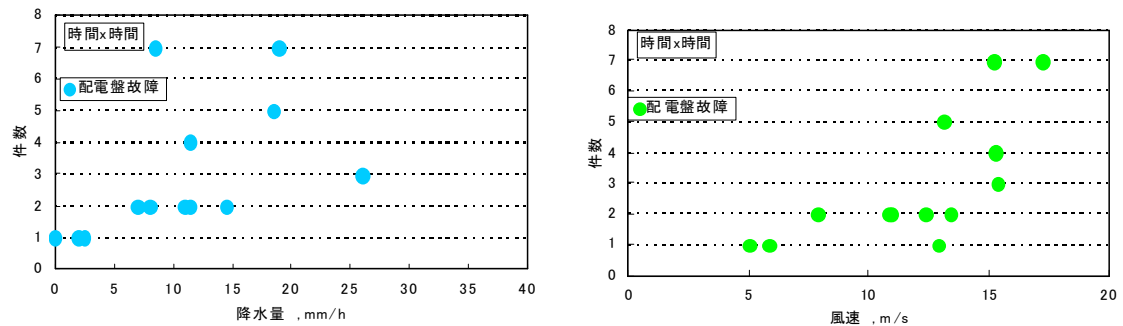


図33 軽井沢町における2007年9月災害の発生件数と降水量および風速との関係

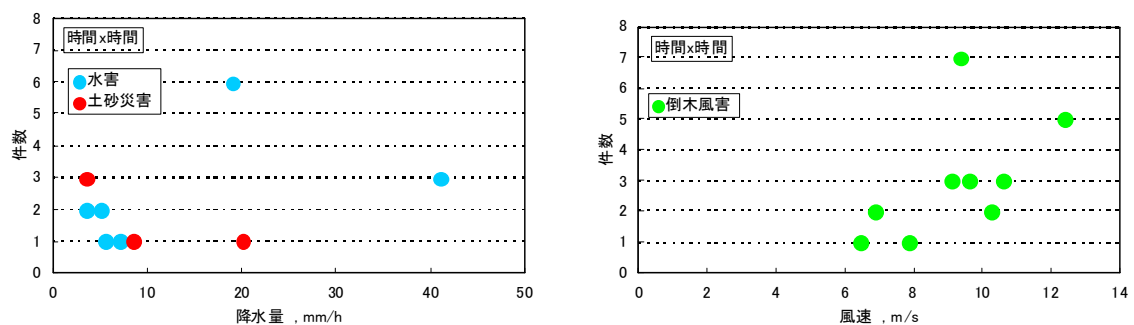


図34 御代田町における2007年9月災害の発生件数と降水量および風速との関係

したがって、軽井沢町では倒木被害を発生させる気象要因としては、風と降水の両者があげられる。この降水は地上に落下して浸透・流出するので、この倒木への影響については、地質・土壌の項で検討する。

風の流れの特徴について、2004 年台風 18 号により北海道地域で倒木を発生させた乱流の大きさは、200～300m 程度とされており（森林総合研究所 2005）、軽井沢地域での被害地の島状分布の幅 200m と調和的である。この被害地の島状分布と関東山地西縁を越える下降気流とからは、下降流の分散した渦が被害地の島状分布を引き起こした可能性が推定される。

倒木は、小瀬、鶴留、旧軽井沢のような起伏の大きい地域では少なかった。地表面付近の風速は起伏の大きい場所ではその地形の影響を受け、山の背後では逆流や低風速を示す（高橋ほか2003）ために、これらの地域では相対的に風速が低く、倒木被害を少なくした可能性がある。

2)地質・土壌

地盤条件からみると、本地域の地質はおもに降下火砕堆積物、追分火砕流堆積物、湖底堆積物、第 1 および第 2 小諸軽石流堆積物（荒牧 1993）からなるが、このうち追分火砕

流堆積地において、もっとも倒木被害が大きく生じた。この火砕流堆積地では地表近くまで砂礫質の粗粒物質からなるため、根系が深部に伸長できずに風圧にたいして樹体を支えきれなくなり倒木を生じたものと推定される。

ついで倒木が多発した地域は、湖底堆積物分布域や河川沿岸域などの湿地であった。多くの地域では排水処理が施されているものの通常から地下水位が高く根の発達が阻害されており、また河川沿岸は河川水位および地下水位が降雨に伴って上昇し樹体が不安定化したため倒木被害が発生したものと推定される。

追分火砕流堆積域の東側の降下火砕物堆積地、および西側の小諸軽石流堆積地では、倒木被害は比較的小さかった（図 8）。追分火砕流堆積域の土地利用は、東縁と南縁では住宅地や一部工場からなり樹木の占有面積が少ないため、倒木被害が少ないが、その他の地区ではほぼ一様に高い被害密度を示している。したがって、倒木は追分火砕流による砂礫質地盤の影響が大きいと考えられる。たとえば、追分火砕流分布域の西側端をまたいで立地する大浅間ゴルフ場付近では、これより東は倒木率が数十%に及ぶのに対し、西では数%にとどまり、顕著な差がある。この追分火砕流域における倒木を引き起こしやすい要因については、次節でさらに検討する。

土壌水分の変化については、9月5～6日にかけての強雨時期に図 35 のような変動が御代田町畜産草地研究所の草地において観測され、6日7:00に深さ0cm（地表面）：39%、5cm：70%、15cm：76%の極値が出現した。これは6日6:00～7:00の降水強度47mm/hのピークに対応したもので、土壌の固相率は20～30%であるから深さ5～15cmの土壌中では浸透水により飽和状態であり、地表に近い土層中を地中水は移動していたことが推定される。さらにこの土壌水分測定地点の浸透能は、1時間浸透能で36mm/hであることから、ピーク強度の降雨中に土壌は水分飽和状態にあったことが支持される。

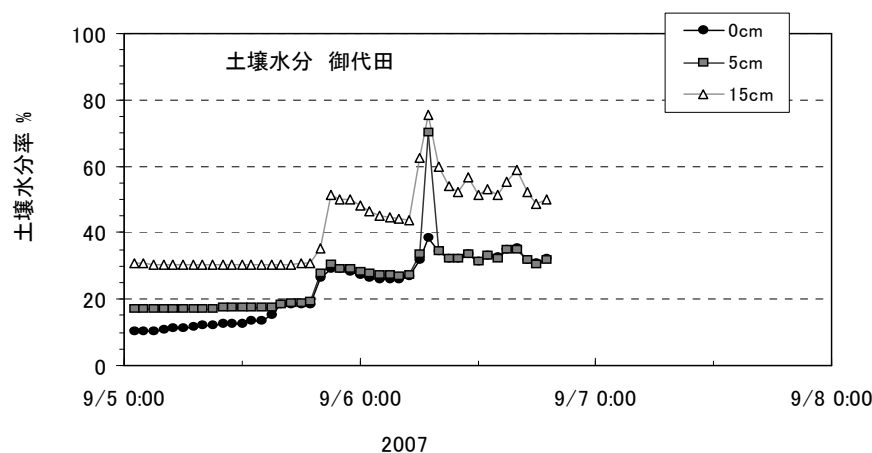


図35 土壌水分変動の時間変化

この土壌水分の測定地は、降下火砕堆積物からなる踏圧をうけた牧草地であり尾根型斜面であることから直接の比較はできないが、土壌水分変化を推定する上で参考になる。す

なわち、追分火砕流堆積地では、表層を浸透した雨水は下層の堆積物本体がシルト分を含む砂礫からなるため下層部で土壤水分が増加していったこと、また湿地域では周囲が斜面に囲まれた凹型の低平地であるため周辺から浸透水が集合して降雨時の早期から長期にわたり地中水が増加して飽和または湛水状態となったことが推定される。

3) 樹木

おもな被害樹種は、カラマツ、ストロブマツ、アカマツ、シラカバであった。倒木率は針葉樹ではストロブマツがやや高い傾向を示し、次いでカラマツ、アカマツの順となった。広葉樹の中ではシラカバの倒木が目立った。

樹木の管理については、別荘周縁の民有林や、別荘地であっても家屋が建っておらず樹木を密植のままに放置した場合に倒木が顕著であった。また国有林内では、倒木はほとんど人工林のみで認められた。

倒木した樹木の樹齢は、国有林内では千曲川上流森林計画区の国有林野施行実施計画図第5図葉（平成15年）を参照すると、40年生前後が多い。国有林や民有林の人工林では、間伐が十分でない密植状態の林地で、倒木が増加する傾向にある。

別荘地域では、年輪測定の数々が少なく確定的なことは言えないが、40～79年生の壮齢期の樹木の倒木率は約40%であるのに対し、その前後の樹齢の倒木率は約70%と大きい（図6）。これから概略ではあるが、壮齢林はその前後の樹齢と比べて、相対的に倒木しにくいのかも知れない。いずれにせよ、若齢期でも高齢期でも倒木の危険はあり、とくに高齢樹では、災害という観点からは連鎖倒木による「ドミノ倒し」を引き起こし、樹体、重量も大きいために、より危険とも考えられる。高齢樹が「多くの強風を耐えてきたし、根系も発達しているから、倒木し難い」とは言えないことになる。

4) 小活

倒木被害は、気象では強風で一義的に発生するのではなく強雨が大きく関連していること、地盤土壌条件の面では比較的固結し砂礫に富む火砕流堆積地や、土壤水分が増加しやすい湿地に生じやすいこと、さらに樹木の面からは倒木しやすい数種の樹種と樹木密度が比較的高い林分であることが明らかとなった。したがって、地盤や土壤水分の土地条件、および樹木管理の条件が倒木の状況を左右する。とくに土地条件はこれまでの軽井沢地域での倒木被害では、注意が払われていなかった。すなわち追分火砕流堆積地では火砕流堆積（1108年）後の経過年数が短く、表土の厚さが薄く根系が十分に発達していないため、また湿地域や河川沿岸域では周辺から雨水・土壤水が増加しやすいこと、根系の発達が十分でないため、風の外力に抗しきれずに、倒木が発生したものと考えられる。

(2) 追分北方針葉樹林における検討

ここでは、もっともまとまった倒木を生じた、追分北方地域のアカマツの混在したストロブマツ針葉樹林を例に、その倒木要因をやや詳しく検討する。

1) 気象

追分北方地域は火砕流堆積による台地状地形を示すため、細かい谷の地形による風速の局地的な差異は少ないと推定される。しかし、倒木被害地は同じような土地条件のアカマ

ツ林地において、島状分布が100～200m間隔でより規則的に分布する特徴がある（図8）。このことから、この地域でも気流の収束が島状に生じたことが推定される。北海道での倒木に関連した乱流の大きさは200～300m程度と試算されており（森林総合研究所2005）、激甚倒木被害地の規模（およそ300m以下）とも対応する。このため強風の乱流の周波数が特定の林分における樹木の固有振動数と一致し、共振現象が加わることで倒木率を高めたことも考えられる。

また、林内に空所があり林分の閉鎖が破れている場合には、そこから強風が吹き込むことで周囲から樹木の倒木を引き起こし、連鎖的に拡大させることが報告されている（玉手1967、水井1982）が、追分北方地域ではこの空所に結びつく倒木は不明である

地表の大起伏の面から、風の状態をみると、円錐状火山体の側方山麓では、主風向の風と山体に沿って側方へと吹く風が合流して、強風域が生じることが風洞実験で認められている（北海道立北方建築総合研究所2009）。このことも山麓に倒木被害が集中した要因と考えられる。

2)地質・土壌

追分北方地域では砂礫に富む追分火砕流堆積物に覆われ、細粒の土壌物質が薄いため土壌硬度が大きくなり、樹木の垂下根の発達は阻害され不良となったものと考えられる。硬度の測定値について詳しくみると、山中式土壌硬度計による測定では、根系発達に阻害の有ると判断される値（指標硬度24mm）が深さ55cmより深部で稀に計測されたが、平均値では深さ90cmまでこの値を下回った（図14）。このため、深さ90cm以下まで根系発達は可能と判断される。

SH 型貫入試験機による測定では、追分北方針葉樹林の貫入硬度は地点により若干の差異は認められるが、その差はわずかであった（図 16）。このため、地点間の倒木率の違いには局所的な土壌硬度の差異よりも、樹木条件の相違が大きく影響しているものと考えられる。

SH 型貫入試験機による根系深さの推定では、貫入硬度が $Nd/drop=10$ ($Nd'/drop=20$) を越えると根系はほとんど侵入しないことが推定される（長谷川 2006）。今回の試験による平均貫入硬度（平均 $Nd/drop$ 面積値）は、高倒木率地点が深さ 25cm、ストローブマツ低倒木率地点が深さ 35cm、アカマツ低倒木率地点が深さ 25cm で $Nd/drop=10$ を越える値となっている（図 16）。この深度は貫入式土壌硬度計において貫入不能となる深度（図 15）や土壌断面の観察から得られた礫の多く現れる深度（図 13）と概ね対応するものである。この結果から、追分北方針葉樹林では樹木の根系発達に対して、土壌の浅い深度から砂礫による阻害を受けていると判断される。しかし、根返りしたストローブマツの個体調査から求めた平均根鉢深は 74cm であり（表 5）、SH 型貫入試験機により推定される根系深さとは一致しない。この原因として、SH 型貫入試験では土壌中の礫が抵抗となって $Nd/drop$ 値が上昇し、 $Nd/drop=10$ 以上の値となるが、実際の根系は比較的硬度の低い礫間の土層をより深くまで伸長していることが考えられる。ただし、礫が根系発達を制限することで根系の量や太さは十分でなく、根系の支持力を小さくしたことが根返りの一因と

なったものと考えられる。

一方、調査地点 3 の第 2 小諸軽石流堆積地（カラマツ林）では追分火砕流堆積地に比べて土壌硬度は低く、深さ 40cm においても $Nd/drop=10$ ($Nd'/drop=20$) を越える土壌硬度とはならない（図 16）。そのため、追分火砕流堆積地に比べて根系の発達はやさしいと考えられる。

倒木には降雨に伴う土壌水分の増加が関与しているものと考えられる。特に土壌水分が飽和すると、根系の引き抜き抵抗力は70%程度に減少する（森林の土砂災害防止機能に関する検討委員会2008）ため、土壌水分の飽和は倒木の要因となる。透水性の測定値について詳しくみると、地表面の透水性は、追分火砕流堆積地の3地点および第2小諸軽石流堆積地（カラマツ林）で共に大きく、いずれの地点も表層の腐植層やA層は孔隙に富んでいることを示している（表7）。このため、短時間の降雨であれば、強度の大きな降雨であっても地表までの土壌水分が飽和する可能性は少ないと考えられる。ただし、追分火砕流堆積地では深さ30cm前後に火砕流堆積物本体が存在する。この透水性は未測定であるが、細粒のシルト分を多く含むことから、透水性は小さい可能性がある。したがって、長時間にわたって強度の大きい降雨が発生した場合には、火砕流堆積物本体から土壌水分の飽和が発生した可能性がある。一方、第2小諸軽石流堆積物の地表面の透水性は、追分火砕流堆積地に比べて小さい（表7）。しかし、表層よりも深部における透水性は追分火砕流堆積地に比べて大きい可能性があり、その場合には深部から土壌水分の飽和が発生する可能性も少ないと考えられる。

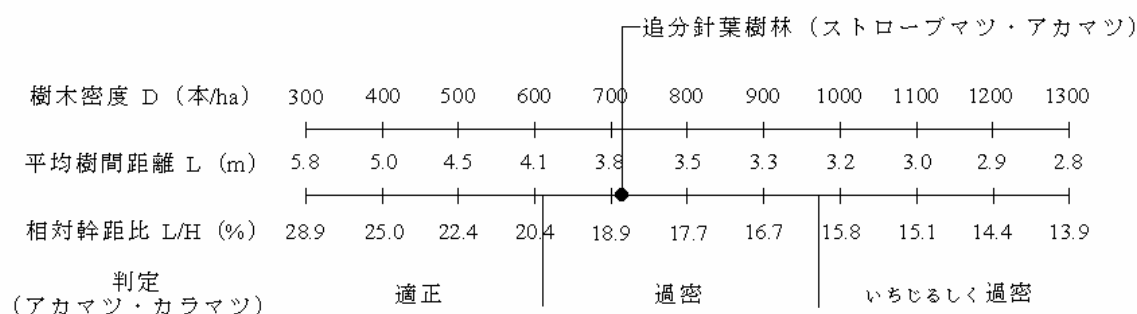
最大瞬間風速を記録する12時間以上前、最大降雨量を記録した6日6時ごろから倒木が発生していることを先に報告した。そうした事例が見られる地域は追分地域より東側に限られ、逆に追分地域、追分以西では知られていない。この違いは、追分より東に多い湿地と、それに比べて飽和しにくい追分火砕流堆積地、第2小諸軽石流堆積地に起因する可能性がある。

3) 樹木

樹木密度が過密となった林分では耐風性が低くなることが指摘されている（鳥田 2006、水井ほか 1984）。そこで、追分北方針葉樹林の樹木密度を求めたところ、樹木密度は 710 本/ha と算出された（表 3）。これは樹木密度の判定の一つの尺度‘相対間距’をもとにすると過密と判定される（図 36）。相対間距とは、平均樹高に対する平均間距（平均樹間距離）の割合を示す尺度である（南雲ほか 1990）。この判定はアカマツやカラマツ林分では樹木密度が適正と判定される相対間距 20～23%（島崎 1999）をもとにした。本地域の平均約 20m の樹高の場合には適正な樹木密度は約 600 本/ha と算出される。したがって、樹木密度を適正にするためには 110 本/ha 以上の間伐が必要であったものと考えられる。

林齢と倒木被害については、林齢が上昇すると被害率が大きくなり40年生以上で最も大きいという報告がある（久保山ほか2003）。ストロブマツの林齢は約47年生と高くなっていたことから、耐風性は低下していたものと考えられる。

上層樹高 H=20mの場合



(判定は島崎 (1999) による)

図36 相対幹距比による林分密度の判定

倒木の樹種はストローブマツとアカマツであるが (表 4)、このうちストローブマツは耐風性の低い樹種とされている (森林総合研究所 2006)。その低い耐風性の原因は、(1)主根の発達が悪く (刈住 1979) 根返りを発生しやすいこと、(2)樹冠が風圧をうけやすいこと (松井 1966) と考えられている。(1)の根系発達の不良に関しては、前節の地質・土壌の項でみたように本調査地のストローブマツの根系において認められた。根系の発達は、植林の仕方、すなわち植栽木と播種木 (実生木) でも異なり、植栽木は、播種木 (実生木) に比べて根系の発達が不良で、引き抜き抵抗力も低い (山寺 2002) とされる。本調査地のストローブマツは植栽木のため、このことも根系の発達を不良とさせた要因と考えられる。

(2)の樹木の地上部の形状は、樹冠長比が 30 であった (表 5)。樹冠長比は、一般に 50 以上あると、耐風性は高いと判断されるが、調査林分はこれを満たしていない。したがって、樹冠長比からは、調査林分の耐風性は低いと判断される。樹高胸高直径比は平均 56 であった (表 5)。樹高胸高直径比は一般に 70 以下であると、耐風性は高いと判断されるが、調査林分はこれを満たしている。したがって、樹高胸高直径比からは、調査林分の耐風性は高いと判断される。しかし、調査林分では高い倒木率を示したことから、調査林分における倒木には、樹高胸高直径比よりも樹冠長比の影響が大きく寄与したと考えられる。すなわち胸高直径は樹高にたいして比較的大きいが、樹高にたいして樹冠の占める割合が小さいことが倒木に影響した可能性がある。

ストローブマツ林内の倒木の約3割はアカマツである (表4)。アカマツは一般に風害に強い樹種とされるが (森林総合研究所2006)、このストローブマツ林ではその林内のアカマツはほとんどが倒木した (図9)。このアカマツの倒木は、ストローブマツの倒木による共倒れと空所形成に伴う風速の大きな風の吹き込みが要因と考えられる。

4)小活

追分北方針葉樹林のストローブマツ林において、約 82%もの樹木が倒木に至った要因は、耐風性の弱い樹木、林分条件と根系の発達を制限する地盤土壌条件が重なったことにあると考えられる。具体的にはストローブマツという耐風性の低い樹種が、耐風性の弱い植栽

法によって植えられており、さらに林齢が高くなり、非常に倒木しやすい状態であったものと考えられる。また、樹木密度が過密であり、樹冠長比が低いことも耐風性を低下させたものと考えられる。加えて、追分火砕流堆積物という土壌条件により、樹木の根系発達が制限されていたことも倒木を発生させる要因となったものと考えられる。

(3)倒木からみた湿地・原野の回復、樹木管理

1)適地にあわせた湿地・原野の維持回復

菅原・橋本（1981）は、軽井沢の森林が保養地、別荘地という地域にあって、「休養に対する評価」など文化的に多様な評価軸により育成されてきたとし、他の地域の「木材生産に対する評価」のみによる森林と対比させて、先駆的と評価している。そして、軽井沢の森林がこうした特徴を備えるに至ったのは、宿場町的な気質が伝統的な土地観に拘泥することなく、新来の都会人の価値観を受け入れてきた故としている。さらに地域住民、別荘居住者がアンケート調査で示した「望まれる森林像」を基に、森林整備の方向について試論を展開している（菅原・橋本・1982）。この菅原・橋本の評価・指向は、風土的統一性のある地域全体の森林像を考えようとはしているが、アンケートを基にしているため、現代人の好みに左右されるうらみがあり、土地固有の自然に対して地域社会が長い年月にわたり折り合いをつけてきた歴史や伝統をどう扱うべきかについては触れられていない。また倒木災害を考慮した森林育成も考慮されていない。

宮脇（2008）は『『本当の森』は、土地本来の森であって、日本人の92%以上が住む照葉樹林域で残っている本物の森はわずか0.06%にすぎない。あるのは土地本来の素肌、素顔の緑からかけ離れた『ニセモノ』の樹林ばかり」、そして『『本物の森』は地中深くまっすぐ根を張る『深根性』『直根性』のため、地震や台風、火事などの災害にも強く・・・』と述べている。軽井沢のカラマツを主体とする森林は、この定義によれば明らかに「本物の森」ではない。カラマツは、本来、土壌が深く、乾きすぎず湿りすぎない土地を好むが（宮脇・1991）、ほかに適樹がないという消極的理由で、もっぱらその植林が進められてきた。また歴史的にも2.2で述べたように、軽井沢は江戸時代より草原や疎林の卓越する地域であった。

広大な湿地や追分原という火砕流台地では、一部区域は過度の伐採の結果であったろうが、追分原のアカマツのように先駆木本としての侵入があっても、樹木は深根性の根を張れないために、樹木よりも草本を主体とする原野の方が現在の土地の特性に合っているかもしれない。そして宮脇（2008）の主張通り、「ニセモノ」のカラマツを主体とする森林は、台風0709号のみならず、それ以前の多くの台風によって繰り返し倒木してきたのである。宮脇は、森林の形成について潜在植生に基づくべきことを論じているのであるが、この考え方は、元来の湿地、原野はそれにあった生態系として維持すべきことに通じよう。

軽井沢の湿地、原野も放置すれば周縁部から先駆樹木が侵入し、そして台風などの非定常的圧迫による倒木などにより、再び湿地、原野に戻る。こうした繰り返しを通じて、長年月のうちには次第に乾燥し、湿地、原野から森林に転じていくと思われるが、居住地域にあっては、そこに至るまで必然的に災害を惹起する。したがって元来の湿地や原野は、

その生態的特徴を土地基盤を含めて維持したり、必要な場合は回復させたりすることが望ましい。

自然保護の観点から、湿地を維持することの大切さはラムサール条約によって良く知られているところであるが、原野についても明治以降、急速に狭小化しており（小椋2006）、これが多くの動植物の稀少化を招いていることから、湿地、原野の維持・回復が望まれるところである。

しかし、現在の軽井沢においては、別荘などの人工物がかつての草原時代に比べて著しく増えている。草原の中に少数の別荘が点在し、それがアクセントになって美景となっていた時代ではない。樹木が目隠しとして必要な状況になっており、少なくともかつての湿地や原野を元に戻すのは現実的ではない。しかし可能な範囲で、それらを維持し、あるいは森林であってもなるべくそれに近い状態で維持することは追求されて良い。以下はそのための試案としての樹種の選択に関する議論である。

2) 樹林の管理

台風0907号による倒木には、さまざまな要因が影響しているが、湿地や火砕流堆積地のような樹木の生育には適していない土地条件の場所であったこと、およびストロブマツやカラマツといった耐風性の低い樹種が倒木被害を拡大させたことが主要因と判断される。そこで、今後の倒木被害を防ぐための樹種の選定では、軽井沢地域の気象条件と土地条件に適合していることが重要である。さらに、樹種は単一樹種ではなく、複数の樹種を組み合わせることも大切である。ここでは特に土地条件の面から適した植生とその管理の検討をおこなう。

軽井沢の湿地の本来の植生は、木本ではなく、低層湿原であればカヤツリグサ科の植物やヨシであり、高層湿原ではミズゴケである（沼田・岩瀬1975）と考えられる。軽井沢地域の多くの湿地では農地とするため、また宅地・別荘地とするために人工的に排水をして乾燥化が進んでいる。しかし、湿地の乾燥化が進んでいるからと言って軽井沢の湿地域に高木の樹木植生が適しているわけではなく、今回の倒木被害のように多量の降雨があれば、周囲から雨水が集中して、再び湿地に戻ってしまう。

このような湿地域においては十分な根系の支持力は望めないため、湿地として維持するのが最善であるが、樹林とする場合には、湿性環境に適応可能であり、あまり樹高の高くない中低木が望ましい。このための樹木の選定では、乾燥化した湿原での木本の侵入樹種が参考になる。すなわち一般に乾燥化した湿原では、早期にはウラジロヨウラク、レンゲツツジの低木が、さらにはノリウツギ、ズミ、ミネザクラ、ナナカマドなどがふえ、やがてシラカンバ、ダケカンバ、ミズナラ、カラマツ、クロベなどが侵入する（沼田・岩瀬1975）。この中の樹種の内、中低木では、根系の支持力が十分に確保されなくても樹木が受ける風圧が小さく重心も低いため倒木しにくいと判断される。そこで湿地への早中期の侵入木本であるウラジロヨウラク、レンゲツツジ、ノリウツギ、ズミ、ミネザクラ、ナナカマドなどの中低木が、軽井沢地域の湿地に適していると考えられる。

大きな砂礫が地表近くに存在する火砕流堆積地では、湿地同様に可能な範囲で原野状態

の回復、あるいは疎林の育成を目指すべきと思われるが、この場合にも火山噴出物の堆積した砂礫からなる裸地での植生遷移が参考になる。浅間山では標高2000mの火口原を例にすると、火山礫の裸地、オンタデ、コメススキ、ガンコウランなどの疎生群落、ニッコウザサの群落、カラマツ、ミヤマハンノキなどの低木群落、それにカラマツ林、カラマツとシラビソの混交状態までの林が認められ、これらの植生はゆっくりと遷移することが知られている（沼田・岩瀬1975）。追分の火砕流堆積地の場合は標高1000mで、実生からのアカマツ林が自然植生と思われるが、火砕流の堆積から約900年しか経過していないから、地質土壌の項目で見たように、植生の立地環境は不安定な状態と考えられる。

植生立地環境が不安定な状態と判断される追分火砕流堆積地では、降雨や風の外力が加わると、樹林は倒木しやすいから、植生遷移の前の状態となるよう、たとえばササ草原とすとか、カラマツ、ミヤマハンノキを低木となるよう維持管理すとか、また本結果でみたように低い倒木率で済んだ針広混交林とすとか、さらに硬度の大きな土壌に対して根系が侵入でき根系支持力の大きな樹種とすることが考えられる。針広混交林の樹種としては、アカマツなどの先駆針葉樹種とクリ、コナラ、ブナ、ミズナラ、サワグルミなどの広葉樹が考えられる。根系の耐堅密性や支持力の大きい樹種には、いくつかの報告（苅住1979、寺田1980）があるが、土地条件に照らした検討が必要である。

植林をおこなう場合には、植栽・育林の管理に注意を払う必要がある。植栽にあたっては、苗木による植栽ではなく、可能な限り種子による播種方式とする。これは、植栽木の根系は細く、短く、直根が消失するのに対して、播種木の根系は太く、長く、直根も発達する（山寺 2008）ためである。また、小苗木は大苗木と比較して根系発達が良い（中村ほか 2002）ため、苗木の場合には小苗植栽とする。さらに、苗木の根を安定させるため、植え穴は根の大きさとし、苗木は地面に直角に植え付ける（鋸谷ほか 2003）。苗木の根系を切断すると、根系の広範囲への伸長を妨げるため（山寺 2008）、耐風性の面からは、苗木の根系は極力切断しないようにする。

育林にあたっては、倒木被害を少なくするためには、間伐・枝払いなどの適切な管理を検討しておく必要がある。間伐が遅れて樹木密度が過密となると、樹木は十分な日照を得られず、樹幹の直径が細くなる。また周囲の樹木と近接していることで、根系や樹冠の発達も阻害される。このような樹木は樹高胸高直径比が大きく、樹冠長比の小さい、耐風性の低いとされる樹形となる（兵庫県森林林業技術センター 2005）。実際にストロブマツ林において間伐強度をかえて樹木密度を変化させた研究（扇田ほか 1956）では、間伐強度の強い（樹木密度の低い）林ほど胸高直径が大きくなり樹高胸高直径比は小さくなった。また、樹冠長および樹冠幅も大きくなり、樹冠長比は大きくなった。さらに根系の面からは間伐は水平根を発達させる（森林の土砂災害防止機能に関する検討委員会 2008）。このため、間伐をすすめて風倒木の発生を少なくするようにする。

間伐にあたってはその時期および樹木密度を、相対幹距などの尺度を用いて判断することが必要となる。ここでは相対幹距を尺度として樹林密度と間伐の関係をみている（図 37）。この図では樹木密度を追分北方針葉樹林と同じ 710 本/ha としており、この樹木密度から

間伐がおこなわれない場合に、樹高の上昇に伴って相対幹距が低下することで、樹木密度の判定が適正から過密になることがわかる。このような相対的な樹木密度の変化に対応するために段階的に間伐をおこない、樹木密度を管理していく必要がある。また、間伐直後には倒木被害が大きくなる傾向がある（木上ほか 2006、水井ほか 1984）から、樹木密度が過密となる前に早めに間伐をおこなうことが重要である。

また、植栽時から疎植とすることや疎な林分管理とすることも風害の抵抗性を高めることに有効と考えられる。

伐期に関しては林齢が高まると倒木の確率が高まる可能性もあり、土壌条件などを加味して決定する必要がある。

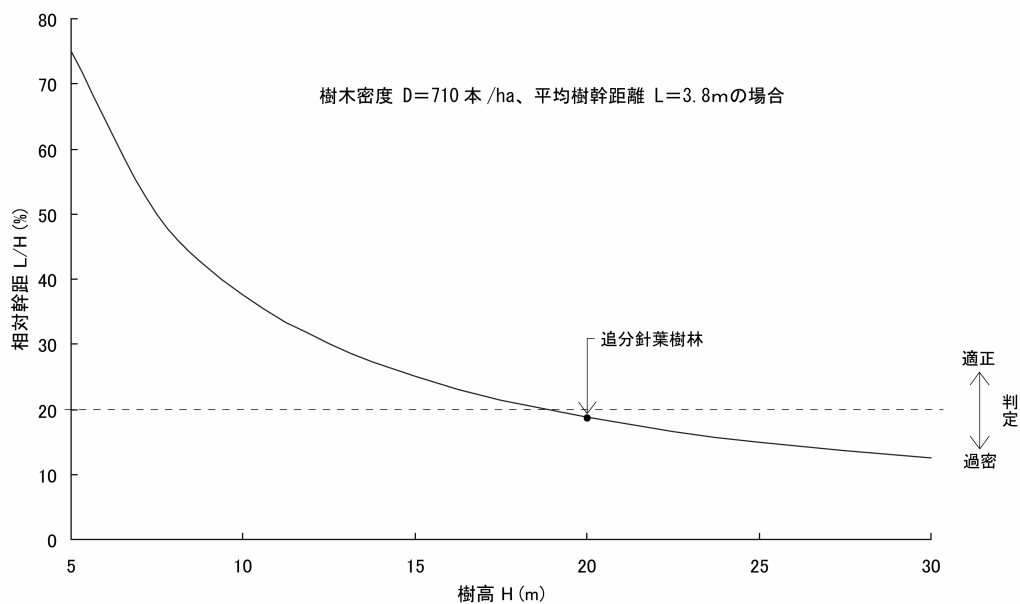


図37 樹高の上昇にともなう相対幹距の変化とその判定

6. おわりにーまとめと倒木調査の意義ー

(1)まとめ

2007年9月の台風0709号は森の町・軽井沢に、多数の樹木を倒木させ多大の被害をもたらした。その倒木について、おもに①地域毎の倒木状況と地区の特性との対応関係、②過去の倒木災害、③樹木の形状・根系・土壌の状況の3点を調査したところ、以下のような特徴が判明し、これらより倒木災害要因の解明を試みた。

強風による樹木の被害は、樹木変形の根返り、傾斜、幹折れの3分類の内、台風0709号では1982年などの災害と異なり根返りが圧倒的に多くなった。樹木の年輪測定により、大多数の樹林（カラマツ主体）は戦後の拡大造林の産物で、樹齢の高いものはわずかに古くからの別荘地に残るが、明治期にさかのぼる樹木は見出せなかった。

現地踏査により倒木率5%と50%を基準とした倒木分布図を作成したところ、両者はいずれも島状の平面形を示し、倒木は連なって折り重なるように倒れていた。倒木発生地の

土地利用は、別荘の建つ区画で少なく、林業地あるいは別荘地であっても別荘が未建築の区画で多くなった。反対に「荒れた」林地、すなわち樹林密度が高く、枯れ木が放置され、下層に雑木が込み合っている林地では、しばしば激しい倒木が見られた。

被害林地の土地条件は、追分を中心とする追分火砕流堆積地域、および湯川畔、地蔵原、南軽井沢などの湿地に集中する傾向があるのに対し、厚い火山灰、軽石層が堆積する千ヶ滝、鶴溜、小瀬などでは倒木が少なかった。これらから、地盤土壌条件が大きな倒木要因であることが示唆される。

戦後の倒木災害の記録からは、1949、1959、1982年の台風で甚だしく、これらとその他の顕著な倒木災害のいずれも最大瞬間風速はおおよそ20m/s以上、降雨は日雨量150mm以上であり、強風とともに豪雨が倒木の必要条件であることを示唆している。季節的には、7月～9月の台風期と比べて晩秋～春にかけての非台風期では強風が頻度・風速共に甚だしいが、倒木災害は報告されていない。これまでの樹木の倒木方向は、いずれも西～南で、台風期の風向の東～東北に対応し、またアカマツの多く、カラマツの一部などの幹が過去の何回もの傾動を反映して湾曲しており、変形の方法も倒木と同じく西～南である。

激甚被害林地となった火砕流堆積地と河川沿岸・湿地、および倒木被害の発生した降下火砕物堆積地の地盤土壌条件を調べたところ、追分原火砕流堆積地では、土壌表層の30cm深以下からシルト分を含む砂礫からなる火砕流堆積物本体が現れる。また透水性は腐植に富む表層では大きい、下層の火砕流堆積物では小さいことが推定され豪雨時の土壌水分増加が予想される。ストロブマツを主体とする針葉樹の国有林内では激甚被害が発生したのに対し、近隣の別荘地林および一部の民有林では倒木は圧倒的に少ない。土壌断面は両林地とも同様であるが、樹木密度はストロブマツ等の針葉樹国有林地で高く、別荘地林および民有林では広葉樹の比率が高く樹林密度は小さい。これらから、火砕流堆積地では、針葉樹のような高木を高密度で生育させるには地盤土壌条件からみて不適と考えられる。

地下水位の高い湿地、湯川などの河川沿岸に見られる倒木には、樹高が20m以上の高木であっても根の深さが30～40cmに過ぎない例がしばしば認められ、また根が鉛直方向に伸展できない結果、側方に拡がり、隣接木の根系と絡まり合って根系のマットすなわち板状体を形成している。これにより連鎖倒木を起こし易くなったことが考えられる。

千ヶ滝、鶴溜、小瀬などの降下火砕物堆積地域では、倒木によって根が軽石層を貫いて深さ1.2mに及んでいるものと、軽石層に阻まれて40～50cmの深さで止まっているものの双方があった。軽石層を貫いていても軽石層は脆弱であり、支持力が増していたかどうかは不明である。これら地域はいずれも傾斜地であり、地下水位が低いことと、降下火砕物の透水性が極めて高いため、豪雨に際しても、容易に飽和しなかったと考えられる。

中部電力の調査によると、倒木が発生し始めるのは瞬間最大風速を記録する時刻の12時間以上前からである。そして、この時間帯は連続降雨量が極大になった直後であった。

以上から倒木の原因は、①追分火砕流堆積地、湿地において根系が浅く倒木を起こしやすかった、②これらの地域は豪雨によって容易に土壌が増加あるいは飽和して支持力の低

下が生じた、③これら地域の分布面積が軽井沢で広がった、④林地の手入れが充分でなく、密度が高すぎた結果、根系の発達が充分でなく、風心高も高く倒木しやすかった、と整理できる。

倒木の状況から、台風の比較的大きな外からの作用により、開発過程で均質化されたと思いがちの元来の土地条件の差異が顕在化し、現在でも依然としてその差異が存在することが明らかとなった。湿地は排水管理がされても大きな降雨時には湿地にもどってしまう。「追分原」であった追分火砕流堆積地は依然として荒れ地の要素を残しているなどである。こうしたことから地盤土壌条件を加味した生態的な林池、原野、および湿地の管理が必要である。

(2)防災の観点

冒頭でも述べたように、従来の倒木調査はほとんどが林業の観点からのものであり、林業と関係のない調査・研究は極めて少ない。軽井沢町の防災施策に倒木災害は全く対象となっておらず、浅間山麓市町村に目を広げても、防災講演会などの啓発活動はほとんど全て浅間火山の噴火に備えたものである。仮に行政当局が倒木を防災施策に加えようとしても、資料がほとんど無く、対応は容易ではないと思われる。

顕著な倒木災害は、1949、1959、1982、2007 年に発生しているから、少なくとも 25 年に一度は覚悟すべきものである。そして居住地が森林地区に広がり、しかも樹齢を確実に重ね続け、倒木が災害を引き起こすリスクは益々高くなっている。甚大な被害をもたらした 2007 年災害の瞬間最大風速は 27.7m であり、1949 年のキティ台風の 30.1m を想起しても今後さらに大規模な災害が発生する可能性を否定できない。浅間火山の噴火を想定すると、噴火が中小規模の場合、軽井沢町の定住地域はほとんどが火口より 8km 以上離れており、衝撃波による被害を除けば人命を損なう可能性は必ずしも高くない。一方、大規模な火山噴火については、今日、GPS による地殻変動観測体制が整うにしがたい、相当期間前の予知を期待できる。事実、浅間火山は 2009 年 2 月 2 日に小噴火を起こしたが、地殻変動の予兆により、前日の予知に成功している。過去 50 年を振り返れば、人命や生活の支障は噴火や、他の災害（水害、土砂災害）に加えて、倒木による被害が大きくなってきている。したがって、防災への日頃の備えとして倒木対策を、加えることが必要になってきている。

本調査は、こうした問題意識に基づいて、地元住民の立場から何らの公的支援を受けることなく実施したものである。自ずから成果に大きな限界があり、今後の組織的な調査・研究の一助でしかないが、防災の実務上、留意すべき諸点を一定程度明らかにし得たと考ええる。これを概ね確度の高い順に記述する。

- ① 著な災害時の倒木方向はほとんど全て西～南である。したがって東～北の高木に警戒する必要がある。
- ② 大木故に根が張り、耐風性があるということはない。大木は大きな風圧を受け、また、樹高に対する根系の充実が相対的に貧しく「しなり」により風を逃がすことも出来ないから倒木しやすいという説もある。したがって高齢木は一旦倒木すれば災害を引き

起こしやすいという側面を重視すべきである。

- ③ 強風が吹いても土壌が凍結している時期に倒木は発生しない。それ以外の季節でも、倒木は先行する豪雨を必要とする。豪雨が甚だしければ、土壌の軟弱化により、最大風速数 m でも倒木が発生する。
- ④ 地下水位の高い土地では根系が薄く、土壌が容易に水で飽和・軟弱になるから、倒木が発生しやすい。
- ⑤ 追分火砕流の地域は、主根が表層のみに張り、また多量の降雨時に浸透した雨水により土壌水分が増加しやすいので倒木が発生しやすい。
- ⑥ 火山灰、軽石の厚く堆積する地域では、透水性が大きく水で飽和・軟弱になる確度が低いから相対的に倒木が発生しにくい。
- ⑦ 樹木密度が大きければ倒木の可能性は高い。樹木を間引くことは、倒木のリスクを大きく下げる。
- ⑧ 針葉樹の高木化はなるべく避け、シラカバ、ニセアカシヤなどを除く広葉樹に置き換える。

(3)「土地条件の再発見」の観点

倒木の多少は、地域の土地条件で大きく異なることをこれまでに示した。倒木は湿地や追分火砕流の地域で多く、降下火砕物の厚い地域で少ないという事実である。しかし災害前に、土地ごとの特性に大きな差があると認識されていたとは言いがたい。むしろ、軽井沢は、至る所に同じようにカラマツの高木がそびえ同じように別荘地が広がっているから、均質な土地のように見える。しかし軽井沢は火山裾野特有の、洪積世末以来の激変する地史を反映して、元来変化に富んだ土地である。農業的土地利用が卓越した時代はそれぞれの土地の特徴を活かして個別の土地利用がなされた。しかし昭和 30 年代以降の、別荘・ゴルフ場の開発、農業構造改善事業、拡大造林などの進捗により、こうした土地条件を均質化するための営為が行われた。その結果、日常的には土地条件の差異が見えなくなってしまった。

明治 11 年に軽井沢を中山道（ほぼ今日の国道 18 号）に沿って旅行した英国の外交官、アーネスト・サトウ（1992）は至るところ湿地であったと書き残している。軽井沢の特徴であった広大な湿地は排水による乾燥化の努力が払われた。その上で、拡大造林が行われた。樹種はほとんどがカラマツであったが、高冷地にあつて成長量の大きな樹種がこれ以外に無かった故でもある。それとともに湿地に強い先駆樹木であったことも大きく関係している。湿地といえばハンノキなどが代表的先駆樹木とされるが、カラマツも地下水面上のごく薄い土壌に根を張ることができ、ニホンカラマツがイギリスの湿地帯の植林に導入されたこともあるくらいである（坂口 1974）。一方、カラマツは高燥の地にも育ち、湿地植生とは見なされないのが一般である。先行した排水が大きな効果を挙げ、最早、湿地ではないと受け取られがちである。台風 0709 号によって倒木した樹の根系の薄さや根の跡に地下水が湧きだしているのを見て、依然として湿地であることを再発見したことも多かった。

借宿、追分など軽井沢町の西側 1/3 近くの裾野は、今日の国土地理院の地図にも「追分原」と注記されているように、永く原野というより荒地状態が続いていた。わずか 900 年前に高温の石礫より成る火砕流が堆積したことによるものである。しかしこの土地も高度利用の努力が払われた。石礫は石積み材「浅間石」としての商品価値が高いこともあって、表層の多くは取り除かれ、また苗の移入による植林によって、現在は多くが樹林によって覆われて、荒地を脱したように見える。しかし倒木の多さや、倒木によって露出した根系は、依然として生育に厳しい土地であることを示している。

環境保全や適切な開発を行うにあたって、土地ごとの特徴を的確に把握しておくことは大切である。倒木は非定常的な、いわば特殊な現象であるが、その調査によってこれまで見落としがちであった空間的に大きく変化する土地条件の一端を再発見することができた。今後、この事実を重く受け止め、さらなる土地条件の調査を充実させることが望まれる。

(4)「守るべき植生」の観点

軽井沢は、柴地、湿地などが卓越する地域であった。これがいつ頃からは明確でないが、野焼きの痕跡である黒ボク土が 1108 年の軽石層の下に厚く埋積されており、先史時代にさかのぼることは間違いなく、氷河時代以来のものである可能性も大きい。樹林も存在したが、小瀬などの奥地を除けば高木が少なかった模様である。壮齢期（カラマツの場合 30～40 年生）になると成長速度が遅くなるとされ、それ以前に伐採・売却しようとする林業上の利益からと思われる。ひるがえって今日の状況をみると、40 年生以上のカラマツを中心とする樹林が軽井沢の至る所を占めており、かつて経験しなかった事態が現れているとみるべきである。

問題は樹林が今後も着実に樹齢を重ね、成熟・安定した生態系を形づくることが出来るのかということである。事実、追分・1000m 林道北のカラマツ林の多くは 50 年前に台風で壊滅し、今回も多くが損傷を受けた。草原、湿地、原野が元々の自然景観である地域については、倒木は元の状態に戻ろうとするプロセスの可能性がある。先行豪雨さえあれば最大風速数 m で倒木が発生するという、特異な現象も看過できない。もとよりそれぞれの土地条件ごとの検討が必要であるが、少なくとも一部地域についてはこの疑いを持たざるを得ない。

謝辞

気象については、気象庁軽井沢測候所で記録の閲覧をさせていただき、気象特性のご教示をいただくとともに、データの一部は気象庁 HP から採録した。軽井沢町・御代田町・小諸市の各地域消防署から災害当時の気象および被害状況について資料を閲覧させていただいた。東信森林管理署には森林施業について情報提供いただいた。国土交通省の HP から気象・災害状況のデータを収集した。中部電力株式会社からは、倒木による配線事故発生の情報提供いただいた。畜産草地研究所御代田研究拠点、および神津牧場からは当時の気象・災害の資料を閲覧させていただいた。三井の森中軽井沢管理センターから写真を提供いただいた。軽井沢町、および一部御代田町の町役場・住民の皆さまから貴重な情報を

提供いただいた。特に大嶋健司氏からの情報により図面を作成することができた。最後になったが、本調査は(財)日本自然保護協会から PRO NATURA FUND をいただき、報告書を公刊することができた。各位に御礼申し上げます。

引用文献

- 岩村田営林署. 1999. 岩村田営林署のあゆみ.
- 扇田正二・佐藤大七郎. 1956. 林分生長論資料(II), いろいろの強さの間伐をした北海道のストローブマツ林. 東大演報, 52, 15-31.
- 大井隆男. 1974. 落葉松人工造林の創始と展開, 信濃, 26-2, 25-3.
- 鋸谷茂・大内正伸. 2003. 図解これならできる山づくり 人工林再生の新しいやり方. 農山漁村文化協会, 東京, 153.
- 荒牧重雄. 1993. 浅間火山地質図. 地質調査所, つくば市.
- 小椋純一. 2006. 日本の草地面積の変遷, 京都精華大学紀要, 30, 160-172.
- 檜山徳治. 1956. 強風に慣れない森林の耐風力の弱さー昭和 29 年 5 月の北海道天然林の風害ー, 日本林学会誌, 38,4, 146-150.
- 荻住昇. 1979. 樹木根系図説. 誠文堂新光社, 東京, 1121.
- 軽井沢サクラソウ会議編. 2005. もう一度見たい軽井沢の草原・湿地. 軽井沢サクラソウ会議, 長野, 216.
- 軽井沢町. 1988. 軽井沢町誌歴史編 (近・現代), 1-754.
- 軽井沢町. 2003. 軽井沢町地域防災計画.
- 木上真一郎・村上拓彦・溝上展也・吉田茂二郎. 2006. 九州における風倒木被害の発生リスクに関する研究レビュー. 九州森林研究, 59, 292-295.
- 久保山裕史・鄭躍軍・岡裕泰. 2003. 主要な森林気象災害の林齢別被害率の推定と考察. 日林誌, 85, 3, 191-198.
- 黒岩保美. 1989. 草軽電気鉄道, エリエイ出版部プレス・アイゼンバーン
- 小出博. 1955. 日本の地すべりーその予知と対策ー. 東洋経済新報社, 東京, 259.
- 坂口豊. 1974. 泥炭地の地学. 東京大学出版会, 東京, 329.
- サトウ アーネスト・庄田元男訳. 1992. 日本旅行日記 1, 東洋文庫 544, 平凡社, 東京, 316.
- 島崎洋路. 1999. 山造り承ります. 川辺書林, 長野, 237.
- 信濃毎日新聞社. 1983. 森をつくる, 信濃毎日新聞社, 長野, 287.
- 森林総合研究所. 2005. 2004 年台風 18 号による北海道森林被害緊急実態調査. 平成 17 年度森林総合研究所年報, 82.
- 森林総合研究所. 2006. 森林被害対策シリーズ No.5 風害・森林火災軽減対策. 森林総合研究所, 10.
- 森林の土砂災害防止機能に関する検討委員会. 2008. 災害に強い森林づくり指針 技術的解説. 長野県林務部.
- 菅原聰・橋本久代. 1981. 軽井沢における森林の意義ー文化的視点からの森林評価ー, 信州大学農学部紀要, 18, 1, 33-68.
- 菅原聰・橋本久代. 1982. 軽井沢の森林整備についての一試論, 信州大学農学部紀要, 19, 2, 81-104.

- 高橋岳生・加藤信介・大岡龍三・村上周三・M.F.Yassin・河野良坪. 2003. 実在地形模型(潮岬)を用いた複雑地形上の風速分布の測定. 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 693-694.
- 高橋孝夫・木平勇吉. 1985. 1982 年台風 10 号による浅間山麓の風倒被害調査, 信州大学農学部森林利用学研究室.
- 玉手三棄寿. 1967. 森林の暴風害とその防除法. 林業技術, 367 : 21-25.
- 寺田正男. 1980. 土壌の堅密度と樹木の根系生長. 日本森林学会誌, 62, 4, 80, 153-155.
- 鳥田宏行. 2006. 2002 年台風 21 号により北海道十勝の防風保安林に発生した風害の要因解析. 日本森林学会誌, 88, 6, 489-495.
- 中村路・中島勇喜・柳原敦・藤原滉一郎. 2002. 庄内空港緩衝緑地に植栽されたクロマツの生育状況及び土壌環境について. 海岸林学会誌, 1, 2, 7-12.
- 長野県林務部. 2007. 平成 19 年台風 9 号災害に関する現地調査報告. 北原曜・中村勤・百瀬直孝・松澤義明・小林文知・工藤和彦
- 南雲秀次郎・箕輪光博. 1990. 測樹学. 地球社, 東京, 177-193.
- 沼田真・岩瀬徹. 1975. 図説日本の植生. 朝倉書店, 東京, 178.
- 長谷川秀三. 2006. 根系深さの推定手法. 日本緑化工学会誌, 31, 3, 346-351.
- 兵庫県森林林業技術センター. 2005. 災害に強い森づくり指針. 兵庫県立農林水産技術総合センター.
- 北海道立北方建築総合研究所. 2009. 台風による森林被害(風害)を軽減するための森林整備技術の開発. 北海道立北方建築総合研究所.
- 松井善喜. 1966. 北海道の森林の取扱いに関する研究Ⅱ, 北海道における各樹種の植栽沿革とその造林成績に対する考察. 林業試験場研究報告, 189, 1-195.
- 水井憲雄・畠山末吉. 1984. カラマツ人工林の台風被害—その特徴と耐風性—. 北海道立林業試験場光珠内季報, 60, 1-6.
- 宮脇昭. 1991. 緑回復の処方箋 世界の植生から見た日本, 朝日選書 427, 朝日新聞社, 東京, 289.
- 宮脇昭. 2008. 見せかけの緑化—相次ぐ偽装、今こそ真偽を見定めて—信濃毎日新聞社, 2008 年 12 月 10 日朝刊, 20.
- 森山郁雄. 1960. 昭和 34 年 7 号台風による小根山国有林の風倒被害. 山脈 前橋營林局報, 11, 44-47.
- 山寺喜成・楊喜田・宮崎敏孝. 2002. 植栽木と播種木との引き抜き抵抗力の相違について. 日本緑化工学会誌, 28, 1, 143-145.
- 山寺喜成. 2008. 環境改善機能が高い緑の再生技術. 道路と自然, 35, 3, 38-42.

図表写真リスト

図

- 図 1 軽井沢地域の概要と主な調査地点の位置
- 図 2 台風 0709 接近時の天気図と経路図
- 図 3 軽井沢測候所における最大瞬間風速の時間変化
- 図 4 群馬県西部から長野県東部における降水量の分布
- 図 5 群馬県西部から長野県東部における風向・風速の分布
- 図 6 樹木年輪調査による発芽年の頻度分布と倒木率
- 図 7 樹木の測定形状
- 図 8 倒木被害の分布図
- 図 9 針葉樹林 倒木平面図
- 図 10 針葉樹林 倒木方位分布
- 図 11 水平根の根直径の変化
- 図 12 針葉樹林 水平根測定木と周囲の樹木配置
- 図 13 針葉樹林 土壌断面図
- 図 14 針葉樹林 山中式土壌硬度計計測結果
- 図 15 針葉樹林 貫入式土壌硬度計計測結果
- 図 16 針葉樹林 SH 型貫入試験機計測結果
- 図 17 混交林 倒木状況図
- 図 18 混交林 山中式土壌硬度計計測結果
- 図 19 混交林 土壌断面図
- 図 20 混交林 貫入式土壌硬度計計測結果
- 図 21 針葉樹（ストロブマツ）と広葉樹（コナラ）の樹形
- 図 22 ヒノキ根系の板状体
- 図 23 湯川河岸 貫入式土壌硬度計計測結果
- 図 24 河川脇の根系と倒木方向
- 図 25 湯川右岸の倒木の根系
- 図 26 三井の森ドミノ倒し状倒木平面図
- 図 27 三井の森ドミノ倒し状倒木地区 貫入式土壌硬度計計測結果
- 図 28 軽井沢町における風速、雨量と配電線故障発生時刻
- 図 29 御代田町における降水量、風速と災害の通報・確認の時刻
- 図 30 旧早稲田グランド付近における 1982 年台風 10 号による被害
- 図 31 早稲田研修所付近における 1982 年台風 10 号による被害
- 図 32 台風期と台風期以外の最大瞬間風速 20m/s 以上の強風の風向別出現頻度
- 図 33 軽井沢町における 2007 年 9 月災害の発生件数と降水量および風速との関係
- 図 34 御代田町における 2007 年 9 月災害の発生件数と降水量および風速との関係
- 図 35 土壌水分変動の時間経過

図 36 相対幹距比による林分密度の判定

図 37 樹高の上昇に伴う相対幹距の変化とその判定

表

表 1 軽井沢測候所における気圧、降水量、気温、風速、風向の時間変化

表 2 樹木の年輪と直径

表 3 針葉樹林 立木と倒木の本数

表 4 針葉樹林 樹種別ライン上倒木数（根返り木）

表 5 針葉樹林 個体調査木

表 6 針葉樹林 水平根測定木周囲の立木と倒木の本数

表 7 針葉樹林 透水試験結果

表 8 混交林 立木と倒木の本数

表 9 混交林 個体調査木

表 10 三井の森 立木と倒木の本数

表 11 軽井沢地域における倒木の樹種・樹体の形状

表 12 強風気象と災害の記録

表 13 過去の顕著な倒木災害と 2007 年 9 号台風による災害との比較

表 14 電力線の回復のための倒木伐採実施状況（中部電力による）

表 15 軽井沢における降水量と風速の極値

表 16 過去 30 年間（1978～2007）に瞬間最大風速 20m/s 以上を記録した回数

写真

写真 1 追分、1000m 林道北の激甚倒木林地

写真 2 ストローブマツとコナラの根系

写真 3 ヒノキの倒木と根系の板状体

写真 4 松並木通りの倒木

写真 5 「治安の礎」東北側の被害

写真 6a 三笠－鶴溜のカラマツ幼木 1960 年 3 月

写真 6b 同斜面、写真 6a の左奥の対岸斜面から撮影 2007 年 12 月

写真 7a、三井の森 1983 年 2 月

写真 7b、三井の森 2007 年 12 月

写真 8a、三井の森 1983 年 2 月

写真 8b、三井の森 2007 年 12 月

写真 9a、三井の森 1983 年 2 月

写真 9b、三井の森 2007 年 12 月

2007 年 9 月台風 9 号による軽井沢地方の倒木被害

－軽井沢の本来の自然を知る－

発行所 軽井沢自然地理研究会

印刷所 田辺印刷

連絡先 軽井沢自然地理研究会 江川良武

〒389-0111 長野県北佐久郡軽井沢町長倉三井の森 1806 江川良武方

TEL 0267-45-8399、E-mail egaways@nifty.com