

台地農業地帯の治山

(南九州シラス地帯および北海道
十勝岳山麓地帯の災害について)

Takeo KAWAGUCHI: Erosion Control in the Upland-Agricultural Districts.

川 口 武 雄¹⁾

目 次

I. 緒 言	22
II. 両地帯の特異性	22
III. シラス地帯の災害	23
1. 被 害 額	23
2. 災害時の降雨	23
3. シラスの分布, 台地の構造	24
4. 土 質	25
5. 侵蝕, 崩壊状況	28
6. 災害の原因	31
IV. シラス地帯の治山対策	32
1. 治山工法	32
2. 森林配置および造成	34
3. 予防, 普及の必要性	35
V. 十勝岳山麓地帯の災害	36
1. 被 害 額	36
2. 災害時の気象	36
3. 地 況	37
4. 土 質	38
5. 侵蝕状況	39
6. 災害の原因	46
VI. 十勝岳山麓地帯の治山対策	47
1. 治山工法	47
2. 森林配置および造成	48
3. 予防, 普及の必要性	49
VII. 台地農業地帯の治山の特徵	50
1. 災害の特徴	50
2. 治山対策の特徴	50
VIII. 要 約	51
参考文献	52
Résumé	54

1) 防災部治山科長

I. 緒 言

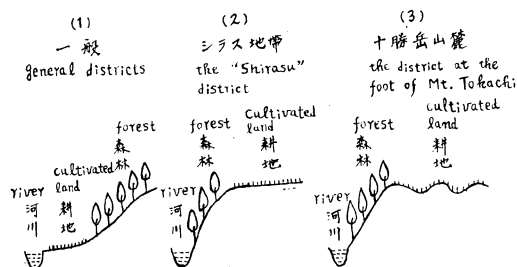
南九州シラス地帯および北海道十勝岳山麓地帯に gully erosion 等の災害が発生し、筆者は昭和 24 年末シラス地帯、昭和 26 年夏十勝岳山麓地帯を経済安定本部（現総理府）資源調査会専門委員として現地総合調査に参加し、その結果は資源調査会報告¹⁾⁴⁵⁾その他²⁾³⁾⁴⁶⁾に一部発表し、すでに両地帯では治山事業も実施されつつある。

その後現地土壌試料につき若干の土質測定を行つたのと、種々の都合で本稿の取纏めが遅れ時機を失したが、最近また食糧増産の要請とともに台地（傾斜地）農業が盛んとなることも考えられるので、諸氏の研究成果を取纏めた両地帯の災害およびその防止方法を中心として、台地農業地帯の治山および開拓をする時の林業より見た注意点を報告することとした。

なお現地の土壌試料送付に多大の御援助をいただいた熊本営林局平島直材氏、北海道庁林務部橋本幸一郎氏、宮崎県庁林務部立石眞氏に深甚の謝意を表するとともに、土質測定に当つた望月六郎氏（当時東大林学科学学生）、垂沢倭子技官、小池徹助手の労苦に感謝の意を表する。

II. 両地帯の特異性

日本においては一般に森林・耕地・河川の位置的関係は第1図（1）の型であるが、シラス地帯は農業は第1図（2）のごとく上方平坦台地、十勝岳山麓地帯は農業は第1図（3）のご



第1図 河川、耕地、森林の配置

Fig. 1. Arrangement of river, cultivated land and forest.

とく上方波状台地で行われ、林地は両地帯とも耕地と河川の中間の台地斜面であり、林業は農業の下方で行われ里山的なものである。

両地帯とも台地縁端まで耕作されて台地上には森林はほとんど存在せず、日本では一般に上方の山地災害により下方の農地が被害を受けるのに反し、両地帯では上方の台地農地の災害で下

方の斜面林地が被害を受けるので、不合理な土地利用、森林取扱いの不当等人為的な原因が災害の原因中大きな役割を占める好例と云える。

一般に第1図（1）では森林中を通過する流水はそれほど多量で無く、かつ森林地床の障害物のため流水は割合に遅く清水として分散流下するのに対し、第1図（2）・（3）では台地上の広い面積の耕地よりの相当の泥土を含有する濁水が、集中して滝のごとく斜面林地を通過して破壊していくことは、治山上重視すべき相異点である。

Ⅲ．シラス地帯の災害

1. 被害額

昭和 24 年 6 月中旬のデラ台風, 6 月下旬・7 月上旬の豪雨, 7 月中旬のフェイ台風, 8 月中旬のジュデイス台風と 4 回にわたる大雨で第 1 表¹⁾ のごとき被害を生じた。

第 1 表 被 害 額

県 名	総被害額	山 林 被 害 額	林産物被害額
鹿 児 島	153 億円	4.7 億円 (3.1 %)	0.1 億円 (0.1 %)
宮 崎	125 "	4.4 " (3.9 %)	3.0 " (2.9 %)

第 1 表で山林・林産物被害額の % が少ないのは, シラス地帯は大部分が農地で林地の絶対値が小さいためである。新生荒廃林地は鹿児島県で 594 町である。

2. 災害時の降雨

災害時の降雨状況は調査結果⁴⁾⁵⁾ を総合すると第 2 表のごとくである。

第 2 表 災 害 時 の 降 雨 量 mm

場所	連 続 降 雨 量				月 雨 量			最 大 日 雨 量				最大時雨量		備考
	デラ	豪雨 前後	フェイ	ジュ デ イス	6 月	7 月	8 月	デラ	豪雨 前後	フェイ	ジュ デ イス	デラ	豪雨 前後	
鹿児島	340.7	946.8	155.1	300.2	943.6	604.8	467.1	122.4	238.3	76.8	×	×	56.2	×は不明のもの
鹿 屋	514.2	1018.4	200.0	456.0	1179.8	839.5	489.8	190.6	335.8	145.9	206.6	×	×	
枕 崎	385.9	935.7	134.1	348.5	792.2	781.7	×	161.5	151.4	62.7	×	29.1	57.9	
高 山	573.3	1041.7	288.0	×	1158.8	946.7	502.9	246.5	282.3	176.8	201.5	65.0	33.2	

$$\text{今雨量の標準偏差 } \delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}{(n-1)}} \quad (n \text{ は統計年数, } X_i \text{ は降雨量, } X_m \text{ は平均降雨量})$$

量), 確度 $t = \frac{X_{max} - X_m}{\delta}$ (X_{max} は今回または既往最大量) として, t 以上の起る確率 α は次表のごとくである。

t	0.52	1.03	1.96	2.58	3.29
α	0.6	0.3	0.05	0.01	0.001

資料としての統計年数が少ないが, 最大時雨量・最大日雨量・最大月雨量・最大 3 カ月雨量の t を, 今回の災害時と既往について計算してみると第 3 表のごとくになる。

第 3 表 確 度

場 所	最大時雨量		最大日雨量		最大月雨量		最大3ヵ月雨量		備 考	
	雨量mm	t	雨量mm	t	雨量mm	t	雨量mm	t		
鹿児島	今回	56.2	0.62	238.3	1.60	943.6	3.11	2015.5	3.53	昭15～24年
	既往	89.4	2.46	216.8	1.22	709.7	1.54	1379.0	1.25	〃 15～23〃
鹿 屋	今回			335.8	2.76	1179.8	4.13	2509.1	5.55	〃 5～24〃
	既往			287.5	1.97	891.8	2.28	1505.0	1.59	〃 5～23〃
高 山	今回			290.1	0.52	1158.8	3.31	2603.4	4.99	〃 13～24〃
	既往			462.0	2.11	898.5	1.86	1705.5	1.96	〃 13～23〃

第3表の値より、最大時雨量・最大日雨量は今回の災害時が記録破りではなく、今回の最大月雨量・最大3ヵ月雨量が記録破りで、これは後述のシラスの土質とも関連して、短時間の豪雨でなく長期間連続して大雨のあることが、シラス地帯に大災害を惹起する気象的原因と考えられる。

3. シラスの分布、台地の構造

シラスは鹿児島県では薩摩半島・大隅半島北部・川内市東方等県本土面積の 49 %の 3,427 km² に分布し、宮崎県では都城市周辺・霧島山北麓等県面積の 16 %の 1,285 km² に分布し¹⁾、その他熊本県南部にも分布⁶⁾⁷⁾すると云われる。

シラス台地は主として灰砂層（シラス層）によつて構成される台地であるが、林氏等⁴⁾、田川氏⁸⁾、多田氏⁹⁾、松本氏¹⁰⁾、小出氏¹¹⁾、山口氏¹⁾等の調査結果を総合すると、標準的な構造は上方より第4表のごとくである。

第4表 シラス台地の構造

第4表 シラス台地の構造		土地の言葉では(1)・(2)のうち暗黒
(1) 桜島・霧島噴出の軽石層	} 新期火山灰層、ローム層	色火山灰層を黒ボク・黒ニガ土、軽
(2) ローム灰砂層		石質の火山礫層をボラ、褐色火山灰
(3) 水成シラス層（二次的シラス）		層を赤ホヤ、(3)・(4)・(6)をシラス
(4) 上部灰砂層（一次的シラス、初生的シラス）		(白砂)、(5)を灰石と呼び、その他
(5) 安山岩、泥礫岩		ボラス、ボツコ、赤ボンコ、赤シラ
(6) 下部灰砂層		ス（新規火山灰層直下の淡紅色のも
(7) 第三紀層		
(8) 中生層		

の)、白シラス、カタシラス等種々の方言がある。

シラス台地をみると場所により台地の構造は異なり、第4表の(1)~(8)の一部で構成されるか、または(1)~(8)のうちのいくつかを欠くものが多い。たとえば薩摩半島では(1)・(2)は比較的薄く(3)は有しないか薄いものが多い(鹿児島型¹¹⁾)、大隅半島・都城周辺では(1)・(2)は比較的厚く(3)も厚く(1)~(3)で数段の水平成層状態をなすのが明らかであり(宮崎型¹¹⁾)、また(4)の厚さも(5)の現われるところは薄く数十mで(5)の現われないところは厚く 100m 以上のものもある。し

かし一般的にはシラス台地は、数m程度の新規火山灰層と数十m程度の水成シラス層・上部灰砂層で構成され、地形的には極めて幼年時代¹²⁾と云えよう。

4. 土 質

a. 組成, 比重等

市川⁶⁾, 松本¹⁰⁾, 泉¹³⁾, 菅野¹⁴⁾, 西¹⁵⁾等の諸氏の測定結果では, gravel (2 mm以上)の量は原土百分中3~30%程度のものが多く, 菅野氏の笠野原台地新期火山灰層での測定⁷⁶⁾では表層土に多く下層土に少なくなっている。市川⁶⁾, 松本¹⁰⁾, 泉¹³⁾, 菅野¹⁴⁾, 釘宮¹⁷⁾, 三木¹⁸⁾, 宇田川¹⁹⁾等の諸氏の測定結果では, sand (2~0.05mm)・silt (0.05~0.005mm)・clay (0.005 mm以下)の量は細土百分中それぞれ80%, 15%, 5%以下(西氏¹⁵⁾の測定では赤ホヤはclayが多い)程度で, 菅野氏¹⁴⁾によると微粒のcementing materialは上層火山灰に多くシラスに少なく, 筆者等²⁰⁾の測定でも岩川シラスは0.002mm以下の微粒分は0.6%となつている。

眞比重は市川⁶⁾, 松本¹⁰⁾, 釘宮¹⁷⁾, 三木¹⁸⁾, 西²¹⁾等の諸氏の測定結果では, シラス2.4前後, 水成シラス2.5以上, ボラスは2.5程度で, 見かけ比重は市川氏⁶⁾の測定ではシラス粗状態0.8程度, 密状態0.9程度, ボラス粗状態0.6程度, 密状態0.7程度で, 釘宮¹⁷⁾, 三木¹⁸⁾²²⁾, 西²¹⁾の諸氏の測定結果ではシラス1.3程度, 水成シラス1.1程度, ローム1.1程度である。

シラスの Hazen の有効径, 均等係数は右表のごとくである。

測定者	有効径mm	均等係数
三木 ¹⁷⁾	0.03	13
望月 ²⁰⁾	0.04	12

b. 含水量, 滲透

シラスの自然状態の含水量は松本氏¹⁰⁾, 西氏¹⁵⁾²¹⁾, 三木氏²²⁾等の測定結果では, 相当広範囲の差があるが含水比20%程度, 飽水比0.4~0.6程度のものが多く, 水成シラス・赤シラスは普通シラスより含水比大である。また西氏²¹⁾の測定結果では降雨時・旱魃時でも含水量の変化は表面から僅少な範囲に限られる。

透水係数 (cm/sec) は三木氏²²⁾の測定では 10^{-3} ~ 10^{-3} で, 筆者等²⁰⁾の測定では鹿児島県岩川町の熊本営林局治山事業所の採取試料で, 黒ボク 0.0036, ボラ 0.069, ローム 0.0047, シラス 0.0039 (シラスでも一度流亡して堆積したものは 0.0034) でボラの透水係数大である。西氏²¹⁾の測定では白シラスは赤シラスより滲透速度早く, 赤シラスの方が土中の水の運動は遅緩である。

c. 崩壊度, 耐水度等

望月氏²⁰⁾の測定では, 径5 cm・高さ3 cmの岩川シラスの円筒状にこねたものに上方より水滴(1時間約5000mmの降雨に相当する)を当て崩れる時間(耐水度)は36分程度で, 赤城火山灰土の1分内外, 足尾煙害地土壌の10分程度より長く, また径2.5 cm・高さ2.5 cmの円筒状にこねたシラスを水中につけて崩れる時間(崩壊度 slaking value)は1分程度で,

関東ロームはもちろん足尾煙害地土壌よりも遙かに短く、シラスは雨滴に対する耐水力は割に強いが、水に浸せば非常に弱く飽水するとか流水中では甚だ弱いことを示している。

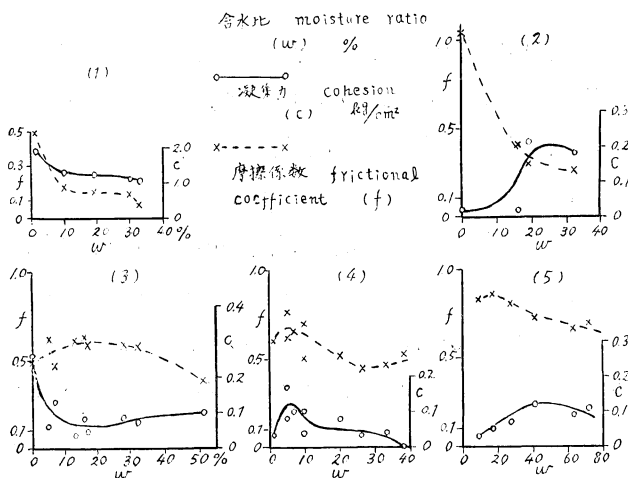
流出限界の測定は、シラスは固くこねると振動により底面に水が出て全部一団として迂り、また水分を多くすると泥状となり測定困難である²⁰⁾が、宮崎県北諸県郡庄内町城山のシラス、志和池村野々美谷のシラスの流出限界（振動回数 10 回）は含水比 47 %、37%で、城山の赤ホヤはシラスより大きく 89 %である。

収縮は望月氏²⁰⁾の測定では岩川シラスの径 5 cm・高さ 3 cm の円筒型の体積収縮率は 7.1%で、杉氏²³⁾によるとシラスは収縮しやすくボラは膨潤しやすいが、この膨脹・収縮がシラス台地崩壊には重要な関係があり、小出氏¹¹⁾等により観察されている新規火山灰層崖面の亀裂欠壊もこの膨脹・収縮と関係があると思われる。

erosion ratio は菅野氏¹⁶⁾の笠野原台地土壌の測定値 26.8~169.8 があるが、これは silt (0.02~0.002 mm)・clay (0.002 mm以下) としたもので、Middleton 氏²⁴⁾の silt (0.05~0.005mm)・clay (0.005mm 以下) とは異なるので、Middleton の侵蝕性 10 以上の値と直接比較出来ないが、大体において侵蝕性であると云える。

d. 凝集力、摩擦係数

剪断試験により凝集力・内部摩擦係数と含水比の関係を求めたのが第2図である。第2図(1)は三木氏²⁵⁾の高松谷シラスの測定、(2)は望月氏²⁰⁾の鹿児島県岩川シラスの測定、(3)は宮崎県庄内町城山シラス、(4)は宮崎県志和池村野々美谷シラス、(5)は城山赤ホヤである。



第2図 凝集力、内部摩擦係数と含水比の関係

Fig. 2. Relation of the cohesion and frictional coefficient to the moisture ratio.

%前後より多くなると小さな値を示す。

見かけ比重 γ , 凝集力 c , 内部摩擦角 θ ($f = \tan \theta$) の土が斜面勾配 ϕ で平面迂り面の仮定

また釘宮氏¹⁷⁾の国都線沿線の各所のシラスの測定（含水比 24~177%）では、凝集力は 0.1~0.3 kg/cm², 内部摩擦係数は 0.3~0.9 程度で、これと第2図からするとシラス土は他の火山灰土²⁶⁾と比較して、凝集力（ただ三木氏の測定値のみ大となつているが）は他の火山灰土と同程度であるが、摩擦係数は他の火山灰土より遙かに大きく、凝集力・摩擦係数は含水比が30

で安定な高さ h は、
$$h = \frac{2c}{r} \frac{\sin \varphi \cos \theta}{\sin^3 \frac{\varphi - \theta}{2}}$$
 で示され、 $\varphi = 80^\circ$ 、 c をシラスの自然状態の

含水比 20 % 程度の時の値 $0.1 \sim 0.2 \text{ kg/cm}^2$ として計算した h は次表のごとく、シラス崖が数十 m 以上の高さで安定していることは、一度壊して軽石等を除いた採取土壌の剪断試験結果と異なり、シラスは自然状態では軽石等を含むため θ は非常に大きく、また含水比の増大により急激に f が低下するものと考えられる。

θ	20°	30°	40°	50°	60°	70°
f	0.36	0.58	0.84	1.19	1.73	2.75
$h \text{ m}$	6~11	7~14	9~18	15~29	25~50	68~137

e. $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, pH 等

侵蝕に対する土の一指標としてシラスの $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ を山口氏²⁷⁾、松本氏¹⁰⁾ の成分全分析結果から計算すると次表のごとくである。

種 類	灰砂層 の軽石	鹿児島湾周 辺の灰砂層	郡 元 シラス	脇 田 シラス	平 川 シラス	和 田 シラス	加治木 シラス	霧 島 シラス	始 良 シラス
$\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$	5.2	5.1	3.5	2.1	4.4	3.6	3.5	2.9	3.9

いずれも Bennett 氏²⁸⁾ のいう 2 より大きく侵蝕性な値で、これに対し霧島火山の噴出物であろう笠野原の黒色土壌(黒色森林土音地型¹⁴⁾)の $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ を川村・船引氏²⁹⁾ の全分析結果から計算すると 0.9~1.5 程度で小さい。また福永氏³⁰⁾ の塩酸可溶分析の結果からは $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ はシラス 3.4 に対し表層の腐植質火山灰土壌 1.1~1.7 で小さい。

pH は細田・菅野・三好氏³¹⁾ の測定では笠野原黒色土壌の表層で約 5.5, 下層で 6.0 程度で、市川氏⁶⁾ の測定では宮崎県下のシラス平均約 5.0, ボラス 5.2 で比較的酸性が強い。

腐植含量は細田・福永・菅野・三好の諸氏の測定³⁰⁾³¹⁾では、笠野原黒色森林土表層で 10~20 % 程度, 下層で 3 % 程度である。

f. 新規火山灰とシラスの比較

以上の土質もシラスに関する測定が大部分で、新規火山灰はシラスと相当差があると思われるが、鹿児島県農事試験場³²⁾、福永氏³⁰⁾の調査により最上層の黒色火山灰土(黒ボク、さらにそのうち 20 cm 以下の粘性の強い部分を黒ニガ土と呼ぶ)は腐植を多く含み細かい粒子を有して水分を含めば粘性で霜柱も立ちやすく、乾燥すると飛散しやすく、その下の黄褐色砂礫を多量に含む砂礫層(ボラ、赤ボンコ)、さらにその下の粘質の微粒子の多い淡褐色火山灰(赤ホヤ、ローム)が質的に観察されているが、量的な測定は少ない。

シラスは大部分粒径 2~0.05mm の砂粒の集りで 0.002mm 以下の微粒分少ないのに比し、新規火山灰は微粒の cementing material はシラスより多い。見かけ比重はシラスの方がや

や重い。透水係数も新規火山灰中にはシラスより大きいものもあるが、新規火山灰は降雨時最初は比較的大きな透水性を示すが間もなく土の微粒子が孔隙をほとんど塞ぎ透水しなくなる¹⁾。流出限界の値、含水比の増加による剪断抵抗の低下は新規火山灰がシラスより良好な状態にある。SiO₂/R₂O₃ は新規火山灰の方が小、pH はシラスの方がやや小である。

結局新規火山灰とシラスの土質の差、さらに新規火山灰の層別の差、赤シラス・白シラス・水成シラスの差等不明の点多く、今後の研究に俟つところが多い。

5. 侵蝕，崩壊状況

シラス地帯の災害については、林業関係では古く熊本県藍田村の崩壊⁷⁾，昭和 10 年の大隅半島崩壊³³⁾³⁴⁾，西氏の侵蝕進度測定³⁵⁾の報告もあり，従前も各所に災害を生じていたことは現地を見れば明らかであるが，今回の災害が最も広範囲かつ大規模であつた。

a. 侵蝕型式

今回のシラス地帯の侵蝕，崩壊状況は田町氏³⁾¹⁾，三木氏¹⁶⁾，西氏¹²⁾¹⁵⁾，小出氏¹¹⁾，林氏等⁴⁾，伏谷氏³⁶⁾等の調査結果と筆者の観察を総合してみると，概略第5表のごとき型式に分類される。

第5表 シラス地帯の侵蝕型式

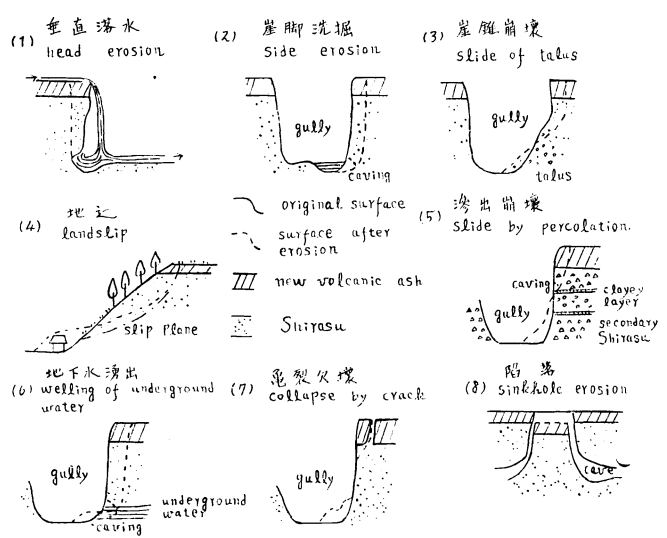
分 類		型	営 力
水 蝕 water erosion	表面侵蝕 sheet erosion	垂直落水型（谷頭侵蝕型） 崖脚洗掘型 崖錐崩壊型 地へ型 滲出崩壊型 地下水湧出崩壊型 亀裂欠壊型 防空壕型	地 表 水
	雨裂侵蝕 rill erosion		地 表 水
	雨谷侵蝕 gully erosion		地 表 水
			地 表 水
			滲 透 水
			滲 透 水
			滲 透 水
			地 下 水
			風 化 作 用
			人 為
風 蝕 wind erosion	崩 壊 landslide		地 下 水
	陥 落 sinkhole erosion		風

台地上の新規火山層は小雨時には雨水はほとんど吸収されるが、永雨では土壤が飽水している時は雨水はほとんど全部が地表水として流去して sheet erosion を起し、これは鹿屋で約3年間に土壤の A 層が 30～50cm 減少した例¹⁾や、小土柱の多いことから想像される。畑地では耕耘のためあまり見られぬが、シラス層斜面では sheet erosion は勿論 rill erosion の起つているのが見られる。

垂直落水型（谷頭侵蝕型）は第3図(1)のごとく、崖肩で台地よりの流水が垂直に落下し比較的侵蝕抵抗の強い部分で滝つぽとなり、滝つぽの渦流でシラス層下部がえぐられ上部のシラス層と新規火山層が崩落し、崖肩が後退して gully が進行する。崖脚洗掘型は第3図(2)のごと

く, gully 底の崩土は軽く洗い流されるので, gully の流水が直接崖脚のシラス層下部を洗掘えぐり取り, 上部のシラス層と新規火山灰層が崩落して, gully の巾が拡大される。

崖錐崩壊型は第3図(3)のごとく, 崖錐が滲透水によつて飽水して崩れ, それに伴つて上部の崖面も崩落する。地辻型は第3図(4)のごとく, 古いシラス崩土の山腹に雨水が滲



第3図 シラス地帯の侵蝕型式の一部

Fig. 3. A part of erosion-types in the "Shirasu" district.

透して剪断抵抗を低下させ曲線面に沿つて送り落ちる。滲出崩壊型は第3図(5)のごとく, 滲透水が不透水性の粘土化した層(水成シラス層中には粘土化の著しい層が数層はさまれる場合が多い)の上にたたえられて崖の中腹から滲出して小さな caving を起し, その上層を崩落させると共に滲出水は下のシラス層を侵蝕する。地下水湧出崩壊型は第3図(6)のごとく, 地下水面がシラス台地崖脚面より高いところでは地下水が崖脚に湧出し, 湧出口附近のシラスが飽水して崩れて洞穴となり, その上層が崩落する。亀裂欠壊型は第3図(7)のごとく, gully 壁最上部の新規火山灰層が膨脹・収縮等の結果縦横(垂直)の亀裂を生じて欠壊して gully 底に落ち, 下の露出したシラス層が侵蝕される。防空壕型は戦時の防空壕や崖脚のシラス採取で洞穴となり, その上層が自重で崩落するものである。以上の崩壊の各型は gully の巾を拡大させる。

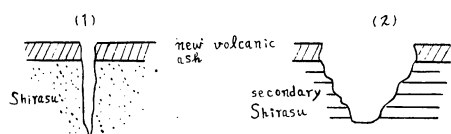
陥落は第3図(8)のごとく, シラス層内の地下水流により地下に空洞を生じ, その地表が径数 m 以上の円形または楕円形に陥落する。

台地上の新規火山灰層の A 層は比重も軽く, 冬季または早春に wind erosion により相当侵蝕される。

以上第5表はシラス地帯の侵蝕型式を分類したものであるが, 各型式は単独でなく同時に併行して発生する(たとえば陥落と地下水湧出崩壊, 滲出崩壊と亀裂欠壊が伴う等)場合も多く, シラス台地は侵蝕されて, gully は長さ・巾ともに拡大されていく。

b. gully

gully には2型式あり, その1つは巾狭く両岸は垂直に近い断崖をなし第4図(1)のごとく, これは初生的シラス(鹿児島型¹¹⁾)に起り侵蝕峽⁸⁾・函谷関型¹¹⁾・gorge⁸⁾等と呼ばれ, その谷頭の平面形円形の部分は鹿児島県ではホキ²¹⁾と云われる。他の1つは前者に比し巾は大, 深



第4図 gully の2型式

Fig. 4. Two types of gullies.

さは小で両岸は階段状で傾斜緩で第4図(2)のごとく、これは水成シラス（宮崎型¹¹⁾）に起り侵蝕谷⁸⁾・コロラド型¹¹⁾・valley⁸⁾等と呼ばれる。

シラス崩土は比重が軽く流され易いので、gully 底は一般に平坦で gully の断面は U 字型となるが、地下水湧出崩壊や降雨のみで崖面の崩壊したところなどあまり流水量の多くない gully では、gully 底は平坦でなく gully の断面は V 字型で残っている。また gully は横侵蝕のはげしい時は縦侵蝕の速度遅く溪床上昇し、流水量少なく谷頭侵蝕・横侵蝕なく清水となると縦侵蝕の速度大となり溪床は水平に近づくように低下する³⁷⁾。

gully head の進行度は、西氏の測定³⁵⁾では台地周辺の状態が正常であれば 0.5m (10カ年平均) 程度で遅いが、大雨時には一雨で 10 m 以上も進行することがある³⁷⁾³⁸⁾。

c. 崩壊

林氏等⁴⁾の鹿児島県広瀬川・松崎川流域の崩壊調査の結果では、地質的には崩壊の大部分はシラス台地の縁辺、山間急傾斜地ではシラス層と中生層との境界に起り、地形的には台地縁辺・台地より平地に下る中間の段丘面・沢沿いの山腹の急斜面および地層の変化点・地表傾斜の変曲点で山腹を切つて造られた道路の上下の法面の崩壊が多い。

崩壊の形は西氏²¹⁾の測定では、ホキは平面形は円形、縦断面形は垂直に近く、他のものは平面形は弧状で、縦断面形は concave で(1)上部が垂直に近く脚部に崖錐あるもの（脚部洗掘）、(2)上部急、下部緩、脚部に崖錐あるもの（二次的崩壊）、(3)上部急、下部(2)より緩（林地・草地崩壊）の3種がある。

d. 崩壊流出土砂

鹿児島県岩川町鍋谷（集水面積 30 ha 程度中崩壊地 0.7 ha）における熊本営林局岩川治山事業所の測定³⁷⁾では、平時の小雨でも1時間当り 0.1 m³ 程度、100 mm 程度の降雨では1時間当り 1m³ 程度（降雨最盛期は測定不能であるが、これより遙かに多からう）の流出土砂があり、またシラス層水路斜面の流出による侵蝕土量の実験結果は次表のごとく、m 当りの侵蝕量は傾斜 45° が最も多い。

侵蝕土量（水路巾 0.5m延長 1 m 当りに換算）m³

場 所	土 壤	流水量 m ³ /sec	落差 m	経過 時間 分	傾 斜								
					3°	6°	10°	20°	30°	45°	60°	80°	90°
鹿児島県牛根村	赤シラス	0.015	2.5	60	0.03	0.05	0.07	0.07	0.08	0.09	0.04	0.01	0.01
〃 岩川町	白シラス	0.007	4.0	10	0.03	0.03	0.05	0.07	0.08	0.09	0.08	0.03	0.03

流域が大部分シラス地帯である菱田川松山堰堤・肝属川高山本流堰堤・同高山支流堰堤の昭和 23 年 7 月までの堆砂量³⁾から計算すると、シラス地帯の平時の流域年侵蝕深は 0.03~0.26 mm となつている。

しかし大雨災害時の崩壊流出土砂ははなはだ大で、 $14,000\text{m}^3$ ⁷⁾・ $3,400\sim 30,000\text{m}^3$ ⁴⁰⁾の調査例があるごとく、崩壊地 1 カ所当り数千 m^3 ~数万 m^3 の崩壊流出土砂があり、シラス・軽石を主とする火山灰土は軽く遠くまで流送される。

6. 災害の原因

今次災害の原因としては、天然素因としてⅢ. 4, 5 のごとくシラス地帯が地質・地形・土質が侵蝕・崩壊に対する抵抗性が脆弱であること、天然誘因としてⅢ. 2 のごとく記録破りの連続大雨があつたことの両者の影響が勿論大であるが、この天然原因は現下ではまだ人為的に control すること困難であるのに対し、人為的に control が相当可能である次の人工誘因が今次の災害を大いに加速したことが重要である。

人工誘因は土地保全を考慮した合理的土地利用が行われていなかったことで、それには以下の諸点が挙げられる。

(1)崖際まで耕作され、降雨時に随時随所で畦畔を切つて崖に放流し、垂直落水型侵蝕の因となつている。

(2)台地上の農地の排水系統は確立されておらず、また道路が降雨時に排水路となり、侵蝕崩壊の因となる。

(3)台地上の農地には sheet erosion 防止の農法や、wind erosion 防止の防風施設が欠けている。

(4)森林は台地縁端の斜面のみで台地上には存在せず、森林が不足であると同時に土地保全上有効な配置にもなっていない。

(5)河川工事・治山工事による河川・gully・山腹の侵蝕崩壊防止や災害地の復旧が不十分で、台地上の農地にも保全施設がほとんどない。

(6)大きな gully になるまでに gully head の進行を防ぐ、地下水の湧出を安全に導く等の予防的措置や災害に対する認識等保全思想が欠除している。

次に森林の伐採と災害の発生の関係をみるため、林氏等の広瀬川流域の調査結果⁴⁾から伐採率(昭和 22, 23 年の伐採面積の平均値の山林面積に対する割合)と山崩率(今次災害の山崩面積の山林面積に対する割合)を計算対照すると次表のごとくなる。

町 村	川 辺 町	加世田町	勝 目 村	知 覧 町	万 世 町	伊作町	田布施村	阿多村
山林面積 (町)	5320	3811	1778	5561	830	4810	2025	1069
伐 採 率 (%)	1.7	1.2	1.7	2.2	1.2	1.7	0.9	1.0
山崩面積 (町)	1.51	1.00	0.32	4.50	0.10	2.30	0.50	0.40
山 崩 率 (%)	0.28	0.26	0.18	0.81	0.12	0.48	0.25	0.37

伐採率が大になるほど山崩率が多くなる傾向が多少見られるが明らかでないのは、山崩が森林の伐採以外の他の要素に大きく左右されることと、森林が既に保全的配置でなくしたがつてその伐採が山崩の発生にそれほど大きな影響を与えなかつたためであろう。

Ⅳ．シラス地帯の治山対策

1. 治山工法

a. シラス台地上の工法および排水方法

台地上の工法は、台地上の排水系統を確立し道路面を畑面より高くして道路が排水路とならぬようにすること、畦畔を等高線にすること、台地周辺に耕作禁止区域を設け草生地とすること、台地周辺に土堤を築設し谷頭への直接排水を防ぐこと等^{1) 8)}、治山よりは農業の保全施設が主体となるべきである。

治山としては台地周辺の耕作禁止区域の一部を林地として、台地上の流水の流速減退を行わせると同時に防風林を兼ねさせること、台地周辺の耕地の林地還元が困難な場合でも少なくとも gully head 周辺は林地とすること、台地内部にも wind erosion 防止のために副防風林的な林帯を設けることである。

台地よりの排水を台地の下に安全に導くには、台地上の排水系統を確立して集水し、それを斜面上を堅固な水路で導水して安定した谷に排水するのがよい。斜面の水路は新規火山灰層中に設置するのがよく、シラス層中ではコンクリート等で堅固にする必要がある⁸⁾。農地の畦畔を切ることによる農民の排水系統変更により折角の斜面水路に台地よりの排水が導水されていない例が多いので、水路を設置するには必ず台地の排水系統を確立固定させねば意義がない。また斜面が林地であつてもⅡ．で述べたごとく流下水は相当の流速と泥土を有するので、林地中でも堅固な水路を設ける必要がある。

台地上の排水系統の確立が困難で台地よりの排水を斜面に分散流下させねばならぬ時は、台地周辺を森林として、森林中で流速を減退、泥土を沈積させて後斜面を静かに流下するようにし、また gully head に直接排水する以外に方法のない場合も垂直落水型侵蝕を防ぐため、谷頭の落口や落下点を木材・石・コンクリート等で保護するか、落水を樋・管^{3) 36)}で導水する等の対策が必要である。

b. 溪流工事

シラス地帯の河床の安定勾配は 1 % 以下^{36) 41)}で清水時にも縦侵蝕を伴い、溪岸の崖脚の洗掘を防止して上方の崖崩れを防ぐには高堰堤を必要とするが、シラス谷では高堰堤の築設は堤体保持上難点があり³⁶⁾、低階段堰堤^{36) 40)}の築設が妥当である。

河床勾配を保持するには、第 1 の堰堤の堆砂をまつて上流に第 2 の堰堤を築設し、さらに第 3 第 4 の堰堤を階段的に築設し³⁶⁾、急勾配はコンクリート水路⁴¹⁾とするのであるが、これでは

長時間・経費を要するので、植物性材料の堰堤³⁾ 41)・粘土詰土俵⁸⁾で一時的に河床勾配をとるのも一法であるが、この場合も最下流の基礎となる堰堤は堅固な石またはコンクリート堰堤にすることが必要で、また植物性材料の堰堤は恒久的でなく清水時に堆砂が流れ出す⁴¹⁾ので、順次恒久的な石またはコンクリート堰堤に変えていく必要がある。

石またはコンクリートとシラスの接触は悪¹⁾ 8) 41)く過度の含水・漏水による堰堤破壊の危険があるので、堰堤築設位置は勾配変化の少ない³⁸⁾基礎・両岸の堅固な点を選び、既設の堰堤も袖が短かく横を抜かれたものが多く見られるので、堰堤は高さを大にするよりも袖を長くすることに留意すべきである。

シラス地帯の gully の横侵蝕による山脚洗掘(崖脚洗掘型崩壊)は、奥行 0.3~0.5m くらいで山脚は倒壊し最大安定限度 0.5m 内外と考えられる⁴¹⁾ので、横侵蝕防止の護岸か流路の安定を必要とする場合が多い。護岸設置には崖脚よりの湧水の有無を充分確め、湧水があればその排水設備を設けて湧水による護岸の破壊を防ぐこと、シラスは水に洗われやすいので護岸に充分の裏込礫を施すこと³⁶⁾、経費・材料の点から一時的ではあるが植物性材料の護岸⁴¹⁾を活用することが必要である。

シラス地帯では堰堤・護岸等溪流工事の工作物に空積を用いるのは危険⁴¹⁾で、経費・材料等の点より石・コンクリート材料のものと植物性材料のものとを併用するのが望ましく、その構造等今後の研究点が多い。

また、シラス地帯の溪床は移動しなければ植生がよく進入するので、一般に谷巾過大となっている溪床に造林して遊水林とすることも必要である³⁾ 41)。

c. 山腹工事

垂直落水型侵蝕による gully head の崩壊斜面は、台地よりの流水が直接 head の斜面に当らぬように、head に廻水施設¹⁾ 8) 36) 38) を設けて安全な斜面を水路で溪に導くのがよいが、head の崩壊斜面を導水する以外に方法の無い時は、堅固な水路を設けて流水が直接斜面に当らぬようにする。

山腹水路の設置に当つては、Ⅲ. 1. a で述べたごとく台地上の排水系統を確立固定させること、集水区域の小さいところは張芝水路⁴¹⁾でもよいが急傾斜、集水区域の大きなところは練張水路・コンクリート水路³⁵⁾ 41)とすること、山腹湧水のある処は水路に裏込礫を充分いれること³⁶⁾、豪雨時のシラス台地よりの流水は相当泥土を含むので水路の断面・強度は清水時の計算より大とすることが必要である。

シラスは垂直に近い壁面をなして安定しているが³⁾ 11) 36)，一度崩れたものの自然休止角は小で西氏²¹⁾の崖錐傾斜角測定では 10~70° で 40° が最も多いので、シラス崖面は法切すれば緩勾配にせねばならぬので、シラス崩壊面は天然の崩壊面のまま放置するかあるいは垂直に近く法切¹⁾ 36)するのがよい。新規火山灰層は亀裂欠壊を起すので 45° 程度の傾斜に法切¹⁾ 11)した方

がよい。

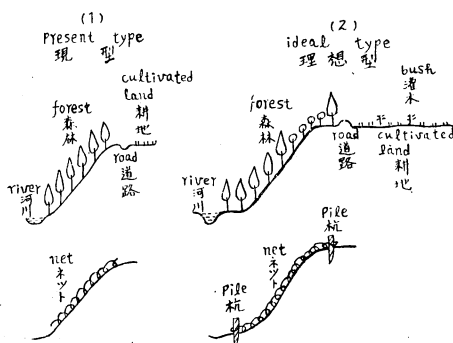
滲透水・地下水の湧出による滲出崩壊型、地下水湧出崩壊型の山腹は湧水の排水が肝要で、湧水は一次シラス（鹿児島型）では基盤との境附近から、水成シラス（宮崎型）ではその成層面から湧出する¹¹⁾。地這型の山腹では滲透水の排水を行うとともに斜面下部山麓部分¹²⁾に深根性の森林を仕立てる。崖錐の安定には崩土は流れ易いので山脚洗掘防止と同様に護岸、流路の安定を必要とする場合が多く、崖錐崩壊は滲透水による飽水（西氏²¹⁾のシラス粉体の休止角測定結果では含水比 31 % で 53° が最高である）によるので崖錐の排水設備が必要である。

山腹工事として法切階段し積苗工・筋工を行つたものが不成功に終つているのが相当あるのは、斜面が植生で被覆されるまでに侵蝕されて rill を生じる¹⁾ ³⁶⁾、山腹の練積工作物に湧水の排水設備が足りぬ、天芝による階段の先端の保護よりは階段と法面との交線の角隅の点の保護を要する⁴⁰⁾、山腹編柵は階段保持殊にボラ唇の保持に用いられているが³⁵⁾編柵を主体として斜面の施工をすることは危険である⁴¹⁾等の点によると考えられ、むしろシラス地帯は禿げ山地帯と違つて芝・カヤ・雑草・林木等植生の生育がよいので³⁾ ³⁶⁾、法切斜面・崖錐斜面等垂直壁以外の緩斜面は藁伏工等の斜面被覆工に雑草等を斜面混播して、できるだけ早く斜面全体を植生で被覆して rill の発生防止をするのが適当であらう³⁾¹¹⁾³⁷⁾³⁸⁾⁴⁰⁾。

結局シラス地帯の山腹処理方法としては、崖のあまり高くないところは崖の肩を切落して緩傾斜として階段畑・林野とし⁸⁾、崖が高く垂直に近いようなところは放置するか小出氏¹¹⁾の考えのごとく崖錐を足掛りとして徐々に復旧させ、その他の斜面では山腹湧水の排水に注意して植生尊重の工法をとるのが適当であらう。

2. 森林配置および造成

シラス地帯の森林は現在は第 5 図(1)のごとく斜面の部分のみに存在し、溪床と台地上の部分の森林を欠き、斜面の森林のみでは台地よりの集中流下水の抵抗物として充分でないが、森林配置の理想型は第 5 図 (2) のごとく溪床上から台地周辺まで連続した森林を配置することである。



第 5 図 シラス地帯の森林配置

Fig. 5. Arrangement of forests in the "Shirasu" district.

る。溪床上の森林はネットの固定杭と崖脚洗掘防止の用をなし、台地周辺の森林は斜面の森林ネットの固定杭の作用、台地よりの流水の抵抗物として流速減退・流水中の肥沃泥土の沈積の作用、台地上の耕地の主防風林の作用を有する。この両部分の森林を欠いた現在の斜面の森林では森林の土地保全効果を 100 % 発揮できぬ。

森林配置としては固定杭の働きをする溪床上・台地上の森林部分、斜面下部、台地上の

主防風林部分は深根の喬木がよいが、屋根およびその附近の斜面上部、台地縁端は喬木は台風等の風倒によりかえつて崩壊を誘発する危険があるので、風害に強い広葉樹を育成し孤立針葉樹喬木を除去するのがよく、台地内部の wind erosion 防止の副防風林は灌木性の生垣式のものを数多く配置し、耕地の減少と日蔭による逆効果を少なくするのがよい。また斜面森林中に道路を設置する時は道路が排水路とならぬよう、道路による森林ネット切断の影響を少なくするため、道路はできるだけ zigzag 型に配置する等注意を要する。

樹種としては、現に山腹砂防植栽に用いられているクロマツ・ヤシヤブシ・クヌギ等の成績も良好であり³⁶⁾、防風林としてのクロマツもよいが、シラス地帯の林地はⅡ. で述べたごとく里山的な存在であること、農地を林地に転換した場合に早く収益をあげる必要のあること、台地上の防風林も風力防止・土砂飛散防止・旱魃防止以外に農用林としての価値大なること⁴³⁾からして、農用林的樹種を大いに混用することが必要である。林野率(総面積に対する山林・原野面積の比)は全国平均 68.0 %に対して、鹿児島県 62.4 %と低いのが特にシラス台地たとえば笠野原台地は 19.3 %⁴⁾と林野は非常に少なく、燃料源・飼料源・肥料源としての森林に不足しているので、薪炭用樹種、センダン⁴³⁾・イタチハギ・ニセアカシヤ⁴⁴⁾等樹葉利用の飼肥料木、サザンカ・ツバキ・シナアブラギリ等の採油樹種、コウゾ・ミツマタ・シュロ・アオギリ等繊維利用樹種⁴³⁾を混用し、防風林も主防風林は上木クロマツ・クヌギ・下木マテバシイ・クリ・カン等の針広混雑林としても、その林縁には前記特用樹種、庇陰には飼料植物を活用し、畑の周縁の防風垣にはチャを利用する⁴³⁾等多目的な森林を造成しなければならぬ。

しかしシラス地帯の森林は土地保全効果を第一義に考えることが必要で、収益・利用のみを考えて濫伐・落葉濫取を行い地面を露出させることの無いように注意せねばならぬ。

3. 予防、普及の必要性

Ⅲ. 6. 災害の原因で述べたごとく、災害の原因としては天然原因のほかに人工誘因の影響が大であるので、この人工誘因を除去するため次のごとき予防措置が必要である。

(1)台地上の農地は侵蝕防止的農法を行い、排水系統を確立固定し、畦畔を切つて排水系統を乱すことを行わぬこと。

(2)災害跡地を森林に復帰させるだけでなく、開拓に当つて台地周辺の森林を残存させる等、森林の土地保全効果を 100 %發揮出来る姿としておくこと。

(3)gully head には丸太・竹等をならべる、地下水の湧出口に竹樋で排水をはかる等大きな gully となるまでに農民自体で可能な簡単な侵蝕予防法を講ずること。

また土地の人の災害・森林の保全効果に対する認識は低く、斜面に大木があるから台地縁端まで耕作しても大丈夫であると考えていた者、斜面に大木があつても崩れたので森林は効果がないと考える者が多く、森林の機能を 100 %以上に過信するか或いは 0 %と速断して、災害の原因が多分に人工的誘因にあることを気付かぬので、災害・森林の保全機能に対する認識を向

上させる教育・普及が必要である。

V. 十勝岳山麓地帯の災害

1. 被害額

十勝岳山麓の傾斜畑地帯で sheet erosion は勿論 gully erosion が頻発し、その流出土砂は下流に押出し河床上昇・水田埋没・家屋倒壊・用水路破壊等の被害をおよぼし、昭和 25 年の北海道庁林務部の調査⁴⁷⁾によると、富良野町・中富良野町・上富良野町・美瑛町・東神楽村・神楽村の傾斜畑 22,000 町歩中に gully 243 カ所・要復旧面積 1,500 町・永久廃田 50 町・永久廃畑 190 町・道路被害 13,362 間で、被害総額 1 億 2,600 万円となつている。

2. 災害時の気象

旭川測候所・美瑛農事試験場・富良野役場および東大演習林の麓郷・山部・西達布の観測結果⁴⁸⁾では第 6 表のごとくである。

第 6 表 気 象 状 況

地 名	旭 川	美 瑛	富 良 野	麓 郷	山 部	西 達 布
年平均気温 (10時)	5.4 統計期間 明21～昭22	7.6 昭 6～昭15	8.2 大10～昭15	7.8 大11～昭15	7.9 大10～昭15	7.6 大10～昭15
平均降水量	1077.7 統計期間 明22～昭22	1018.0 昭 5～昭21	827.8 大13～昭25	951.3 大15～昭15	1142.3 大10～昭25	1182.7 大10～昭15
7・10月平均 降水量	490.0 統計期間 明22～昭22	504.0 昭 5～昭21	432.3 大13～昭25	431.6 大15～昭25	553.7 大10～昭25	558.2 大10～昭25
最大日雨量	107.1 統計期間 大10～昭25	85.1 昭 5～昭25	180.3 大13～昭25	151.9 大14～昭25	244.5 大 5～昭25	196.7 大 5～昭25
日雨量50 mm以上 発生回数	年平均 0.93 月平均最大 0.30 統計期間 大10～昭25	0.67 0.34 昭 5～昭25	0.97 0.38 大13～昭25	0.65 0.21 大11～昭25	1.44 0.48 大10～昭25	1.42 0.43 大10～昭25
月平均積 雪深最大	74 統計期間 明22～昭22	61 昭 5～昭21	51 大 5～昭21	54 大11～昭21	66 大 5～昭21	64 大 5～昭21

年平均気温は旭川を除いては 8° 程度、最低気温は 1～2月で -15° ～ -16° である。年降水量は 800～1100mm でその半分は 7～10 月に降り、山間部は平坦部より多く、最大日雨量も 100～200mm 程度で昭和 3 年 9 月 13 日の山部の 244.5mm が最高である。根雪期間は 11 月下旬より 4 月中旬である。

侵蝕に関連の深い降雨強度については、調査地の富良野町布礼別・上富良野町鯉沢には観測資料無く不明であるが、旭川の時雨量 30.4 mm、10 分間雨量 13.1 mm の記録⁴⁹⁾からしてあまり大きくないと考えられるが、現地の方の言によると局地性の短時間の豪雨があるらしく、昭和 24 年 5 月 20 日布礼別に災害を起した時に約 3 km 離れた麓郷では僅か 39.4mm の降雨であつた⁴⁸⁾。

侵蝕に影響する降雨は現地の者の言によると、融雪後播種直後の降雨、7・8・9月の作物刈取り後の豪雨で、いずれも畑に植物被覆・積雪被覆の無い時期の降雨である。また明白ではないが侵蝕には降雨のほか季節風等による wind erosion もあるらしい。

3. 地況

地質は十勝岳周辺は安山岩で、その裾野は石英粗面岩台地となり、さらに富良野盆地・旭川盆地には洪積台地および火山噴出物の沖積地があるが、調査を行つた地区は石英粗面岩および同質凝灰岩の開析台地で、約 60~120m の起伏を示す丘陵地で谷はU字形で深く、土壌は石英粗面岩および同質凝灰岩を母岩としたボトゾル化土壌である⁴⁵⁾。

十勝岳山麓地帯の土地利用状況は第7表⁴⁵⁾のごとく、農用地は 85 % 程度であるがそのうち 12 % 程度は荒地となり、森林 15 % 程度である。耕地の傾斜は 5~15° が多いが、15° 以上の急傾斜のものも相当ある。

第7表 土地利用状況

町 村	土地面積	農 用 地		森 林	耕 地 傾 斜 比 率 %			
	町	%	内荒地%		~5°	5°~10°	10°~15°	15°~
富 良 野	8,325	78.6	3.9	21.4	30.0	50.0	9.9	10.0
中 富 良 野	6,492	85.3	5.3	14.7	13.4	35.6	48.1	2.9
上 富 良 野	9,351	85.5	9.0	14.5	18.7	48.2	19.5	13.6
美 瑛	15,757	87.4	21.2	12.6	14.2	27.5	45.7	12.6
東 神 楽	4,496	90.2	7.3	9.8	4.9	9.8	60.0	25.3

調査地の傾斜分布および土地利用状況は第8表⁴⁵⁾のごとく、傾斜は地区の 60 % 程度はB・C であるがDも相当面積を占め、畑地はB・Cが 2/3 程度であるがDも相当面積を占め、林地・草地(草地のなかにカラマツを植栽して間もなく全体としては草地とみるべきところも含めた)はDに多いが、そのほか緩傾斜でも侵蝕甚だしく耕作困難で畑地から還元したのものもある。

第8表 調査区の傾斜分布および土地利用状況

傾 斜 別 面 積 (町) お よ び 比 率 (%)												
場所 傾斜 地目	富 良 野 町 布 礼 別						上 富 良 野 町 釧 沢					
	A 0~3°	B 3~8°	C 8~12°	CC 12~15°	D 15°以上	計	A 0~3°	B 3~8°	C 8~12°	CC 12~15°	D 15°以上	計
畑 地	3.0 (12.5)	4.8 (20.0)	11.1 (46.3)	2.6 (10.8)	2.5 (10.4)	24.0 (100)	0.80 (3.3)	10.02 (41.4)	7.32 (30.2)	1.70 (7.0)	4.48 (18.4)	24.32 (100)
草 地								2.86 (34.9)	1.93 (23.5)	1.00 (12.2)	2.41 (29.4)	8.20 (100)
林 地			0.7 (17.5)	0.3 (7.5)	3.0 (75.0)	4.0 (100)		3.25 (27.5)	1.79 (15.2)		6.79 (57.3)	11.83 (100)
全	3.0 (10.7)	4.8 (17.1)	11.8 (42.2)	2.9 (10.4)	5.5 (19.6)	28.0 (100)	0.08 (1.8)	16.13 (36.4)	11.04 (24.9)	2.70 (6.0)	13.68 (30.9)	44.35 (100)

4. 土質

a. 組成, 比重等

布礼別および鰍沢の調査区の土壤は石英粗面岩質凝灰岩の風化したもので、宮坂氏⁴⁹⁾の分析結果では、gravel (2,362mm 以上) は 1 ~ 2 % で、細土については sand (2,362~0.05mm) は 60 % 程度、silt (0.05~0.005 mm) は 15 % 前後、clay (0.005 mm 以下) は 20 % 程度で、0.002mm 以下の微粒分は 10~15 % である。Hazen の有効径は 0.001mm 程度である。

比重も宮坂氏⁴⁹⁾の測定では、真比重 2.6 程度、見かけ比重は粗状態で 1.0 程度、密状態で 1.2 程度である。

b. 含水量, 滲透

宮坂氏⁴⁹⁾の測定では、土壤の空隙率は 60 % 程度、水分当量 25~30 %、最大容水量は 50 % 程度で、透水係数 (cm/sec) は粗状態で 0.0005~0.001 で下層土は表層土より小さく、密状態で 0.0003~0.0009 である。また最初水分当量と同じ含水量の 15 cm 深さ (耕耘深さは普通 15 cm) の土壤が最大容水量まで飽和するには、滲透速度以内の降雨ならば布礼別土壤で 41 mm、鰍沢土壤で 34mm の降雨が必要という計算になる。

c. 流出限界, erosion ratio 等

上富良野町第1安井牧場および美瑛町オキキネウシよりの採取土壤の流出限界 (振動回数10回) はそれぞれ含水比 32 %, 47 % である。

erosion ratio は西潟氏等⁵⁰⁾の測定では、布礼別土壤 12.0~23.4、鰍沢土壤 14.9~30.6 となつてゐるが、これも silt・clay の分類が Middleton 氏³⁴⁾の分類と異なると思われるので、Middleton の侵蝕性 10 以上の値と直接比較出来ないが、大体においてやや侵蝕性と見られ、また鰍沢土壤は布礼別土壤よりも侵蝕性である。

宮坂氏⁴⁾は直径 3.77mm の水滴を 1.5m の高さから落下速度 3 m/sec で 1 分間 120 滴を斜面に 1 分間落下させ、水滴とともに飛散する土壤粒子の量を測定したが、その結果は布礼別

傾斜 土壤	0°	5°	10°	15°	20°
布礼別	25%	35%	45%	54%	60%
鰍沢	25%	45%		80%	

土壤平均 0.30 g、鰍沢土壤平均 0.43 g で鰍沢土壤がより飛散しやすく、また飛散量のうち下方 90° の範囲内に飛散降下する割合は左表のごとく傾斜の増大とともに増加している。

d. 凝集力, 摩擦係数

剪断試験による凝集力・内部摩擦係数と含水比の関係を示したのが第6図である。第6図(1)・(2)は宮坂氏測定⁴⁹⁾の布礼別・鰍沢土壤の補正係数を乗じない実験値、(3)・(4)は筆者等の上富良野第1安井牧場土壤・美瑛町オキキネウシ土壤の実験値である。

第6図をみると、本地帯土壤の凝集力は火山灰土に比し大きなものもあるがロームよりは小

さく³⁰⁾、大体含水比 25~30 %程度で凝集力は最大値を示し、含水比 30 %以上では凝集力・摩擦係数ともに小さな値となる。また含水比10%程度では凝集力は非常に小さな値を示し、乾燥すればwind erosion の危険性も考えられる。

e. 腐植含量

西潟氏等⁵⁰⁾の測定では腐植含量は、布礼別畑地土壤は表層 2~4 %、下層 1~2 %程度、鵜沢畑地

土壤は表層 1.5 %前後、下層 1 %以下といずれも極めて乏しい。一方林地土壤は鵜沢で植栽後 11 年のカラマツ林地で表層 2~3 %、下層 1.5~2 %程度と農地土壤の 2 倍になっている。

松井氏等⁵¹⁾の調査結果では、1 カ年間の落葉量は 1 ha 当り広葉樹林で 0.4~0.6 ton、針葉樹天然林で 0.4 ton 程度で、植栽後 12 年のカラマツ林地で落葉層 1.3 cm、粗腐植層 1.4 cm となっている。また道庁林務部に依頼して土壤採取を行つた富良野町第 1 安井牧場のナラ等の広葉樹 15~35 年生林地で落葉層 5 cm、粗腐植層および腐植に富んだ層 8 cm、美瑛町オキキネウシのナラ・セン・シラカバ等 25~40 年生林地でそれぞれ 5 cm、10 cm の厚さである。

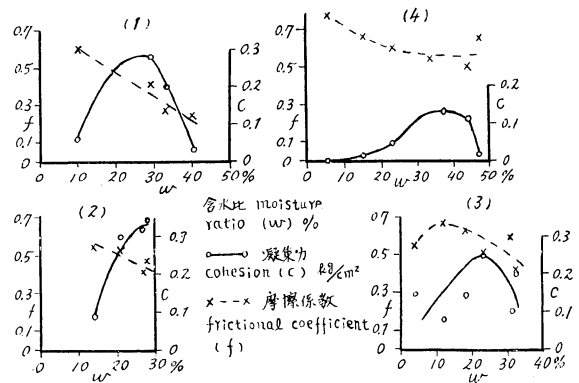
5. 侵蝕状況

gully の発生年次等からみても相当以前より災害を起してはいたが、大規模な災害となつたのは戦時および戦後で、治山関係の調査が行われたのも近年⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁵²⁾である。侵蝕には sheet erosion・rill erosion・gully erosion が見られ、いずれも農地に起つているのが大部分である。

a. sheet erosion

十勝岳山麓地帯でも洪積層地帯は石英粗面岩地帯よりも侵蝕に対する抵抗性大と見られるが⁴⁵⁾、石英粗面岩質凝灰岩の風化土壤では侵蝕されやすく、上富良野の斜面耕地で 20 年前には埋没して見えなかつた転石が昭和 23 年のアイオン台風時までに 30 cm 以上も地表より高くなつた例⁴⁷⁾、開墾後約 50 年間で 15~20 cm の表土の流出が推定される例があり、斜面耕地では強度の sheet erosion が起つている。

布礼別・鵜沢の調査区でも前述のごとく、その土質がやや侵蝕性であるうえに腐植含量の乏しいことで加速されて、sheet erosion を受けやすいことが想像出来るが、これは現地でも道路の切取面に小礫を頭にいただいた高さ 2 cm 程度の小土柱が数多く見られることから雨滴侵蝕に弱いのがわかり、また傾斜 8° くらいの道路面には大粒の石英粒のみが残つて微粒は無い



第6図 凝集力、内部摩擦係数と含水比の関係
Fig. 6. Relation of the cohesion and frictional coefficient to the moisture ratio.

第9表 地目別・傾斜別・侵蝕度別面積(町)

地 目	布 礼 別 畑 地									布 礼 別 林 地	
侵蝕度 傾斜	+3	+2	+1	0	1	2	3	4	計	0	計
A 0 ~ 3°	—	1.1 (37)	—	1.8 (60)	0.1 (3)	—	—	—	3.0 (100)	—	—
B 3 ~ 8°	0.8 (17)	1.4 (29)	—	—	2.6 (54)	—	—	—	4.8 (100)	—	—
C 8 ~ 12°	—	—	0.9 (8)	—	0.6 (5)	8.3 (75)	1.3 (12)	—	11.1 (100)	0.7 (100)	0.7 (100)
CC 12 ~ 15°	—	—	—	—	0.1 (4)	—	1.4 (54)	1.1 (42)	2.6 (100)	0.3 (100)	0.3 (100)
D 15° 以上	—	—	—	0.3 (12)	—	—	1.0 (40)	1.2 (48)	2.5 (100)	3.0 (100)	3.0 (100)
計	0.8	2.5	0.9	2.1	3.4	8.3	3.7	2.3	24.0	4.0	4.0

地 目	鰍 沢 畑 地								鰍 沢 草 地					鰍 沢 林 地				
侵蝕度 傾斜	+3	+2	+1	0	1	2	3	計	0	1	2	3	計	+1	0	1	2	計
A 0 ~ 3°	—	—	—	—	—	—	0.80 (100)	0.88 (100)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B 3 ~ 8°	0.60 (6)	—	—	0.10 (1)	6.65 (66)	2.07 (21)	0.60 (6)	10.02 (100)	—	1.95 (68)	0.91 (32)	—	2.86 (100)	—	—	2.90 (89)	0.35 (11)	3.25 (100)
C 8 ~ 12°	—	—	0.59 (8)	—	2.69 (37)	4.04 (55)	—	7.32 (100)	—	1.01 (52)	0.65 (34)	0.27 (14)	1.93 (100)	0.15 (8)	0.13 (7)	—	1.51 (84)	1.79 (100)
CC 12 ~ 15°	—	—	—	—	—	1.70 (100)	—	1.70 (100)	—	—	1.00 (100)	—	1.00 (100)	—	—	—	—	—
D 15° 以上	—	—	—	—	—	3.44 (77)	1.04 (23)	4.48 (100)	0.48 (20)	—	1.46 (61)	0.47 (20)	2.41 (100)	—	6.79 (100)	—	—	6.79 (100)
計	0.60	—	0.59	0.10	9.34	11.25	2.44	24.32	0.48	2.96	4.02	0.74	8.20	0.15	6.92	2.90	1.86	11.83

ことから流れやすいこともわかる。

総合調査の土壤班⁴⁵⁾の侵蝕度調査結果から地目別・傾斜別・侵蝕度別面積を求めたのが第9表である。第9表の()内の数字は地目別各傾斜面積を100としての各侵蝕度別面積の比率である。侵蝕度調査では表土原深を40cmとして、+3は20~30cmの堆積、+2は10~20cmの堆積、+1は0~10cmの堆積、0は侵蝕無し、1は0~10cmの流亡、2は10~20cmの流亡、3は20~30cmの流亡、4は30cm以上の流亡である。

また第9表の値から地目別・傾斜別平均侵蝕度を求めたのが第10表である。第10表中全とあるのはその地目の全傾斜を通じての平均侵蝕度である。平均侵蝕度の計算は次のごとく行つた。

$$\text{平均侵蝕度} = \frac{(4 \times a_4 + 3 \times a_3 + 2 \times a_2 + 1 \times a_1 + 0 \times a_0) - (1 \times a_{+1} + 2 \times a_{+2} + 3 \times a_{+3})}{a_4 + a_3 + a_2 + a_1 + a_0 + a_{+1} + a_{+2} + a_{+3}}$$

ただし $a_4, \dots, a_{+3}$ はそれぞれ侵蝕度 4, ..., +3 に属する面積

第10表 地目別・傾斜別平均侵蝕度

場所	傾斜		A	B	C	CC	D	全
	地目							
布礼別	畑地		+0.7	+0.5	1.8	3.3	3.1	1.3
	林地		—	—	0	0	0	0
鰯	畑地		3.0	1.1	1.4	2.0	2.2	1.5
	草地		—	1.3	1.6	2.0	1.8	1.6
沢	林地		—	1.1	1.6	—	0	0.5

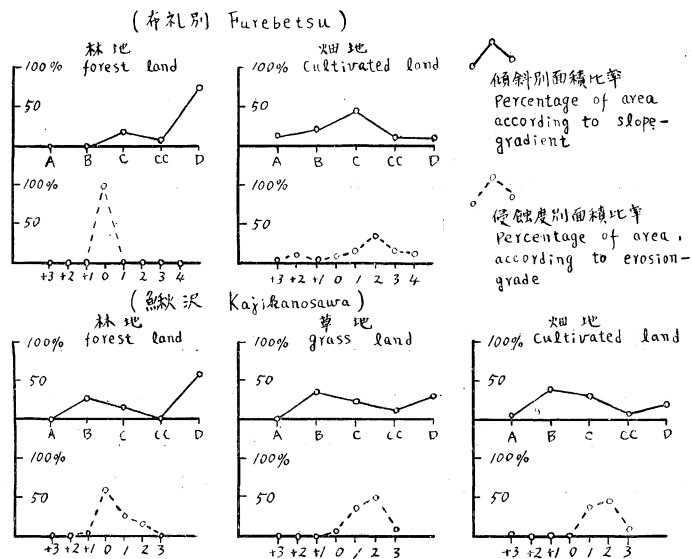
第10表の平均侵蝕度の値は林地を除いては傾斜の増大とともに大きな値となり(鰯沢の畑地Aが3.0の値であるのは、これは山頂部の緩斜地でwind erosionによる特殊なものと考えられる)、傾斜が侵蝕を支配する重要な因子の1つであることを示し、これはまた第9表の()内の数字を見ても各傾斜階級内の最大の数字は、林地を除いては傾斜が増すごとに大きな侵蝕度の方に出現していることでもわかり、第9表の値から傾斜と侵蝕度のcontingence係数⁵³⁾を求めてみると布礼別畑地0.82、鰯沢畑地0.66と大きい。畑地では傾斜CC・Dとなると侵蝕度は鰯沢ではほとんど2以上、布礼別では3以上となっている。

傾斜が侵蝕を支配する唯一の因子で無いことは、第10表の畑地の傾斜による侵蝕度の増大が布礼別と鰯沢では異なるのでわかり、これは両地の耕作方法・土質の差等も侵蝕度に影響しているのを示す。また林地では侵蝕度は傾斜と関係無いことは地被物の影響が大であることを示し、これは傾斜の緩急によつて侵蝕度の強弱を生ずるかを地目別(布礼別林地は傾斜の如何にかかわらず侵蝕度0で傾斜の影響が無いのは明らかであるので除外)にYatesの補正方法⁵⁴⁾による χ^2 検定を行つた次表(表の()内の数字は各傾斜の全面積を100%とした時の%を示したもので、予測度数の数字を示したものではない)で、畑地は $\chi_0^2 > \chi^2$ で傾斜の緩急によ

地 目	布 礼 別 畑 地			鰍 沢 畑 地			鰍 沢 草 地			鰍 沢 林 地		
侵蝕度	弱	強	計	弱	強	計	弱	強	計	弱	強	計
傾斜	(+3~2)	(3~4)		(+3~1)	(2~3)		(+3~1)	(2~3)		(+3~1)	(2~3)	
緩 (A~C)	17.6町 (93%)	1.3 (7)	18.9 (100)	10.63 (59)	7.51 (41)	18.14 (100)	2.96 (62)	1.83 (38)	4.79 (100)	3.18 (63)	1.86 (37)	5.04 (100)
急 (C~D)	0.4 (8)	4.7 (92)	5.1 (100)	0 (0)	6.18 (100)	6.18 (100)	0.48 (14)	2.93 (86)	3.41 (100)	6.79 (100)	0 (0)	6.79 (100)
χ^2	11.361			4.272			0.419			0.840		
χ^2	6.635 (0.01)			3.814 (0.05)			3.814 (0.05)			3.814 (0.05)		

る差が有意で、草地、林地では傾斜の緩急による差は有意でないことも明らかである。

次に地被物の相異によつて侵蝕度に差を生ずることは、第 10 表および地目別の傾斜分布と侵蝕度分布を示した第 7 図を見れば明らかなくとく地被物は侵蝕度を左右する最も重要な因子



第 7 図 傾斜分布と侵蝕度分布

Fig. 7. Distribution of the gradient of slope and the erosion-grade.

で、林地の 57 % が傾斜 D であるのに侵蝕度は 0 が 58 % で最高 2 (畑地よりの転換地や gully 周辺に限られる) であるのに対し、草地は 58 % が傾斜 C 以下であるのに侵蝕度は 2 以上 58 % で最高 3 (畑地よりの転換地) で、畑地は 75 % が傾斜 C 以下であるのに侵蝕度は 2 以上 56 % で最高 3 である。

以上のごとく sheet erosion の程度には地被物の影響が最も大で、畑地では傾斜の影響が重要であるが耕作方法による差も認められ、土質としては腐植含量少なく透水悪く耐侵蝕性構造

である。布礼別では畑地の平均侵蝕度 1.3 に対し林地は 0 で、林地の 75 % が傾斜 D であるのに侵蝕度はすべて 0 であるのに対し、畑地は 79 % が傾斜 C 以下であるのに侵蝕度は 2 以上が 60 % で最高 4 である。鰍沢では畑地の平均侵蝕度 1.5、草地 (侵蝕はなはだしく畑地を草地に転換したものもある) 1.6 に対し林地 (草地と同様畑地から転換したものもある) 0.5

でないのが影響し、林地が侵蝕度低いのは地面被覆による雨滴侵蝕防止、地表流のエネルギー減殺以外に腐植含量多く透水が良く耐侵蝕性構造であるのが大いに影響しているであろう。

b. rill erosion

布礼別・鯉沢の調査地およびその附近には rill が多く見られ、また rill というよりは小 gully と呼んだ方が適切な程度のものが頻発している。小 gully は2種あり、1つは地形上集水される凹地に生じ比較的緩斜地でも発生し、他は地形上平滑と見られるところに発生したもので(写真1, 2)大体15°以上の傾斜Dのところに発生している。

rill は除虫菊(写真3)・トウモロコシ(写真1)等の列作物でない点状作物地に多く見られ、また土樋跡・道路の不備が小 gully の原因となつているのがところどころに見られる。

林地は農地に比し rill・小 gully が生じない例はところどころに見られ、上方にカバ林のある傾斜17~19°の除虫菊地に rill が無いのに、近接の上方に林地の無い傾斜19°の除虫菊地に rill が発生している例(写真3)、傾斜20°のカバ・カラマツ林地と傾斜14°のムギ・クローバー地に rill が無いのに、その中間の傾斜20°のムギ地に小 gully を発生している例(写真2)等がある。

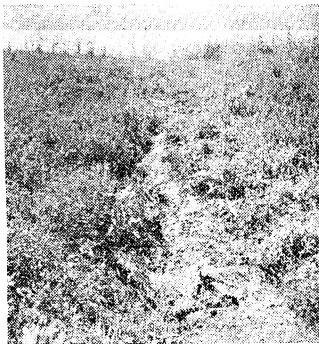


写真1. 小雨谷
Plate 1. Small gully



写真2. 小雨谷
Plate 2. Small gully

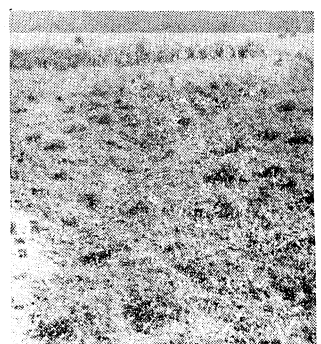


写真3. 雨裂
Plate 3. Rill

c. gully erosion

北海道庁林務部の美瑛・上富良野・中富良野・富良野4カ町の gully の調査結果⁽⁷⁾では、gully の傾斜・集水面積は第11表のごとくである。

第11表の値からすると、199カ所の約8割の153カ所が傾斜15°以下に発生し緩傾斜でも gully を生ずることと、199カ所の約7割の132カ所は集水面積10町以下で発生し集水面積が小さくとも gully を生ずることを注意しなければならぬ。

また、199カ所の gully は道庁林務部の調査⁽⁷⁾では、直線型・曲線型・平行型・ビベツト型・瓢箪型・分岐型・乱流型・放射型等に分類され、直線型と曲線型が普通最も多く見られ、ビベツト型・瓢箪型は更に発達した第2期的なもの、乱流型・放射型は第3期的なものである。

第 11 表 gully の傾斜および集水面積

gully を発生した畑の傾斜								
傾 斜	1~5°	6~10°	11~15°	16~20°	21~25°	26~30°	31~35°	計
数	12	81	61	30	13	1	1	199
gully の 集 水 面 積								
面 積	1~5町	6~10	11~15	16~20	21~30	31~50	51以上	計
数	71	61	20	14	12	12	9	199

gully の大きさは道庁林務部の調査⁴⁷⁾では第 12 表のごとく、199 カ所の gully のうち約 9 割は最大深 5 m 以下、最大巾 10 m 以下であるので、布礼別・鵜沢の調査区内の gully⁴⁵⁾もこの地帯の gully としては普通の大きさのものである。

gully は地形上水の集まる凹地に生じ、当然沢となるべきところに生じ、それが現在までは

第 12 表 gully の 大 き さ

gully の 斜 面 長								
長 さ	1~100m	101~200	201~300	301~400	401~500	501~1000	1001以上	計
数	43	62	21	19	11	30	13	199
gully の 最 大 深								
深 さ	0.1~1.0m	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~10.0	10.1以上	計
数	102	38	22	15	7	13	2	199
gully の 最 大 巾								
巾	0.1~1.0m	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~10.0	10.1以上	計
数	32	48	19	23	14	31	27	199

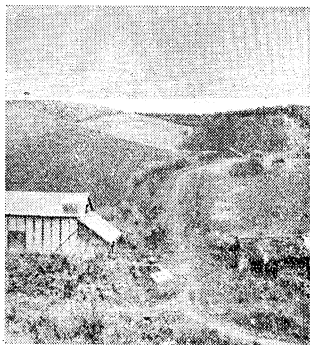


写真4. 耕地内の雨谷
Plate 4. Gully in
cultivated land

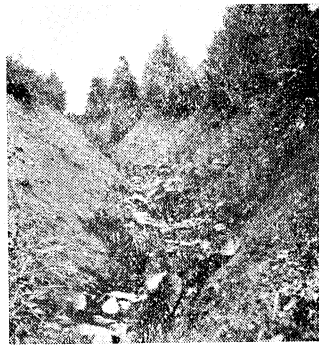


写真5. 雨谷上部の横断面
Plate 5. Cross-section of
upper part of gully

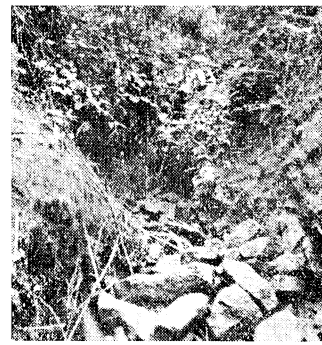


写真6. 雨谷下部の横断面
Plate 6. Cross-section of
lower part of gully



写真7. 雨谷床
Plate 7. Gully bed



写真8. 以前の雨谷
Plate 8. Old gully

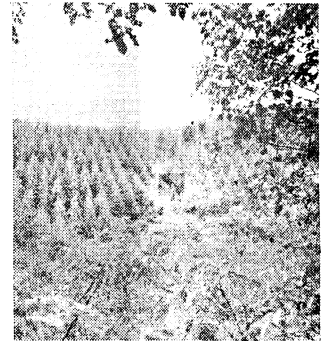


写真9. 林地内の雨谷
Plate 9. Gully in forest land

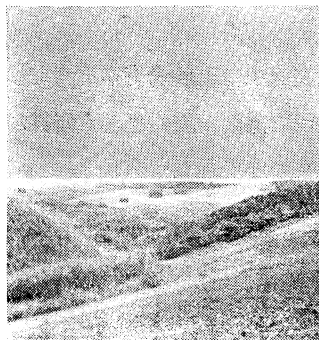


写真10. 雨谷上の農地
Plate 10. Cultivated land
above the gully

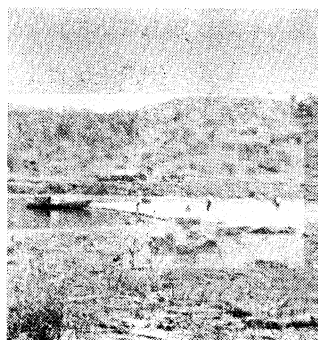


写真11. 野花南ダムの堆砂
Plate 11. Sedimentation in
Nukanan reservoir

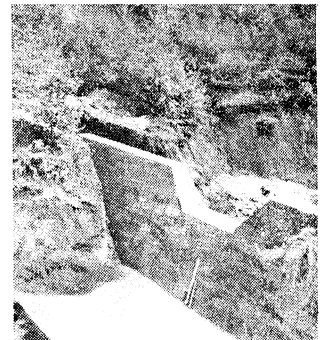


写真12. 雨谷のコンクリート堰堤
Plate 12. Concrete dam in
gully

農地として耕作され沢の形が消されていたものである(写真4)。gullyの横断面型は上部緩斜・土層の厚いところはV字型(写真5), 下部急斜・土層の薄いところはU字型(写真6)で, 縦断面は階段状である。ただ不断の流水が無いので現在の断面(写真7)は大き過ぎる感を抱かせるが, 近くの以前 gully で現在は安定していると思われる沢(写真8)と比較すると, 短時間の大雨時には大雨による流水を無害に通過させるには現在程度の大きさの断面が必要と思われる。gullyの側面はまだ植生の進入少なく安定していないが, 溪床は自然に植生が進入して安定に向いつつある(写真7)。

鰯沢の調査区近くの林地内に gully(写真9)を生じているのが見られるが, これは上方農地(写真10)よりの排水の不始末が原因で gullyは上方の耕地に端を発しており, また他に集水区域がほとんど農地の場合は gully(写真4)となり, 集水区域の半ば程度が林地の場合は小 gullyとしてすんでいる例も見られる。

d. wind erosion

美瑛町の地元民の話では夏の西南季節風による畑の wind erosionは相当であるが, 鰯沢

の調査区でも稜線に近い傾斜 A のところに侵蝕度 3 が現われているのは、wind erosion の結果ではないかと考えられ、本地帯の土壤は第 6 図のごとく含水比が小となれば凝集力も非常に小となるので、乾燥時には wind erosion の危険性を考慮すべきである。

e. 流出土砂

美瑛・上富良野・中富良野・富良野 4 カ町の 199 カ所の gully の平均長 355m, 平均最大巾 1.8m, 平均最大深 5.5m, 平均傾斜 11° から gully 1 本当りの平均流出土砂は 575m³で、総計 14 万 m³ の土砂が gully から流出していることとなる⁴⁷⁾。

石狩川支流空知川の野花南発電ダムは堆砂率 98.5 %³⁹⁾ではなはだしく(写真11), その昭和 22 年 2 月までの堆砂量³⁹⁾から計算すると流域の年平均侵蝕深は 0.11mm となるが、その堆砂の中に石英砂の多いのは十勝岳山麓の石英粗面岩質斜面耕作地よりの流出土砂が多いのを示している。

傾 斜	5°	10°	15°	20°
膨 軟	5.4%	10.7	11.8	13.0
圧 密	3.3	4.1	7.9	10.3

鈎沢土壤による地表水中の土砂含有率を測定した宮坂氏の実験結果⁵⁵⁾では、左表のごとく傾斜の増大とともに土砂含有率は増加している。

6. 災害の原因

災害の原因としては、天然素因としては本地帯が地質は脆い石英粗面岩質、地形は起伏の多い波状地形、土質は V. 4 のごとく侵蝕に対する抵抗性がやや脆弱であること、天然誘因としては融雪直後・夏作物刈取り後に短時間ではあるが局地的な豪雨があることの両者の影響もあるが、この天然原因はシラス地帯等に比較すれば条件はよほど良く、むしろ次の人工誘因が災害の原因の大部分であると云いうる。

人工誘因は土地保全を考慮した合理的土地利用が行われていないことで、次の諸点が挙げられる。

(1)過度の開墾が侵蝕の原因の 1 つで、これは美瑛等 4 カ町 199 カ所の gully の発生年次⁴⁷⁾を示した第 13 表より、約 9 割の 173 カ所が昭和 11 年以後に発生し、大正 9 年以前には 1 つの gully も生じていないことよりして明らかである。

第 13 表 gully の発生年次

年 次	大正9年以前	大正10～14	昭和1～5	昭和6～10	昭和11～15	昭和16～20	昭和21～25	計
数	0	1	11	14	20	109	44	199

神楽村当局の話しでも開墾が進むにつれ、河床上昇ははなはだしくなり、田畑の排水に困るところも生じ、河水の白濁ははなはだしくなっているが、流域に斜面耕作地の少ない聖台貯水池の堆砂ははなはだ少ないという。

(2)土地利用区分が適切でないことが侵蝕の原因の 1 つで、第 7 表よりは 15° 以上の耕地が相

当あるのがわかるが、布礼別・鯉沢でも傾斜と土地利用区分の関係は密接でなく、第8表より地目と傾斜の contingency 係数⁵³⁾を求めてみると布礼別 0.48、鯉沢 0.36 と小さく、布礼別では傾斜 D の 45 %が畑地、鯉沢では傾斜 D の 33 %が畑地となつているのに、傾斜 B・C で林地となつているところもあり、侵蝕と関連深い傾斜によつて土地利用を考えることが行われていない。

(3)粗放な掠奪農業式の農法が侵蝕の原因の1つで、畑に有機物・肥料を補給して土壌の耐侵蝕性を高めることを行っていない。

(4)土地保全を無視した農法が侵蝕の原因の1つで、これには排水系統が確立されておらず道路が排水路となつて gully に発達していること、土樋使用で gully 発生の原因となるか gully の拡大を促進していること、等高線耕作等の保全的農法を行っていないこと、当然排水路の沢となるべきところまで耕作したり、森林として残すべきところまで開墾している等の幾多の事例がある。

(5)侵蝕防止施設や災害地の復旧等保全施設の不十分なことも侵蝕の原因の1つである。

(6) gully になる前の rill 時期に簡単な rill 発達防止対策を行つたり、gully head の進行を防ぐ等予防的措置や災害に対する認識等保全思想が欠除している。

Ⅶ. 十勝岳山麓地帯の治山対策

1. 治山工法

a. 台地上の工法

台地上の畑地の sheet erosion, rill erosion 防止は、作物作付順序・等高線栽培・等高線帯状耕作・有機質の施用と土壌改良・農機具の改良等⁴⁵⁾の栽培技術を改善して保全的農法とすること、テラス・排水路の設置、rill を被草水路とする、道路を改良する等⁴⁵⁾の農用施設の改善および農業経営の改善等⁴⁵⁾の営農条件の改善による土地保全が第一で、林業よりは農業部門の対策が重要である。

林業としては、急斜面および gully 周辺等の侵蝕はなほだしいところを林地に還元することと、wind erosion の明らかなところに防風林を設置することである。

b. gully の防止工法

gully でも農地の中に生じ規模があまり大きくなく、gully 周辺を林地に還元する必要のないものは、被草水路・落差工等の農用施設として防止工法を行うべきで、治山の対象とはならない。

gully が林地内に生じたものおよび gully 周辺を林地に還元すべきものに対しては、すでに道庁林務部で地隙防止林造成事業として防止工法が行われているものもある。その標準的方法は⁴⁷⁾、gully を芝張・石張等で水路を固定し、要所々々に木材・石材等の谷止工・床固工で土

砂の流下を防ぎ、gully 側壁の崩壊を防ぐため積苗工・編柵工で階段を作りハンノキ・ハゲシバリ等の苗木を植栽し、gully の両側および上部の周辺畑地にはカラマツ等を植栽して gully の拡大を防ぐ樹林帯を造成するのである。

調査地附近の gully は、溪床が植生の自然進入で回復に向っているもの（写真 7）、かつての gully が植生で自然に安定したもの（写真 8）が見られるが、当地帯には更に大きな gully が頻発していることからして、経費の点から調査地程度の gully は植生を利用した側壁の崩落拡大の防止工および gully 周辺の林地還元程度にとどめるべきである。

調査地以外の大きな gully の防止工を行う場合も、布部川の安山岩等を除いて石材料・砂利・砂等がないことと、基岩が脆い石英粗面岩であるので、基礎となる堰堤はコンクリート（写真 12）とするのも止むを得ないが、その他は高大な堰堤は経費が嵩みまた危険で、堰堤は木材料等現地資材を活用した横を抜かれぬように袖を長く突込んだ低いものを数多く設置すべきである。gully の側壁は自然のままでは復旧も遅いので gully の拡大防止のためには、側壁を法切して緩傾斜とするか、編柵等で勾配を安定させ、側壁全面にニセアカシヤ・イタチハギ・牧草等の生長の速い草木を植栽するか斜面混播し、gully の側壁全面を速やかに緑化して侵蝕防止を行わねばならぬ。

2. 森林配置および造成

本地帯の林地と畑地の比率はいかにあるべきかが問題となるが、布礼別・鵜沢の調査区について考えてみると次のごとくなる。

(1) 総合調査の土壤班の調査結果⁴⁵⁾⁵⁶⁾では、畑に適しない V 級地は、布礼別で 7.9 町（全面積の 28 %）、鵜沢で 16.38 町（全面積の 37 %）である。

(2) 傾斜 D では平滑斜面でも rill を生ずること、傾斜 D では耕作も困難で一度開墾してもすぐ放棄されカラマツを造林しつつあること、第 9 表・第 10 表の値から傾斜 D の畑地は侵蝕度 2 以上（大部分は 3 以上）であることからして、傾斜 D は林地とすると布礼別で 5.5 町（全面積の 20 %）、鵜沢で 13.68 町（全面積の 31 %）である。

(3) 傾斜 C 以下では現在の侵蝕度 3 でも農法の改善により耕作可能と考えられるが、傾斜 C 以上では侵蝕度 3 以上となれば耕作不可能であるので、この面積と傾斜 D の林地面積を合計すると、布礼別で 7.7 町（全面積の 24 %）、鵜沢で 8.30 町（全面積の 19 %）となる。

以上土地分類基準・傾斜・現在の侵蝕度のいずれからしても最小 20 % 程度が林地となるべきこととなり、さらにこれに gully の周辺等林地に還元すべきところ・防風林・薪炭林を加えると最小 25 % 程度が林地となるが、これを第 7 表の森林の % と比較すると、本地帯では開墾が過度で林地が過少である。

林地の過少も問題であるが、さらに注意せねばならぬことはその過少な林地が適正に配置されていないことで、たとえば鵜沢で侵蝕度の小さい緩斜 B に造林されている一方侵蝕度の大な

急斜Dに除虫菊がある等林地が急斜地・侵蝕地に配置されていない例、gully となる場処は地形的に大体予測出来るのに林地を開墾する時、そのような場処まで森林を伐採して開墾している例、gully 周辺・道路沿いが造林されていないのに他の緩斜地に造林されている例等がある。

gully head, gully の周辺は侵蝕防止上森林とすべきで、gully 周辺の斜面も全部林地と出来ぬ場合は gully に近い斜面下部を林地とした方が有効であると考えられる⁵⁷⁾。また道路が gully となる例も多いので道路沿いは侵蝕防止と雪の堆積防止のために造林すべきである。

畑地を林地に還元する場合治山用樹種としては広葉樹が望ましいが、経済面を考えるとカラマツが有利(松井氏等⁵¹⁾の調査ではカラマツ林の収入は自家労力による造林・管理の場合1町歩年8,164円となる)でカラマツを考えねばならぬが、カラマツは大面積に同時植栽すると同時伐採となつて危険であるので、小面積づつ順次植栽し小面積皆伐、等高線带状皆伐が出来れば択伐し、或いはカラマツと広葉樹を適宜混植する。また飼肥料木を植栽して飼肥料を自給させることも必要で、特に侵蝕はなほだしく地力を消耗したところは、イタチハギ・ニセアカシヤ等⁴⁴⁾の肥料木で地力を回復させ、また他面飼肥料源とする。

布礼別では布部川沿岸は水害防備林的な薪炭林(松井氏等⁵¹⁾の調査結果では1戸当りハンノキ林で2.16町、ミズナラ林で2.68町の薪炭林が自給上必要である)となつているが、これは望ましいことで沢沿いは広葉樹の薪炭林兼水害防備林とするのが良く、この場合も治山目的を考慮しながら合理的・多目的に経営しなければならぬ。

また森林の治山効果は立木のみでなく落葉・落枝等の地面被覆物による効果が大であるので⁵⁸⁾、飼肥料林とした場合も地面を露出させるほどの落葉・落枝の濫取は禁じなければならぬ。

3. 予防, 普及の必要性

V. 6. で述べたごとく本地帯の災害の原因としては、天然原因よりは人工誘因の影響が大であるので、この人工誘因を除去するため次のごとき予防措置が必要である。

(1)台地上の農地は粗放な掠奪農業を改め侵蝕防止的農法を行い、排水系統を確立固定させること。

(2)傾斜・侵蝕等を考慮して土地利用区分を適正化し、急斜地・侵蝕地の林地還元は勿論であるが、開墾時に gully となることを予想される地は林地として残存すること。また林地に還元せず牧草地とした場合も、現在の掠奪農業式の行き方では overgrazing になる危険性があるので、この点を厳に注意すること。

(3)林地配置の不適正も1戸当りの農地面積の unbalance による点が多いので、交換分合等を行い流域全体を合理的に経営する協同的精神が必要であること。

(4) gully head に丸太等をならべ head の進行を防ぐ、rill を被草水路とする等、大 gully になる前に農民自体で可能な簡単な侵蝕予防法を講ずること。

(5)作物の rotation のみでなく、大きく耕地と林地・草地との rotation を考えてみることに。

(6)飲料水等の関係で本流沢沿いに住家があるが、住家附近を畑にして本流沢の断面を狭小にしているのは、大雨時に災害を助長することになるので畑等で沢の断面を小さくしないこと。

また、土地の人々は、開墾を適正に行う、rill 時期に防止を行う等災害に対して予防的・自立的に対処するより、大 gully になつてはじめて復旧土木工事を願う事後的・依存的な行き方であるので、現在までの災害を生きた資料として災害の原因が大部分人工誘因であることを認識させ、今後の災害を予防する積極的な行き方をさせるように保全思想を普及させる必要がある。また鰍沢の西塚の沢に見られるごとく農民の自己流の工事は保全思想上望ましいことではあるが、反面 gully を埋めて道路とし流路断面を狭小にする等不備な工事は危険であるので、農民自体の防止工事に充分の指導が必要である。

Ⅶ．台地農業地帯の治山の特徴

1. 災害の特徴

台地農業地帯では林地が農地の下方にあつて、農地の災害で林地が被害を受け、災害の原因としては、天然素因の地質・地形・土質が耐侵蝕力弱く、天然誘因としての長期間または短時間の豪雨の影響も勿論あるが、他の地帯の災害と異なり次の人工誘因が大きく影響しているのが特徴である。

- (1)過度の開墾
- (2)土地保全を考慮しない農法
- (3)排水系統の不確立
- (4)農地保全施設の欠除
- (5)土地利用状況の不適正、すなわち、林地の過少および林地配置の不適正
- (6)侵蝕予防法の欠除および保全思想の不足

以上のことは他の四国・広島等の急傾斜畑のある地帯では、段々畑とする等保全的な農法がすでに行われており、gully 発生等の大災害を頻発しておらぬことでも明らかである。

2. 治山対策の特徴

台地農業地帯では災害の原因が大部分上方農地にあるので、この原因を除去せずに治山を行つても効果は少ない。農地の営農条件の改善特に農地の排水系統の確立を行わずに下方林地内で治山工を行つても全く無意義に近い場合も起り得るので、治山を実行するに当り農業部門との緊密な連絡が必要である。

治山工法としては、溪流工は材料・基礎の点と、また、gully が広域に頻発して経費の点より、植物性材料を活用した低階段堰堤 system が望ましく、山腹工は植生の生育は割に良い地帯なので生長の速い草木で斜面全体を速やかに被覆して侵蝕防止するのが良い。すなわち、ア

アメリカ式の侵蝕防止工法⁵⁹⁾⁶⁰⁾が非常に参考となる。

森林配置、造成には、侵蝕地の林地還元および林地の適正配置が必要であるが、経済面を考えると里山で農業との関連が深いので燃料源・飼料源・肥料源としての薪炭林や特用樹種の飼肥料木を活用しなければならぬ。また侵蝕された後に林地に還元するよりは開墾時に侵蝕防止上必要なところに森林を残存させる予防的な行き方の方が必要である。

台地農業地帯の災害防止には、gully の発達防止を行うこと、排水系統を乱さぬこと、過度の開墾を行わぬこと等の予防的措置や、森林の災害防止機能を認識させる、流域管理的な協同的経営を認識させる等の保全思想の普及もまた重要なことである。

Ⅷ. 要 約

1. シラス地帯の災害と治山

(1)侵蝕・崩壊に対する抵抗性が弱い地質・地形・土質の天然素因に、天然誘因として記録破りの長期間連続大雨があり、過度の開墾・農地の排水系統の不確立・非侵蝕防止的な農法・森林の不足および不適正配置・保全施設の不足・予防的措置および保全思想の欠除等の人工誘因に加速されて大災害を生じた。

(2) sheet erosion・rill erosion・gully erosion・崩壊・陥落・風蝕の各種の侵蝕型式が発生し、地質・土質等の差により異なつた様相を示している。

(3)台地上の農業的保全施設が重要であるが、治山としては次のことが必要である。

- (a) 台地周辺の林地還元および台地内部に防風林設置
- (b) 溪流(gullyを含む)には植物性材料を活用した低階段堰堤・護岸および遊水林設置
- (c) 台地下の斜面には新規火山灰層の法切施行、山腹水路・排水設備の設置、斜面被覆工と斜面混播などの併用
- (d) 溪床上から台地周辺まで連続した森林の配置
- (e) 薪炭用樹種・特用樹種の活用
- (f) 開墾時に台地周辺の森林の残置および gully 発達防止の予防的措置と保全思想の普及

2. 十勝岳山麓地帯の災害と治山

(1)耐侵蝕力のやや弱い地質・地形・土質の天然素因、短時間の豪雨の天然誘因の影響もあるが、過度の開墾・農地の排水系統の不確立・非侵蝕防止的な掠夺農法・土地利用の不適正・森林の不足および不適正配置・保全施設の不足・予防的措置および保全思想の欠除等の人工誘因が災害の原因の大部分である。

(2) sheet erosion・rill erosion・gully erosion が見られ、侵蝕には地被物の影響が最も大きく、傾斜がこれに次ぎ、土質・農法の相異の影響もみられる。

(3)台地上の営農条件の改善が重要であるが、治山としては次のことが必要である。

- (a) 台地上の侵蝕地・急斜地の林地還元
- (b) gully に植物性材料を活用した低階段堰堤の築設
- (c) gully 側壁の法切・勾配安定および草木による壁面の全面緑化
- (d) 流域の 25 %程度の林地化および林地配置の適正化
- (e) カラマツ・薪炭用樹種・飼肥料木の活用
- (f) 開墾時に gully 発生を予想されるところの森林残置および gully 発達防止の予防的措置と保全思想の普及

3. 台地農業地帯の治山の特徴

(1) 林地が上方農地の災害で被害を受け、災害の原因としては人工誘因の非保全的農業の影響が大である。

(2) 農地の営農条件の改善とともに治山を行わねばならぬ。

(3) 治山工法としては植物性材料を活用すべきである。

(4) 森林の適正配置と薪炭用樹種・飼肥料木の混用が必要である。

(5) 開墾時に侵蝕防止上必要なところに森林を残置させる、gully の発達防止を行う、流域管理的経営の予防措置と保全思想の普及が重要である。

参 考 文 献

- 1) 経済安定本部資源調査会：シラス災害の実態とその対策，資源調査会報告 8 号，1951.
- 2) 川口武雄：シラス地帯調査中間報告書（林業関係），資源調査会土地部会資料 87，1950.
- 3) 川口武雄：シラス地帯調査中間報告書（林業関係），鹿児島県企画室シラス地帯災害調査報告並びに関係資料第 1 集，1950.
- 4) 林耕平，宮本泉，丸山武：鹿児島県の開拓と災害について，1949.
- 5) 鹿児島県企画室：中部大隅地帯を中心としたる気象統計，1950.
- 6) 市川親文，佐々木充夫：宮崎県下のシラス及びボラス，（別刷）
- 7) 大谷勝正：熊本県藍田村の土地崩壊，森林治水気象彙報 3 号，1924.
- 8) 田町正誓：シラス地帯に於ける災害防止対策（中間報告），鹿児島県，1949.
- 9) 多田文男：火山灰台地の地学的観察，資源調査会土地部会資料 87，1950.
- 10) 松本栄：天然凝結材に関する調査並びに試験，土木試験所報告 65 号，1942.
- 11) 小出博：白砂層の災害，林野庁治山事業参考資料 6（災害の研究 II），1951.
- 12) 西力造，木村大造：シラスの特異性，鹿児島県企画室シラス地帯災害調査報告並びに関係資料第 1 集，1950.
- 13) 泉清：宮崎県下のシラスに就て，日本土壤肥科学雑誌 14 巻 5 号，1940.
- 14) 菅野一郎：黒色森林土（音地型）及びシラスの機械的組成，資源調査会土壤侵蝕委員会資料 1950.
- 15) 西力造，木村大造：シラス地帯研究（第 1 報）シラス層の崩壊，鹿児島大学農学部学術報告 1 号，1952.
- 16) 菅野一郎：14) および 1) の 20 頁
- 17) 釘宮磐，岡林幸明：国都線に於ける白砂築堤の破壊試験，土質調査委員会報告第 2 輯，1932.

- 18) 三木五三郎：資源調査会土壌侵蝕委員会に於て発表
- 19) 宇田川畏三：白砂に就いて，鹿児島農専資料 3（鹿児島県企画室シラス地帯災害調査報告並びに関係資料第 1 集，1950.）
- 20) 望月六郎：砂防学的見地より見たるシラス土の特殊性に就いて，東大農学部林学科卒業論文，1951.
- 21) 西力造，木村大造：シラス地帯研究（第 2 報）シラス層における含水量及びその力学的性質に及ぼす影響，鹿児島大学農学部学術報告第 1 号，1952.
- 22) 三木五三郎：1) 第 19 表
- 23) 杉二郎：資源調査会土壌侵蝕委員会に於て発表
- 24) H. E. Middleton, C. S. Slater & H. G. Byers: The physical and chemical characteristics of the soils from the Erosion Experiment Station, U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 316, 1932 and 430, 1934.
- 25) 三木五三郎：1) 第 11 図
- 26) 川口武雄：山崩の力学的要素及び数式解法について，新砂防 9，1952.
- 27) 山口謙次：19) 第 3 表
- 28) H. H. Bennett: Some comparisons of the properties of humid tropical and temperate American soils, Soil Science v. 21 p. 349, 1926.
- 29) 川村一水，船引真吾：1) 第 11 表
- 30) 福永良一：火山灰土壌と地力，1949.
- 31) 細田克己，菅野一郎，三好政章：1) 第 10 表，第 12 表
- 32) 鹿児島県立農事試験場調査部：笠之原畑土壌について
- 33) 熊本営林局：昭和 13 年 10 月大隅半島台風被害林地崩壊調査報告，1940.
- 34) 玉木廉士：大隅半島水害中始良川高山川流域に於ける崩壊地調査報告書，農林省山林局，1941.
- 35) 西力造：侵蝕進度測定の一例，鹿児島農専学術報告 14，1942.
- 36) 伏谷伊一：シラス砂防について，林業技術 123，1952.
- 37) 熊本営林局：昭和 26 年度治山調査報告書，1952.
- 38) 鹿児島県林務部：昭和 26 年度治山調査報告書，1952.
- 39) 建設省河川局利水課：河川堰堤の堆砂量に就て，資源調査会土地部会資料 114，1950.
- 40) 西力造，木村大造：シラス地帯災害地調査所見，鹿児島県企画室，1949.
- 41) 平島直材：白洲地帯に於ける治山事業，治山研究 3，1951.
- 42) 安蔵善之輔：地氈の力学的研究，九大工学彙報 15 巻 5 号，1940.
- 43) 西力造，初島往彦，木村大造：中部大隅地方の防風林造成に就ての予察調査，鹿児島県企画室，1950.
- 44) 倉田益二郎：飼肥料木草と植栽法，博友社，1950.
- 45) 経済安定本部資源調査会：北海道に於ける土壌侵蝕の実態とその対策，資源調査会報告 15 号，1952.
- 46) 川口武雄：北海道土地保全調査林業（治山関係）中間報告，資源調査会土地部会資料 174，1951.
- 47) 北海道治山治水協会：十勝岳山麓の斜面耕作地と地隙の復旧，北海道治山治水協会，1951.
- 48) 林耕平：北海道土地保全調査気象状況調査報告，資源調査会土地部会資料 176，1951.
- 49) 宮坂増穂：土壌侵蝕の実験的研究，資源調査会土地部会資料 175，1951.
- 50) 北海道農業試験場農芸化学部土壌第 2 研究室：北海道土地保全調査土壌分析成績，資源調査会土地部会資料 169，1951.
- 51) 松井善喜，馬場強逸：十勝岳山麓地帯の林業経営について，資源調査会土地部会資料 172，1951.

- 52) 今田敬一：森林と土壤侵蝕，林業解説シリーズ 40，1951.
- 53) 岩佐亮二：農事試験の設計と括め方，45 頁，1949.
- 54) 同：同 99 頁，1949 及近藤忠雄：計数の統計学，131頁，1949.
- 55) 宮坂増穂：北海道に於ける土壤侵蝕の調査研究，農業土木研究 20 巻 3 号，1952.
- 56) 倉田昌造，宮本泉：北海道土地保全調査土壤班報告，資源調査会土地部会資料 178，1951.
- 57) 川口武雄，片岡順：斜面上の抵抗物が地表流速に及ぼす影響についての実験（第 1 報），日本林学会誌 34 巻 9 号，1952.
- 58) 川口武雄，滝口喜代志：地被物の侵蝕防止機能に関する実験（予報），日本林学会誌 35 巻 3 号，1953.
- 59) C. E. Ramser: Gullies; how to control and reclaim them, U. S. Dept Agr. Farmers' Bull. 1234, 1932.
- 60) G. K. Rule & R. W. Netterstrom: Soil defence in the Pacific Southwest, U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1848, 1940.

Résumé

1. Erosion control in the "Shirasu" district, Kyushu.

(1) Since this area is irresistible against soil erosion and landslide from the standpoint of natural factors of geology, topography and soil properties, enormous damages were brought by the record-breaking heavy continuous rainfall of long duration. The degree of the damages was heightened by the artificial proximate causes of over-reclamation, non-establishment of drainage system in cultivated land, non-conservative agricultural operations, deficiency and improper arrangement of forests, lack of erosion control works, and want of preventive measures and knowledge of soil conservation.

(2) There occurred several erosion-types such as sheet erosion, rill erosion, gully erosion, landslide, sinkhole erosion and wind erosion.

(3) Agricultural erosion control works on the upland are most important, and the proper management of forest should be considered next.

(a) Establishment of forests along the edge of the upland and installation of windbreaks in the interior of the upland.

(b) Construction of stepped low dams and revetments with vegetable materials and installation of flood-retarding forests.

(c) Grading of new volcanic ash, construction of hillside outlet channels and drainage works, and seeding of grasses with hillside covering works.

(d) Installation of unbroken networks of forest from the edge of the upland to the river-bed.

(e) Application of forests for fuelwood and special products to erosion prevention.

(f) Reservation of the forest on the edge of the upland in case of reclamation, prevention of gully development, and extension of soil conservation thought.

2. Erosion control in the district at the foot of Mt. Tokachi, Hokkaido.

(1) The natural factors of geology, topography and soil properties are somewhat irresistible against soil erosion. Here, the heavy rainfall of short duration was a proximate cause of erosion. However, the artificial causes such as over-reclamation, non-establishment of drainage system in cultivated land, non-conservative plunder-agriculture, improper land-use, insufficiency and improper

arrangement of forests, lack of erosion control works, and want of preventive measures and knowledge of soil conservation were main causes of the disaster.

(2) Sheet erosion, rill erosion and gully erosion were seen. As regards the degree of influence on erosion the ground cover comes first, and then the gradient of slope and the differences of soil properties and farming operations follow in order.

(3) Improvement of the conditions of agricultural management on the upland is most important, and then proper forest management is required.

(a) Conversion of eroded areas and steep slopes to forest land.

(b) Construction of stepped low dams with vegetable materials.

(c) Grading or stabilization of the side-walls of gullies and establishment of tree or grass cover on gully-banks.

(d) Reservation of forest area corresponding to 25% of the catchment area and proper arrangement of forest land.

(e) Use of karamatsu (Japanese larch), trees for fuelwood and trees for forage and manure.

(f) Reservation of the forest at sites susceptible to gullying in case of reclamation, prevention of gully development and extension of soil conservation thought.

3. Characteristics of erosion control in upland-agricultural districts.

(1) Forest lands are damaged when upland cultivated lands suffer erosion attributed to the artificial proximate causes of non-conservative farming.

(2) Forestry erosion control must be carried out with the development of the conditions of upland agricultural managements.

(3) The use of vegetative materials in erosion control must be far more developed.

(4) Proper arrangement of forest and mixing of trees for fuelwood, forage and manure are necessary.

(5) Reservation of necessary forests for erosion control, prevention of gully development, watershed management and extension of soil conservation thought are necessary.