



Title	北海道北部の山火事跡地にみられる崩壊裸地の時間的推移
Author(s)	鈴木, 啓助
Citation	環境科学 : 北海道大学大学院環境科学研究科紀要, 2, 1-21
Issue Date	1979-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37096
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_1-21.pdf



環 境 科 学 (北海道大学)	No. 2	1 ~ 21	1979・3月
-----------------	-------	--------	---------

北海道北部の山火事跡地にみられる 崩壊裸地の時間的推移

鈴 木 啓 助*

Transition of landslide scars on the *Sasa*-covered slopes
resulting from forest fires in Northern Hokkaido

Keisuke Suzuki*

Summary

Since early 1900's most parts of the Neogene hill-lands in Northern Hokkaido have experienced forest fires several times. In the present-day, the slopes suffered forest fires are covered with *Sasa* vegetation, and many landslide scars are distributed on these slopes.

The purpose of this paper is to explain the effect of forest fires on the occurrence and maintenance of landslides.

Transitions of the areas of 275 landslide scars for the periods 1960–1970 and 1970–1975 are examined by photogrammetry. The areas of landslide scars are computed by the equation

$$S = \left(\frac{f}{H} \right)^2 \left(\cos \theta + \frac{f}{r} \sin \theta \cdot \cos \alpha \right)^{-1} \cdot S$$

where S = area of landslide scar
 S = area of landslide scar on airphoto
 H = flying height
 f = focal length
 θ = slope angle of landslide scar
 r = distance between principal point and crest of landslide scar on airphoto
 α = angle between radial-line from principal point and direction of landslide scar on airphoto.

The results of the examination are summarized as follows:

* 北海道大学大学院環境科学研究科環境基礎学研究室 1978年12月13日受理

* Laboratory of Fundamental Research, Division of Environmental Structure, Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo

Received Dec. 13, 1978

1) Landslide scars concentrate on the south-facing, very steep and concave slopes which experienced forest fires and are covered with *Sasa*.

2) The total area of landslide scars in the studied region is 160,985m² in 1960, 307,559m² in 1970 and 302,826m² in 1975.

3) The expanded area of landslide scars is 113,058m² from 1960 to 1970 and 28,727m² from 1970 to 1975. The area of landslide scars recovered with *Sasa* is 6,527m² and 41,466m², respectively.

4) The rate of expansion of the areas is 0.103m²/m²·year from 1960 to 1970 and 0.0891m²/m²·year from 1970 to 1975. The rate of recovery of the areas is 0.0286m²/m²·year and 0.0468m²/m²·year, respectively.

5) The succession of landslide scars (circular stripped – coalescent – enlarged) is made clear.

6) The modification of vegetation by forest fires has accelerated the occurrence of snow-avalanches, and has changed the hydrologic cycle. In conclusion, landslide scars have occurred on the slopes covered with *Sasa*.

7) The rate of erosion on the slopes covered with *Sasa* is estimated at 1,039m³/km²·year for 1960 – 1970 and 528m³/km²·year for 1970 – 1975.

I はじめに

自然環境の最も重要な構成要素のひとつである大地が、直接・間接の人為的作用によって改変されることは、自然環境を考える上で重要な問題である。特に、改変に起因して土砂災害が発生する可能性のある時には、その予測と対策を十分に行う必要がある。ところが、自然環境を構成するある要素を改変することにより、その影響が他の構成要素を次々に変化させる結果となることは、よく知られたことであるにもかかわらず、その因果関係を結果論として論ずるのに比して、予測することは現在のところ極めて困難である。そこで、予測を行うためには、土砂災害の原因となる多種多様な人為的作用について、過去の事例をもとにしてそれぞれの因果関係を検討することが必要になってくる。

ここではひとつの事例として、人間の不注意による山火事が原因となって形成された、北海道北部丘陵地の崩壊裸地について、その斜面特性と時間的推移を調査し、山火事と崩壊との関係について若干の検討を行った。

II 調査地域

調査地域は、稚内の南東約50kmに位置する新第三紀層丘陵地であり（図1）、地質は硬質頁岩よりなる稚内層が主に分布し、勇知層・声間層・増幌層等を含んでいる（松井，1973）。

地形的な特徴は、尾根部で凸型斜面が卓越し、斜面下部には凹型斜面が分布していることである（図1・図2）。主要な谷は東西方向に走っており、南・北向きの斜面が多い。

この地域では、1926年6月・1929年6月等、過去に12回にわたって開墾火入の延焼による大規模な山火事が発生し、森林植生はその林相を広く破壊された（北海道大学演習林，1963）。その後木本が再生しなかった斜面は、今日に至るまでチシマザサ（*Sasa kurilensis*）に覆われている。今日までササ地となっているのは、ほとんどが南向き斜面であり（図1）、ササ地斜面の多くには崩壊裸地が形成されている（図3）。

調査地域の気候的な特性は、問寒別における1966年から1975年までの10年間の資料（農林省・気象庁，1978）によれば、年平均気温5.1℃、最暖月（8月）の平均気温19.3℃、最寒月（2月）の平均気温−9.8℃で、最高・最低極値はそれぞれ32.6℃（1970年8月22日）・−34.0℃（1969年1月30日）である。日最低気温が0℃以下になる年間平均日数は174日である。年平均降水量は1,489mmで、4月が最も少なく月平均59mm、最も多いのは11・12月の月平均181mmである。最大日降水量は1970年10月25日に記録された140mmである。平均最深積雪は156cmである。また、地形・植生とも関係した現象であるが、調査地域には積雪期に雪崩が多い。このように、気候的にはいわゆる積雪寒冷地と呼ばれる地域である。

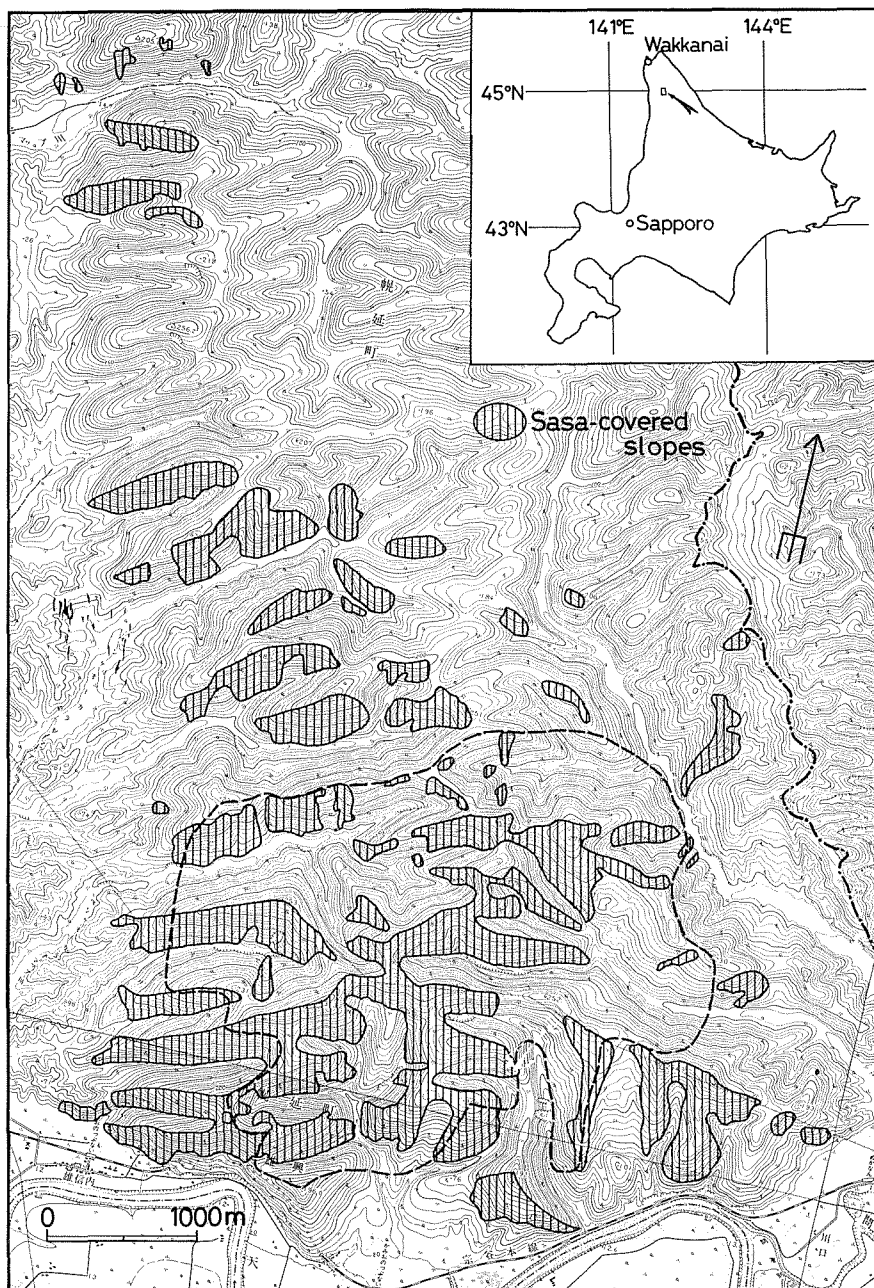


図 1 調査地域の地形およびササ地の分布

この地図は、国土地理院発行の2万5千分の1地形図（安牛・雄信内・上間寒別・間寒別）を使用したものである。

Fig. 1. Topographic map of the studied region and distribution of the *Sasa*-covered slopes.

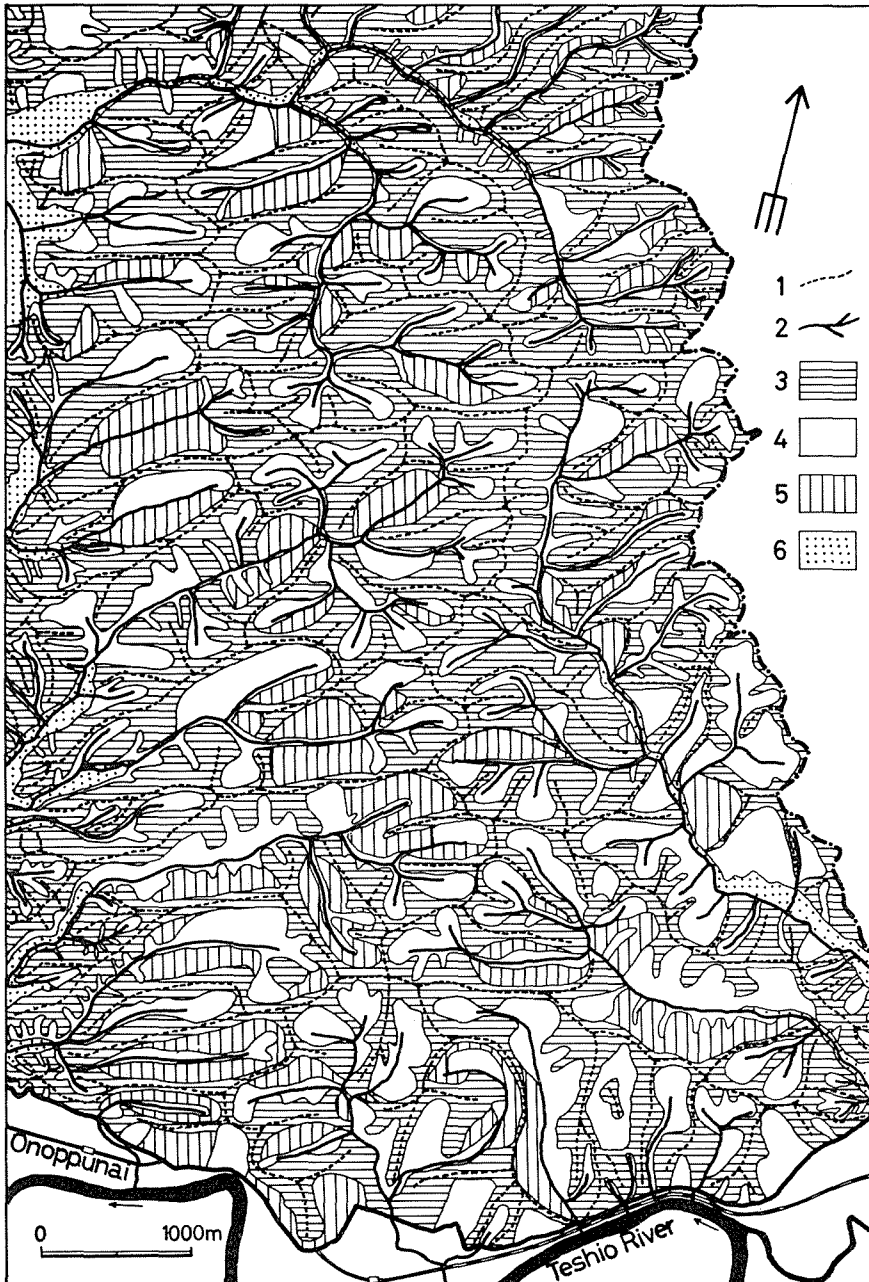


図 2 調査地域の地形分類図

1. 稜線 2. 水系 3. 凸型斜面 4. 凹型斜面
5. 等齊斜面 6. 谷底平地

Fig. 2. Geomorphological map of the studied region.
1 = ridge line, 2 = stream, 3 = convex slope, 4 = concave
slope, 5 = straight slope, 6 = valley flat.

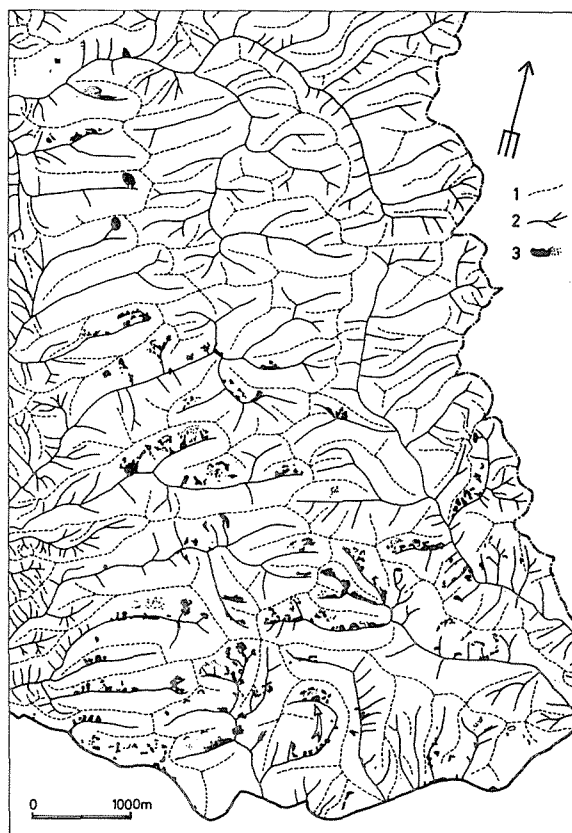


図 3 調査地域における崩壊裸地の分布
(1975年5月31日撮影の空中写真による)
1. 稜線 2. 水系 3. 崩壊裸地

Fig. 3. Distribution of the landslide scars in 1975.
Plotted from air photographs taken on May 31, 1975.
1 = ridge line, 2 = stream, 3 = landslide scars.

Ⅲ 崩壊裸地の斜面特性

まず、1975年5月31日撮影の空中写真を用いて、崩壊裸地の斜面特性を調べた。とりあげた斜面要素は、傾斜・溪床からの比高・方位・垂直断面型・水平断面型・植生である。傾斜・溪床からの比高・方位は、崩壊裸地を空中写真から地形図上にプロットし、地形図上で計測した。溪床からの比高は、溪床から崩壊裸地頂部までの高度差である。垂直断面型・水平断面型・植生は、崩壊裸地の形成されている斜面の特性であるが、これらは空中写真によって判読を行った。

調査地域に分布する275個の崩壊裸地について、それぞれの斜面要素を計測した。斜面要素のカテゴリー区分と調査結果を表1に示す。傾斜では30°から45°までの急傾斜を示すものが多

表 1 崩壊裸地の斜面特性
Table 1. Characteristics of landslide scars.

Factor	Category	Number	Percentage
slope angle (degree)	10— 18	4	1.5
	18— 30	68	24.7
	30— 45	200	72.7
	45—	3	1.1
relative height from valley bottom (m)	0— 30	122	44.4
	30— 60	92	33.5
	60— 90	28	10.2
	90—120	19	6.9
	120—150	14	5.1
slope direction	N	2	0.7
	NE	3	1.1
	E	30	10.9
	SE	76	27.6
	S	111	40.4
	SW	33	12.0
	W	14	5.1
	NW	6	2.2
slope type in profile form	convex	20	7.3
	straight	96	34.9
	concave	159	57.8
slope type in plan form	convex	52	18.9
	straight	44	16.0
	concave	179	65.1
surrounding vegetation	wood	24	8.7
	wood & Sasa	25	9.1
	Sasa	226	82.2

く、全体の72.7%を占めている。さらに、溪床からの比高が大きくなるに従って、崩壊裸地の個数が減少していることを考え合わせると、崩壊裸地の多くは斜面下部の急傾斜地に分布していることがわかる。

方位に関しては、南向きが多く40.4%を占めている。これに南東・南西向きも加えると80%に達する。これは、前述したように山火事後チシマザサに覆われているところが南向き斜面に多い、という事実と対応している。

斜面型は、垂直断面型・水平断面型とも凹型が最も多い。図2を見ると下部斜面に凹型の斜面が広く分布しているが、こういった斜面に多くの崩壊裸地が形成されているのである。

崩壊裸地のまわりの植生は、ササ地が最も多く全体の82.2%を占めている。このことから、調査地域にみられる崩壊裸地は、そのほとんどが山火事によって森林を焼失し、その後木本が

再生せずチシマザサに覆われている斜面に形成されていることがわかる。

以上のことから、調査地域の崩壊裸地は、チシマザサに覆われた南向き斜面下部の傾斜の急な凹型斜面に多いといえることができる。

山火事跡地が、ササ地のままで森林が再生しないのは、森林の焼失後ササの回復が早く、発芽床が広く得られなくなったためである（北海道大学演習林，1963）といわれている。

IV 崩壊裸地の時間的推移

1975年撮影の空中写真の判読から、崩壊裸地が山火事跡地に選択的に分布していることが明らかになった。

次に、崩壊裸地の時間的推移を、撮影年代の異なる3種類の空中写真を用いて調べる。使用した空中写真は、1960年7月9日撮影の山-192、1970年8月29日撮影のHO-70-1Xと1975年5月31日撮影のHO-75-1Xの3時期のものである。

1) 崩壊裸地の形態分類

調査地域に分布する崩壊裸地は、形態と斜面上の位置によって図4に示すような6種類の型に分類できる。円形剥離型は円形の裸地が群状に斜面に分布するもので、円形剥離型が数個連なったような形態を示すものを連合型とした。溪頭型と溪岸型はともに溪床に接する崩壊裸地で、溪頭部のものを溪頭型とし、それ以外を溪岸型とした。地すべり地縁辺型は地すべり地の滑落崖に形成された崩壊裸地である。これら5つの型にあてはまらない比較的面積の大きな崩壊裸地を拡大型とした。そして、調査地域の崩壊裸地を、3つの年代にわたって空中写真上でそれぞれ6種類の型に分類した。

2) 崩壊裸地面積の測定方法

1975年の空中写真上に認められる崩壊裸地について、1960年と1970年の空中写真上で同じ位置に形成されている崩壊裸地と対比し、ひとつひとつの崩壊裸地の撮影時ごとの面積を計測し、

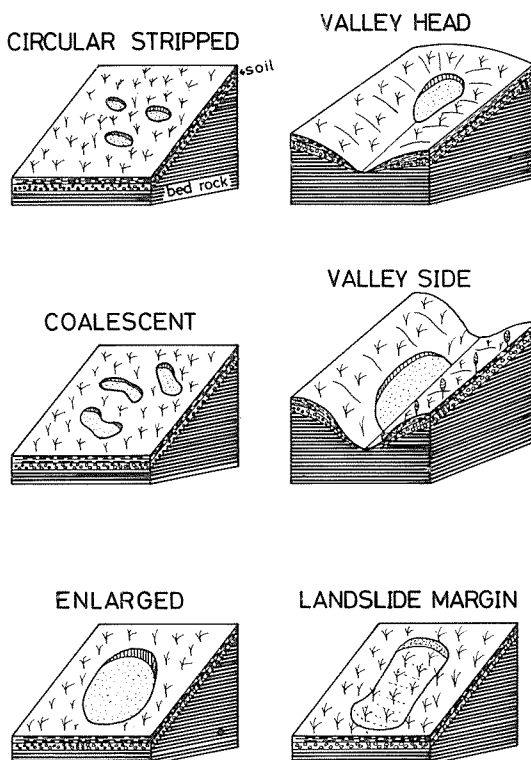


図4 崩壊裸地の型

Fig.4. Scar type classification.

その時間的推移を調査した。

空中写真を用いて起伏のある地域で面積を計測する場合、起伏による像の歪みを補正しなければならない。そこで、空中写真上での崩壊裸地面積 S' から実際の崩壊裸地面積 S を求めるため、補正項を考慮した次の式を用いることにした。

$$S = \left(\frac{H}{f}\right)^2 (\cos\theta + \frac{r}{f}\sin\theta \cdot \cos\alpha)^{-1} \cdot S' \quad \dots (1)$$

S ：実際の崩壊裸地面積

S' ：空中写真上での崩壊裸地面積

H ：対地撮影高度

f ：カメラ・レンズの焦点距離

θ ：崩壊裸地の傾斜

r ：空中写真上での主点から崩壊裸地頂部までの距離

α ：主点からの放射線と崩壊裸地の傾斜方向とのなす角

藤原・倉持（1965）、勝見（1965）は、日高地方の新第三紀層における崩壊裸地面積を、(1)式と同じような式を用いて単写真法によって計測しているが、その際に空中写真上での崩壊裸地面積 S' を求めるのに0.5mm方眼を用いている。しかし、(1)式を見てもわかるように S' の精度が崩壊裸地面積 S の精度に直接反映するので、0.5mm方眼による S' の計測では面積の小さな崩壊裸地の場合誤差が大きくなり、崩壊裸地の時間的推移を検討するのに適当でない。そこで、 S' は10mm/100の方眼マイクロメーターを装着した顕微鏡によって計測を行った。顕微鏡の倍率を高めることにより S' の測定精度は高くなるが、ここではひとつの方眼が空中写真上で0.0278mm²に相当する倍率で測定した。これは、2万分の1の空中写真を使用したとすれば面積11.1mm²に相当する。方眼の5分の1を目測で測定すれば、約2mm²の誤差で崩壊裸地面積を求めることができる。崩壊裸地の傾斜 θ は、10°の測定誤差があっても崩壊裸地面積には1%内外の誤差でしか反映しないので地形図上で計測した。

3) 新しく形成された崩壊裸地

1975年には、調査地域で275個の崩壊裸地を数えることができたが、1960年には200個、1970年には255個であった。つまり、1960年から1970年までの10年間に55個、1970年から1975年までの5年間に20個の崩壊裸地が新しく形成されたことになる。しかし、円形剝離型と連合型の崩壊裸地については、群状に分布するので隣接する数個を分離して異なる年代ごとに対比することが困難なため、隣接するものはまとめて1個として計数した。そのため、新しく形成された崩壊裸地の数は、実際より少なく見積られている。

(1)式によって計測した崩壊裸地面積を、年代別に6種類の型に分類し表2に示す。そして、1960年から1970年までと1970年から1975年までの間に新しく形成された崩壊裸地の面積を、型ごとにまとめて表3に示す。1960年から1970年までの期間には、39,251mm²の崩壊裸地が調査地域で新しく形成されているが、1970年から1975年までの5年間では7,787mm²である。年平均

表 2 型ごとの崩壊裸地面積
Table 2. Area of landslide scars for every scar type.

Scar type	1960		1970		1975	
	Area (m ²)	Number	Area (m ²)	Number	Area (m ²)	Number
circular stripped	2,582	(16)	270	(4)	0	0
coalescent	14,103	(43)	23,290	(54)	20,021	(47)
enlarged	89,793	95	189,733	142	191,821	166
valley head	4,756	5	6,458	6	6,643	7
valley side	40,086	26	71,733	34	70,340	40
landslide margin	9,665	15	16,075	15	14,001	15
total	160,985	200	307,559	255	302,826	275

() : number is smaller than actual number.

表 3 新しく形成された崩壊裸地
Table 3. Area of newly occurred scars.

Scar type	1960 — 1970		1970 — 1975	
	Area (m ²)	Number	Area (m ²)	Number
circular stripped	244	(3)	0	0
coalescent	5,911	(21)	1,915	(8)
enlarged	27,034	22	3,270	5
valley head	244	1	243	1
valley side	5,818	8	2,359	6
landslide margin	0	0	0	0
total	39,251	55	7,787	20
yearly mean	3,925.1	5.5	1,557.5	4.0

() : number is smaller than actual number.

をとってみると、3,925.1m²と1,557.5m²であり、前の期間のほうが新しく形成された崩壊裸地の面積は明らかに多いといえる。

4) 崩壊裸地面積の変化量

表 2 の各年での崩壊裸地面積の総和を比較すると、1960年から1970年までの期間では面積が約 2 倍に拡がっており、1970年から1975年までの期間ではほとんど変化していないように思われる。しかしながら、これは総和としての変化であり、個々の崩壊裸地はそれぞれの期間で多種多様に変化している。そこで、崩壊裸地の型による変化のパターンごとに拡大量・縮小量を表わしたのが表 4 である。拡大量・縮小量は、1970年の崩壊裸地面積から1960年の崩壊裸地面積を引いて、正の値をとるものを1960年から1970年までの拡大量、負の値をとるものを縮小量としたものである。1970年から1975年までの拡大量・縮小量についても同様である。しかし、単写真法によって崩壊裸地面積を求めた場合の誤差を考慮して、変化量がはじめの面積の

5%に満たないものは変化していないものとした。空中写真によって異なる年代の崩壊裸地の型を比較すると、変化のパターンはここにあげた9通りとなる。上の6通りは、型は同じであるが面積に変化の認められるものである。これは型の定義から当然なことであるが、溪頭型・溪岸型・地すべり地縁辺型は他の型に変化することはない。それに比して、下の3通りに見られるように、円形剝離型・連合型は拡大して連合型や拡大型に変化するものがある。ただ、今回の調査では縮小によって型が変わったものは認められなかった。

1960年から1970年までと1970年から1975年までを比較すると、前期では拡大量が縮小量を大幅に上まわっている。ところが、後期ではそれが逆転し縮小量のほうが拡大量より大きくなっている。個々の変化のパターンで見ると、1960年から1970年までの10年間では、拡大型と溪岸型の拡大および連合型から拡大型への拡大量が著しく多い。また、縮小量では拡大型が全体の74.3%を占めている。この期間中に新しく形成された崩壊裸地の面積でも拡大型が多かったが、このことから、面積の変化量に果たす拡大型の役割は極めて大きいことがわかる。1970年から1975年までの5年間では縮小量が大きいのであるが、この期間でも拡大型が変化量に果たす役割は重要である。

調査地域における崩壊裸地の縮小は、ササの侵入によってなされていることが空中写真判読から認められる。

5) 変化率および変化速度

変化率として、表4の拡大率・縮小量を期間当初の面積で割ったものを拡大率・縮小率とし、変化速度としては、拡大率・縮小率を期間の年数で割ったものを拡大速度・縮小速度として表5に示す。

1960年から1970年までの10年間で、調査地域において拡大した崩壊裸地の拡大率は $1.03\text{m}^2/\text{m}^2$ であり、10年間で面積が約2倍になっていることがわかる。変化のパターンごとのこの期間における拡大率は、型の変化しない拡大でほとんど同じ値を示している。この期間では、各型の崩壊裸地が一樣な割合で拡大していたものといえる。一方、型が変わっているものでは、その拡大率が極めて高く、円形剝離型から拡大型に拡大しているものについては $12.0\text{m}^2/\text{m}^2$ と、10年間で面積が13倍になっている。縮小量については、変化のパターンによって値が大きく変動している。このことについては、崩壊裸地の植生の侵入による復旧が、崩壊裸地の型によってどのように異なるかという問題も含めて今後の検討が必要とされる。

先の10年間では、型の変化しない拡大の場合、拡大率がほぼ同じであったが、1970年から1975年までの期間では、地すべり地縁辺型の拡大率が大きくなり、溪岸型で小さくなっている。この相違は、溪岸型の場合、他の型の崩壊裸地と異なり、その地形的な制約から拡大がある時期になると抑制されるためではないかと考えられる。溪岸型の崩壊裸地では、拡大することによって生産された土砂が、崩壊裸地自身の下部に崖錐となって堆積するため、その土砂が水流によって運搬されなければ傾斜が小さくなり、さらに斜面基部が洗堀からまぬがれるので、斜面

表 4 崩壊裸地面積の変化量
Table 4. Amount of transition of scars' area.

Pattern of transition	1 9 6 0 - 1 9 7 0				1 9 7 0 - 1 9 7 5			
	Expanded area (m ²)	Mean (m ² /year)	Recovered area (m ²)	Mean (m ² /year)	Expanded area (m ²)	Mean (m ² /year)	Recovered area (m ²)	Mean (m ² /year)
circular stripped - c. s.	0	0	68	6.8	0	0	0	0
coalescent - coalescent	4,101	410.1	90	9.0	2,240	448.0	3,358	671.6
enlarged - enlarged	36,613	3,661.3	4,847	484.7	16,288	3,257.6	28,987	5,797.4
valley head - valley head	1,642	164.2	173	17.3	311	62.2	380	76.0
valley side - valley side	26,942	2,694.2	1,103	110.3	1,613	322.6	5,564	1,112.8
landslide margin - l. m.	6,656	665.6	246	24.6	1,053	210.6	3,177	635.4
c. s. - coalescent	5,024	502.4	0	0	1,198	239.6	0	0
c. s. - enlarged	2,514	251.4	0	0	0	0	0	0
coalescent - enlarged	29,566	2,956.6	0	0	6,024	1,204.8	0	0
total	113,058	11,305.8	6,527	652.7	28,727	5,745.4	41,466	8,293.2

表 5 崩壊裸地の変化率および変化速度
Table 5 Transition rate of landslide scars.

Pattern of transition	1960-1970				1970-1975			
	Expansion rate (m ² /m ²)	Recovery rate (m ² /m ² · year)	Expansion rate (m ² /m ²)	Recovery rate (m ² /m ² · year)	Expansion rate (m ² /m ²)	Recovery rate (m ² /m ² · year)	Expansion rate (m ² /m ²)	Recovery rate (m ² /m ² · year)
circular stripped-c. s.	0	0	0.723	0.0723	0	0	0	0
coalescent-coalescent	0.841	0.0841	0.516	0.0516	0.414	0.0828	0.373	0.0746
enlarged-enlarged	0.760	0.0760	0.300	0.0300	0.362	0.0724	0.285	0.0570
valley head-valley head	0.861	0.0861	0.084	0.0084	0.347	0.0694	0.372	0.0744
valley side-valley side	0.755	0.0755	0.347	0.0347	0.283	0.0566	0.104	0.0208
landslide margin-l. m.	0.787	0.0787	0.204	0.0204	0.678	0.136	0.266	0.0532
c. s. -coalescent	2.21	0.221	0	0	4.43	0.886	0	0
c. s. -enlarged	12.0	1.20	0	0	0	0	0	0
coalescent-enlarged	3.67	0.367	0	0	1.07	0.214	0	0
total	1.03	0.103	0.286	0.0286	0.445	0.0891	0.234	0.0468

山人跡崩壊裸地の時間的推移 (鈴木)

の急峻化に起因する拡大が減少するものと思われる。

拡大速度および縮小速度によって、1960年から1970年までの期間と1970年から1975年までの期間での崩壊裸地の変化を比較すると、後の5年間では拡大速度がやや小さくなっているが、縮小速度は大きくなっていることがわかる。

6) 崩壊裸地の型ごとの推移

崩壊裸地の型ごとの推移の仕方を表6にまとめた。これは変化の割合を面積によって求めたものである。()内の面積は期間当初のその型の崩壊裸地面積の総和である。この表から、円形剝離型から連合型へ、さらに拡大型へという拡大のパターンが認められる。表5で、1960年から1970年までの10年間に円形剝離型から拡大型に拡大した崩壊裸地の拡大率が $12.0\text{m}^2/\text{m}^2$ で

表 6 . 崩壊裸地の型ごとの推移
Table 6 . Transition of landslide scars.

Scar type	1960—1970	1970—1975
circular stripped	(2,582m ²)	(270m ²)
expansion	0 %	0 %
recovery	3.6 %	0 %
expansion to coalescent	88.2 %	100 %
expansion to enlarged	8.2 %	0 %
maintenance	0 %	0 %
coalescent	(14,103m ²)	(23,290m ²)
expansion	34.6 %	23.2 %
recovery	1.2 %	38.7 %
expansion to enlarged	57.2 %	24.2 %
maintenance	7.0 %	13.9 %
enlarged	(89,793m ²)	(189,733m ²)
expansion	53.6 %	23.7 %
recovery	18.0 %	53.6 %
maintenance	28.4 %	22.7 %
valley head	(4,756m ²)	(6,458m ²)
expansion	40.1 %	13.9 %
recovery	43.3 %	15.8 %
maintenance	16.6 %	70.3 %
valley side	(40,086m ²)	(71,733m ²)
expansion	89.0 %	7.9 %
recovery	7.9 %	74.9 %
maintenance	3.1 %	17.2 %
landslide margin	(9,665m ²)	(16,075m ²)
expansion	87.5 %	9.7 %
recovery	12.5 %	74.4 %
maintenance	0 %	15.9 %

() : area of landslide scars at the beginning of the period.

あったが、これは10年以内で円形剝離型から拡大型への変化がなされることを意味している。さらに、溪岸型と地すべり地縁辺型では、1960年から1970年までの期間と1970年から1975年までの期間で、拡大と縮小の割合がほぼ逆転しているのがわかる。

以上述べた崩壊裸地の推移は、1960年・1970年・1975年という年で期間を区切った場合の値であり、期間をもっと短くして崩壊裸地面積を求めることができれば、崩壊裸地の推移がもっとはつきりすると思われる。

7) 崩壊裸地の形成と維持・拡大過程

ここでは、崩壊を引き起こし、裸地を維持・拡大する過程を考える。

まず、円形剝離型の形成については、現地調査によって雪崩が直接的な役割を果たしているという証拠を確認することができた。たとえば、図3の矢印を記した地点では、1977年6月9日に残雪上で根系を含む新鮮な土塊を観察することができた（図5）。この土塊は、雪崩に



図5 残雪上の根系を含む土塊（1977年6月9日撮影）

Fig. 5. Stripped materials accumulated on river bed (June 9, 1977).

よって斜面から剝離されたものであると考えられる。雪崩による崩壊については、遠藤・鶴田（1963）や高橋ほか（1968）が、山火事跡地や伐採跡地における調査で、伐根の腐朽によって土壌との緊縛力が低下し、雪圧のために傾斜の下側に押され引き抜かれる過程で土壌を持ち去るためであると報告している。調査地域における円形剝離型の崩壊裸地もこういった過程で形

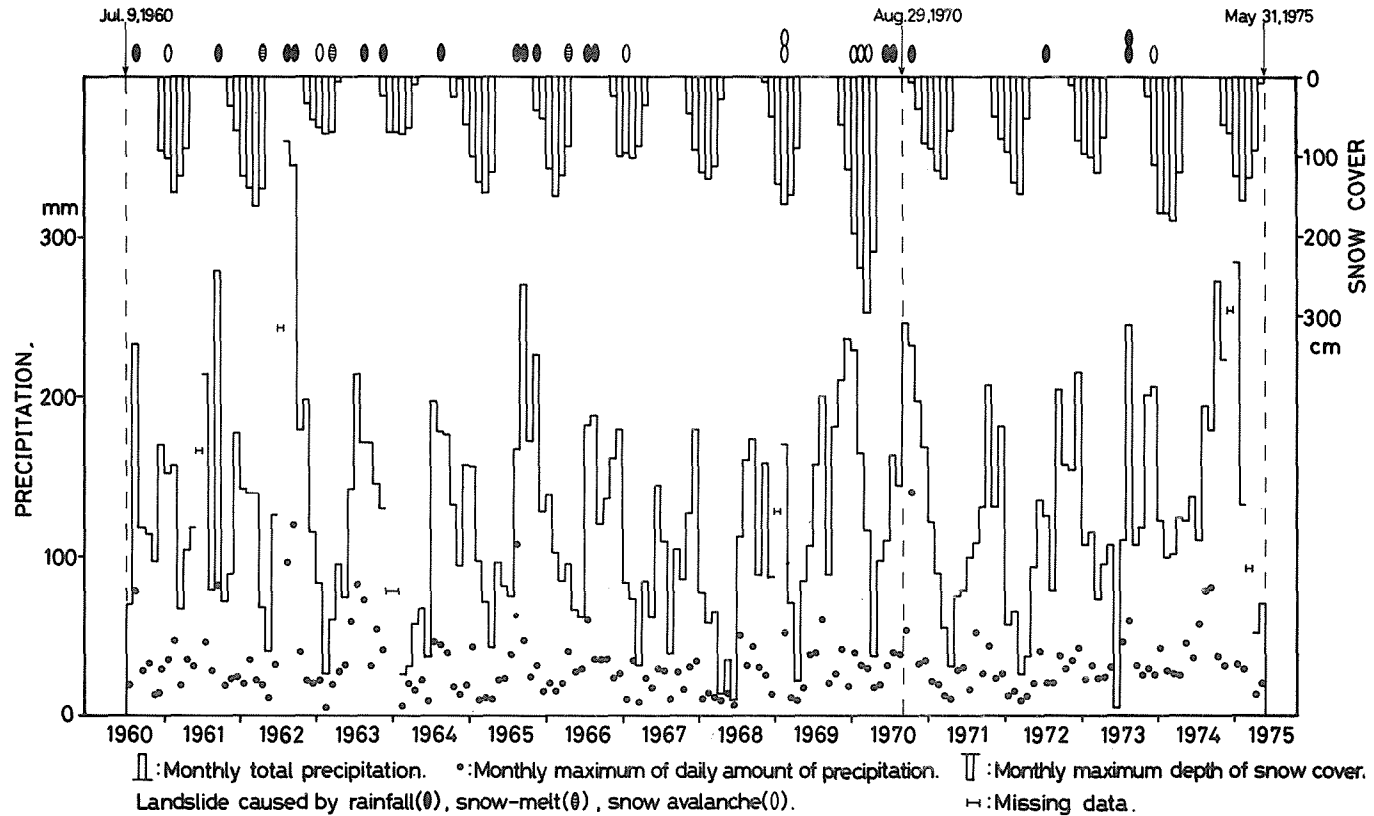


図 6 間寒別での月降水量, 月最高日降水量, 月最深積雪および道北地方における顕著な土砂災害

Fig. 6. Monthly total precipitation, monthly maximum of daily amount of precipitation and monthly maximum depth of snow cover at Toikanbetsu, and landslides occurred in Northern Hokkaido.

成されたものと考えられる。また、溪岸型の形成は水流による谷壁斜面基部の浸食によってなされると考えられる。さらに、それぞれの型の崩壊裸地の拡大も、ほとんど降雨および雪崩によってなされると考えられる。また、日最低気温が0℃以下になる日数が、問寒別で平均して年間174日あることから、岩石の風化に果たす凍結・融解の役割も考える必要がある。調査地域の構成岩石である頁岩は、風化速度がはやく崩壊の地質的素因をなしている（東ほか、1963）。東等は、夏期の乾湿のくり返しによる頁岩の物理的風化を調査しているが、冬期における頁岩の破碎化は、凍結・融解による物理的風化が主要である（石川・鈴木、1965）。調査地域の気候特性を考慮すれば、夏期の物理的風化とともに、冬期の雪に覆われる前後での物理的風化によって頁岩は細粒化し、崩壊が発生しやすくなると考えられる。

崩壊にかかわる気候要素として、月降水量・月最大日降水量および月最深積雪をとりあげ、問寒別における1960年から1975年までの15年間について図6に示した。また、札幌管区異常気象報告（1960～1975）に記載されている道北地方で起きた土砂災害を、大雨によるもの、融雪洪水に伴うものおよび雪崩によるものに分類し図6に示す。

気象条件は局地性を伴うため、図6に示した土砂災害のすべてが、調査地域での崩壊に直接結びつくとは考えられないが、調査地域での崩壊発生についての記録がないため参考のために掲げる。土砂災害の頻度を見ると、1960年から1970年までに比して1970年から1975年までは発生数が少ない。このことは、調査地域における崩壊裸地の新規発生および拡大が1960年から1970年までの期間で多く、1970年から1975年までは少なくなっていることと対応するのではないかとと思われる。

大雨による土砂災害が最も多く記録されているが、雪崩による土砂災害も少なくない。調査地域の南東部（図1の破線で囲まれた地域）で、北海道大学低温科学研究所雪害部門が1966年から雪崩の調査を行っている。成田・清水（1974, 1975, 1976, 1977）は、その地域の雪崩分布を積雪期間中2週間毎に調査している。それによると、各年での雪崩の発生状況には変動があるが、平均的に1月から2月にかけては面発生乾雪全層雪崩が発生し、3月に入ると大規模な面発生湿雪全層雪崩が発生している。雪崩の発生は南向きのササ地斜面に多く、崩壊裸地を滑落する湿雪全層雪崩の場合には、なだれ落ちた雪が岩屑を含んで黒色を呈している。秋田谷・川田（1971）は羊蹄山における雪崩による堆積物を調査しているが、それによると雪崩によって堆積した土砂量は 0.1 t/m^2 である。調査地域においても、春先に崩壊裸地下方の河床の残雪上で岩屑を観察することができる（図7）ので、雪崩による岩屑移動が崩壊裸地の拡大にとって重要な役割を果たしていると考えられる。

成田・清水の調査結果から、雪崩の発生地とササ地の分布が一致することがわかるが、これは斜面がササ地化したことによって雪崩が頻繁に起こるようになった（若林ほか、1966）ことを意味する。つまり、山火の後チシマザサに覆われたことが雪崩の発生を招き、崩壊裸地の形成および維持・拡大に寄与しているのである。



図 7 崩壊裸地下方の残雪上にみられる岩屑 (1978年5月28日撮影)

Fig. 7. Debris accumulated on the remaining snow in spring (May 28, 1978).

ササ地化したことによる雪崩の発生とともに、森林を焼失したことによって流出機構にも変化が起こったと考えられる。雪崩は古くから観察例があるため、山火事後に発生するようになったことを比較的容易に確かめることができる。しかし、調査地域の流出機構が山火事によっていかに変化したかを立証することは、現在までの資料では困難である。森林伐採による流出の変化は、国の内外で数多く研究されているので、その結果を参考にすると、無立木化したことによる地下浸透の減少が流出量を増大させる(中野, 1971; Rich and Gottfried, 1976)ことが明らかになっている。調査地域においても山火事後のササ地化が、流域の流出機構に影響を及ぼしていると考えられる。

このように、山火事は森林を焼失することによって植生を改変し、流出機構を変化させ、雪崩の発生を促し、ついには崩壊裸地を形成するに到っている。

V 山火事による浸食速度の加速化

山火事で森林を焼失したことによって、調査地域における浸食速度がどれだけ増加したかを検討するために、崩壊裸地面積の拡大量から浸食速度を見積る。門村・山本(1978)は、いろ

いような環境下での浸食速度を世界中のデータを用いて整理している。そこでは浸食速度として年間当りの全削剥量 ($\text{m}^2/\text{km}^2 \cdot \text{year}$) を単位としているので、比較のため同じ単位で浸食速度を見積る。

調査地域における環境条件は、山火事跡のササ地であるから、図1で示したササ地の面積を求めると 5.44km^2 になる。さらに、崩壊裸地の浸食深を現地調査の結果から平均 0.5m とする。表4の拡大量を用いて浸食速度を算出すると、1960年から1970年までは $1,039\text{m}^2/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ 、1970年から1975年までは $528\text{m}^2/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ となる。門村・山本（1978）によると、森林におおわれた湿潤地域の低い山地や丘陵地での浸食速度は $10\sim 50\text{m}^2/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ であるから、調査地域では山火事によって森林を焼失したことが、浸食速度を加速的に増加させていることが明らかである。

VI ま と め

北海道北部新第三紀層丘陵地のチシマザサに覆われた斜面に形成された崩壊裸地について、その斜面特性を分析し、時間的推移を把握し、山火事と崩壊との関係について検討を行った。その結果をまとめると次のようになる。

1. 崩壊裸地は、山火事跡であるチシマザサに覆われた南向き斜面に集中している。
2. 崩壊裸地の総面積は、1960年から1970年までの10年間で倍増しているが、1970年から1975年までの5年間ではほとんど変化していない。
3. 1960年から1970年までの拡大量は $113,058\text{m}^2$ 、縮小量は $6,527\text{m}^2$ で、1970年から1975年まではそれぞれ $28,727\text{m}^2$ 、 $41,466\text{m}^2$ である。1960年から1970年までは拡大量が縮小量を大幅に上まわり、1970年から1975年までは縮小量が拡大量を上まわっている。
4. 崩壊裸地の拡大速度・縮小速度を変化のパターンごとに求めると、1960年から1970年までの拡大速度は型の変化しない拡大でほぼ同じ値 $0.08\text{m}^2/\text{m}^2 \cdot \text{year}$ 前後をとるが、1970年から1975年までの拡大速度では溪岸型に低い値が見られる。これは、溪岸型崩壊裸地固有の特性によるものと思われる。
5. 崩壊裸地の拡大には、円形剥離型から連合型へそして拡大型へという変化のパターンが認められる。
6. 崩壊裸地の形成および維持・拡大にとって、森林が焼失し無立木化したことが極めて重要である。植生が荒廃することによって雪崩が発生するようになり、同時に流出機構が変化し、ついには崩壊裸地を形成する結果となっている。
7. 崩壊裸地面積の拡大量から浸食速度を見積ると、1960年から1970年までは $1,039\text{m}^2/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ 、1970年から1975年までは $528\text{m}^2/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ となり、山火事による浸食速度の加速化が

明らかである。

山火事という人為作用による森林植生の破壊が、斜面営力と斜面の安定性に2次的な作用を及ぼして削剝システムを変化させ、崩壊という様式で浸食量を増大させている。いっぽう、斜面浸食の加速化現象は、積雪期前後の裸地における凍結・融解作用による斜面物質の細片化と頻繁な崩落と相まって、裸地を維持し、拡大することを通して、植生の再生を長期間にわたって妨げている。このことは、削剝システムが自然生態系の重要なサブシステムであり、地形変化と植生の遷移とが相互に密接に関連し合っていることを示している。以上のことから、人為作用が自然環境構成要素に対して連鎖的に影響を及ぼしていくことが確められる。

今後は、それぞれの自然環境構成要素間の関連性を、詳細な野外調査により量的に検討する必要がある。特に、植生と土壌浸食との関係については重要な研究課題である。

謝 辞

本研究に際して、終始御指導頂いた北海道大学大学院環境科学研究科環境基礎学研究室の門村浩教授、高橋英紀助教授、山本博助手に心から感謝いたします。また、滝川貞夫助教授、松田弘助手をはじめとする北海道大学天塩地方演習林の方々には現地調査に便宜を計って頂きました。さらに、北海道大学大学院環境科学研究科環境基礎学研究室の大学院学生諸氏には調査に協力して頂きました。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 秋田谷英次・川田邦夫 (1971) : 羊蹄山における雪崩のデブリ調査. 低温科学, 物理篇, 29, 271—275.
- 石川政幸・鈴木孝雄 (1965) : 頁岩の機械的風化に関する実験と観察. 林業試験場北海道支場年報, 159—177.
- 遠藤泰造・鶴田武雄 (1963) : 北海道の頁岩地帯における林地の崩壊機構に関する研究—雪食による林地の崩壊について—. 日本林学会大会講演集, 74, 363—366.
- 勝見精一 (1965) : 空中写真からみた崩壊地の推移について—北海道における第三紀層地帯の造林地崩壊の研究(3)—. 林業試験場北海道支場年報, 178—186.
- 門村浩・山本博 (1978) : 土地改変に伴う加速的侵食—侵食の速さと沖縄島北部の事例—. 地学雑誌, 87, 1—15.
- 札幌管区气象台 (1960—1975) : 札幌管区異常気象報告.
- 高橋喜平・小野茂夫・川口利次 (1968) : 伐採跡地のなだれ発生経過. 雪氷, 30, 26—30.
- 中野秀章 (1971) : 森林伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響. 林業試験場研究報告, 240, 1—251.
- 成田英器・清水弘 (1974) : 雪崩観測実験室附近のなだれ分布Ⅰ. 低温科学, 物理篇, 32, 資料集, 40—54.

- ・———（1975）：雪崩観測実験室附近のなだれ分布Ⅱ．低温科学，物理篇，33，資料集，35—46.
- ・———（1976）：雪崩観測実験室附近のなだれ分布Ⅲ．低温科学，物理篇，34，資料集，27—38.
- ・———（1977）：雪崩観測実験室附近のなだれ分布Ⅳ．低温科学，物理篇，35，資料集，35—44.
- 農林省・気象庁（1978）：農業気象10年報（昭和41年～昭和50年）—北海道—．732 p.
- 東三郎・藤原滉一郎・村井延雄（1963）：夏期における頁岩の機械的風化．新砂防，49，8—13.
- 藤原滉一郎・倉持寿夫（1965）：沙流川流域における第3紀層山地の崩壊について．新砂防，58，9—16.
- 北海道大学演習林（1963）：北海道大学演習林60年の歩み．196 p.
- 松井愈（1973）：幌延町の地質．幌延町，27 p.
- 若林隆三・斎藤新一郎・工藤哲也（1966）：北大天塩演習林なだれ常習地の植生について．日本林学会北海道支部講演集，15，78—81.
- Rich, L.R. and Gottfried, G.J. (1976) : Water yields resulting from treatments on the Workman Creek Experimental Watersheds in Central Arizona. *Water Resources Research*, 12, 1053—1060.