

1. はじめに

新潟県をはじめとする裏日本・多雪地帯では、冬期は積雪による雪崩れと春期は融雪による雪食や地すべり、山崩れ、洪水等によつて多大な土砂災害が毎年のように発生している。これらの災害発生地は、小径低木ほ伏性の低位利用落葉広葉樹林（通称、ボイ山）の住宅地裏山や高海拔森林の伐採後の不成熟造林地等であるが、近年の新しい傾向としては交通網発達に伴う山間部の土地開発（宅地・スキー場）と道路周辺部における土砂災害の増大が懸念される。とくに、去る昭和56、59年豪雪と同7月の集中豪雨の際には各地で雪崩れや山崩れ、洪水等が頻発したため下流域に大きな被害をもたらした。これまでの研究によれば、雪崩れや地すべりの運動機構は理論的・実験的にもかなり解明されつつあるが、融雪に伴う山崩れや雪食等に関する知見は少ないようである。

本文では、多雪地帯の融雪時に発生する雪崩れや雪食、地すべり、斜面崩壊等に起因する山地荒廃の発生機構を総合的に解析して、防災的な森林施業と対策工法等の指針をえるために、まず土砂災害の実態について既往の知見の整理や現地調査を実施したのでその結果を報告する。

2. 調査地の概要

2.1 立地条件 新潟県魚沼郡を中心とする信濃川中流域地帯は、古くから豪雪地帯として有名で冬期の平均積雪は平野部で2m、山間部では4m以上にも達するため生活条件は厳しいが、その反面スキー場は多い。地質は主として第3紀層で表層土は一般に浅く、周辺には融雪による地すべり発生も多い。また、山地の樹木類は積雪の沈降力や移動圧等で根曲り、斜立木等の雪害林が分布する。

2.2 災害形態と積雪状況 1981年5月～1984年8月における新潟県内の主な気象・土砂災害を表-1に示す。これによれば、県内の主な土砂災害は、冬期は季節風と寒気の移流による強風積雪や雪崩れ災害、春～秋期は低気圧や前線、台風等による地すべり、山崩れ、洪水等に分類される（気象庁、1984）。また、年総雨量約2500mmのうち1400mm余りは冬期の降雪（平均積雪：125日）によつて供給されているため冬期の災害が一般に多い傾向にある。

表-1 観測期間における新潟県内の主な気象・土砂災害

年	月・日	災害の種類	原因・備考	年	月・日	災害の種類	原因・備考
1981 (856)	5.09	ガク崩れ、土石流	低気圧	1983 (858)	9.24	浸水・洪水・土石	台風10号、停滞前線
	12	浸水			30	流・山崩れ・ガク崩れ	(7月：最悪災害)
	6.22	ガク崩れ、浸水	低・温暖前線	10.03	たつ巻	寒冷前線	
	8.20	ガク崩れ、浸水	台風15号	1984 (859)	1.~3.	積雪、凍結	季節風と寒気の移流
	27	洪水・土石流				強風、なだれ	(清津鉄道災害)
10.23	強風・あられ	季節風と寒気の移流	4.~5.		なだれ、地すべり	大循環異常	
1982 (857)	24	落雷				(長期異常低気)	
	4.09	強風・浸水	低・寒冷前線、季節風	7.08	ガク崩れ、浸水	梅雨前線(妙高・笹ヶ峰地区災害)	
	10	山崩れ・ガク崩れ		09			
	7.30	強風・洪水・浸水	台風10号、低・停滞	7.31	強雨、洪水	雷雨と寒気の移流	
	8.03	土石流、山・ガク崩れ	前線(長崎災害)	8.03	ガク崩れ		
9.08	強風、浸水、洪水	台風18号、停滞前線	8.30	浸水、ガク崩れ	温暖前線		
14	土石流・地すべり				(74mm/hr)		
		山崩れ・ガク崩れ					

※ 災害の種類・原因は農業気象年報の分類による。

表-2 最近の積雪諸元(十日町試験地)

西 暦 (年)	積雪深* H ₀ (cm)	積雪密度* ρ _s (g/cm ³)	消雪日 (月・日)	積雪日数 (日)
1982	179	0.310	4.05	114
1983	229	0.340	4.14	105
1984	367	0.330	5.10	166
1985	295	0.270	4.19	124
平均**	189	0.334	4.26	125
1945	425	0.318	5.12	157

* 観測期(1~2月)

** 1917~1980年の平均値

表-2は積雪の諸元の一例を示したもので、これによれば、1982年は平年並み、1984年は積雪深が300cmを超える「豪雪年」であった。豪雪年になると、根雪日数は5カ月以上にもなり長期低温による「しまり雪」と融雪期の雪崩れや大出水等による土砂災害が一般に増大する。

2.3 調査および観測の方法 冬期に積雪による土砂災害を現地調査するのは非常に困難で危険を伴うが、調査時期が遅れると精度の面で信頼性を損ねることになる。そこで、厳冬期でも大きな土砂災害に際しては国立林試・十日町試験地の研究職員を中心にした現地調査を実行し、融雪後期には山間部での雪崩れや雪食等の観測・実験を定点でかつ定期的に継続することにした。さらに、森林の災害防止に関する基礎的な気象観測と雪質調査ならびに土壌水分の変動測定については、十日町市に位置する試験地管内(1917年設立)において総合的に観測して、現地観測値との比較に供することにした。なお、融雪機構に関する気象要因としては、気温、地温、湿度、気圧、風向、風速、日射量、降水量(降雨、積雪深と同密度・硬度)等を経時的に観測した。

3. 土砂災害実態調査の結果と考察

3.1 雪崩れの発生と森林の関係 多雪・豪雪地帯の急斜面においては、積雪は立地条件や気象要因の変化によって複雑な移動形態を示す。図-1は、苗場山国有林(標高1300m)および小松原国有林(同1000m)で調査した森林の施業方法別による立木密度と積雪移動量の関係を示す(佐伯他,1981)。図より、立木密度が200本/haの択伐地の積雪移動量は一冬期でもわずかに1.2m以下で斜面の積雪は非常に安定している。しかし、草地緩斜面やかん木急斜面では立木密度の減少に伴って移動量は次第に増加し、立木密度が100本/ha以下になると移動量は急増して、ついには皆伐跡地では全層雪崩れの常襲地となるようである。

3.2 雪食の発生機構 急斜面で皆伐が行なわれると、伐根は図-2に示すように伐採後9年も経過すると腐朽や積雪グライドによって転倒して伐根の脱落が進行し、雪崩れの発生によって斜面には草本類が生えず、斜面全体の裸地化が進んで侵食が顕著になる。佐伯らによれば、雪食荒廃地で雨と雪食による侵食量を比較すると、雨(春～秋:総雨量500mm)による平均侵食量は $0.02\text{ m}^3/\text{m}^2$ 、侵食深は20mm程度であったが、雪食の場合はそれぞれ $0.04\text{ m}^3/\text{m}^2$ 、44mmとなり、雪食による土砂生産量は降雨の2倍以上にも達した。

3.3 積雪と地すべりの関係 林野庁の地すべり調査によれば、新潟県内に分布する地すべりは1500箇所にも及び、これに他官庁所管の地すべりを合計するとその数は2000箇所以上になる。県内におけるこれらの地すべり発生を月別に区

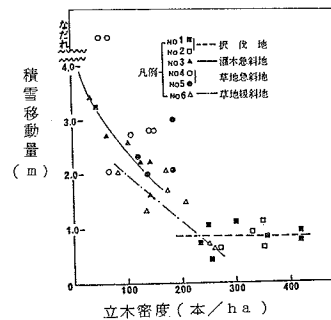


図-1 立木密度と積雪の移動量(佐伯他)

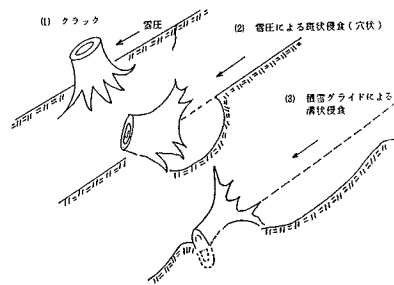


図-2 雪圧による斜面侵食の進行(佐伯他)

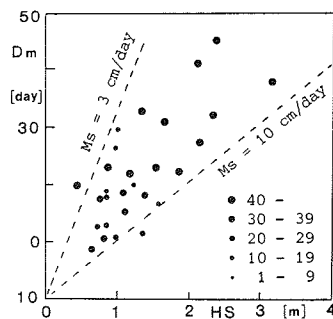


図-3 冬期の地すべり発生と積雪状況(中峠)

分すると、融雪最盛期の4月の占める割合は圧倒的に多く、この前後の3、5月を加えると年間発生
の半数近くが融雪と関連している。図-3は、最大積雪深と最大融雪継続日数の関係を示したもので、
これによると、融雪継続日数が20日を境として地すべりの発生回数が増加し、また融雪期の融雪速
度が 3 cm/day 以上でかつ積雪深が 60 cm 以上の年には地すべりが多い(江口, 1981)。

3.4 斜面崩壊発生の一形態 多雪地帯における斜面崩壊の発生形態は、西南日本地帯の降雨に
よって発生する斜面崩壊とは若干異なっている。現地調査によれば、雪崩れや雪食の発生地周辺にお
いても、林道切取面では積雪のグライド等による法肩部の欠壊に起因する崩壊、幼令造林地内では皆
伐による残存伐根の腐朽や転倒による穴状荒廃地(図-2)にわずかな地割れが発生すると雪圧や降
水の浸透等による相乗作用によって 1 m 程度の小規模な表層崩壊が発生する。これらの林地において、
未崩壊地、雪食地、崩壊地のそれぞれの地表面の土壌硬度(mm)と透水圧(kg/cm^2)を測定したとこ
ろ次の結果がえられた。例えば、地下 10 cm 地点では、未崩壊地の土壌硬度は 15 mm 、透水圧は 0.4
 kg/cm^2 であるが、崩壊地ではそれぞれ 10 mm と 0.3 kg/cm^2 、雪食地では 20 mm と 1.0 kg/cm^2 となつて
いる。これは、雪食地では雪圧やグライド等によって地表面がかなり圧密作用をうけて堅くなるが、
崩壊地では伐根の転倒や地割れ等によって地表面がかく乱されるために未崩壊地や雪食地よりも軟弱
な地盤を形成しやすくなったものと思われる。いずれにしても、多雪地帯の雪食や斜面崩壊の発生と
土砂の流動機構は、降雨による山地崩壊とは異なるようである。

3.5 多雪地帯の森林特性 多雪地帯では各種の土砂災害は積雪に
起因する要素が大きいため、災害を防ぐためには土木構造物とともに森
林の防災機能を高める必要がある。しかし、多雪地帯の斜面に生育する
林木は毎冬期積雪による影響をうけるため、図-4のように根曲りや折
損の被害をうけ易い。さらに、造林技術の面からは、積雪のグライドに
よって埋雪木の枝葉は脱落するためその後の生長は疎害される(吉武、
1984)とともに、枝葉分岐部割れ目周辺に起因する病虫害木発生も
懸念される。以上より、多雪地帯で防災機能を維持した森林を造成する
ためには、立地条件に合致した植栽樹種の選定と森林施業が必要となる。

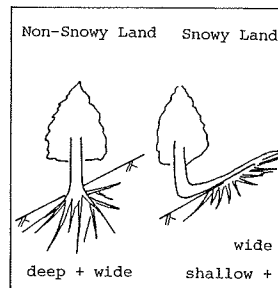


図-4 多雪地帯の根系分布の比較

4. 融雪機構に関する調査

積雪に起因する土砂災害の発生機構を解明するためには、まず積雪
の形態、雪質、融雪機構を経時的にかつ詳細に調査する必要がある。
そこで、十日町試験地内のスギ林斜面(森林土壌)と芝生平坦地(粘
土質土壌)で雪質、融雪、土壌水分変化について観測した。

4.1 積雪の特性 図-5は一冬期間の積雪状況と密度の関係を
示した一例である。積雪密度の変化は、一般に根雪初期(12月)は
新雪期の乾雪 $0.1\sim 0.2$ (g/cm^3)、厳冬期(1~2月)はシマリ雪
 0.3 、融雪期(3~4月)はザラメ雪 0.5 となる。積雪の硬度は地表
面付近ほど硬くなり密度も大きい。これは、積雪の上載荷重によつて
下層が圧密されるためであるが気象条件によるため一定でない。

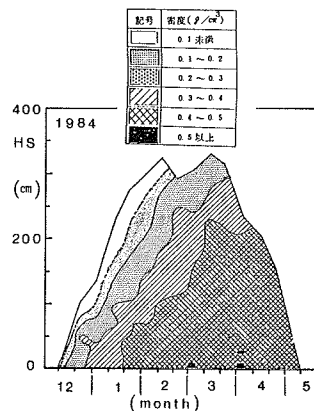


図-5 積雪の状況と密度変化

4.2 融雪量 融雪量の予測式としては、熱収支法、空気力学的手法、気温日数法が提案されているが、本文では、まず融雪期間の気温、風速、日射量、降水量等の気象要因との関係を調べた。その結果、1984年春期の融雪量に関する重回帰式として次式がえられた。

$$M_s = 0.618T + 0.252R_d + 0.247W \text{ (cm/day)}, \quad R = 0.882$$

ここに、 M_s : 日融雪量, T : 気温, R_d : 日射量 ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{day}$), W : 風速, R : 重相関係数で、 F 検定から降水量は本データの場合には相関性はなかった。これを従来の気温日数法によって融雪量を求めれば、 $M_s = 10.0 \text{ mm}/^\circ\text{C}/\text{day}$ なる値がえられた。

4.3 雪層内の浸透特性 図-6は、平坦地と同・雪えくぼ(凹地)および斜面の積雪層表面に散布したメチレンブルー粉の自然融雪に伴う浸透状況を示した一例である。平坦地では融雪水は鉛直方向に浸透を開始するが、湿ったザラメ層に到達するとしばらく滞留した後、上層からの浸透水の供給によって再び拡散しながら浸透を開始する。しかし、自然降雨 $18 \text{ mm}/\text{day}$ に伴う融雪水は雪層断面のほぼ中央部のザラメ層内に全て滞留する。雪えくぼの場合も平坦地とほぼ同様な傾向を示すが到達距離は若干下部のザラメ層になる。一方、斜面の場合は浸透水の主流部は鉛直方向に浸透するが一部は傾斜方向に側方流的な流れを呈しながらそれぞれザラメ層に到達した後、さらに鉛直および傾斜方向に拡散しながら再び浸透をくり返ししながら、最終的には地表面上に到達する形態を示す。

4.4 土壌水分の変化 融雪期間……1982年冬期の土壌水分変化は次のようである(図-7)。積雪深が 30 cm 以下の根雪初期は、根雪以前の降水によって地表面が湿った状態にあるためわずかな降水によっても地表面近く(地下 $10 \sim 20 \text{ cm}$)は変化するが、積雪が 50 cm 以上の厳冬期では変化はない。そして、融雪後期には再び融雪水の浸透によって変化するが、この時の日雨量 20 mm 以上の連続降雨の際には地下 50 cm 地点まで浸透水は急速に到達する過程が示されている。

降雨期間……梅雨期から晩秋期にいたるまでの変化は次のようである。日雨量 20 mm 以上の連続降雨(梅雨, 秋雨)や前線を伴う台風(総雨量 200 mm 以上), 雷雨性強雨(同 40 mm)の場合には降雨は地表面近くには容易に浸透し、一部は地下 50 cm までも到達するが、短時間の雷雨(20 mm)や日雨量 10 mm 程度の降雨では土中への浸透はさほど多くないため変化はない。

5. あとがき 今後はこれらの総合的な調査の継続と融雪と土砂災害の発生機構の解析ならびに防災的森林施業等の検討を加えたい。最後に、本調査に際し多大な御協力と資料提供を頂いた国立林試・十日町試験地の渡辺成雄主任、大関義男主任研究官、庭野昭二技官に感謝の意を表します。

引用文献 (1) 江口正紀: 14回砂防シンポ, P64, 1981, (2) 岩元 賢他: 日林関東支論, 1985, (3) 佐伯正夫他: 雪氷, 43-1, P15-20, 1981

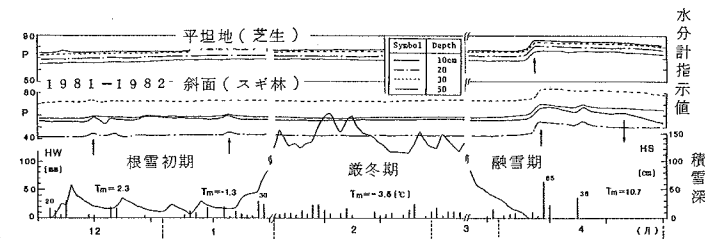


図-7 一冬期間における積雪と土壌水分の関係

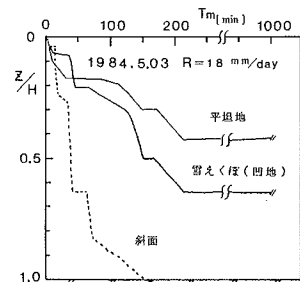


図-6 融雪水の浸透特性