

昭和47年7月集中豪雨による 天草地区の山地荒廃に関する研究

志水俊夫⁽¹⁾・河野良治⁽²⁾

Toshio SHIMIZU and Yoshiharu Kôno : Studies on Mountain Devastation
by Heavy Rain in July 1972 on Amakusa District

要 旨：山地荒廃による被害を軽減するためには、局所防災的な予防治山対策を行なう必要があるが、それには荒廃危険地の判定が重要であると考えられる。筆者等は危険地判定の基礎資料を得る目的で、昭和47年7月の梅雨末期の集中豪雨により、多数の山崩れ・土石流が発生し、甚大な被害を受けた天草災害地を対象として、山地荒廃状況とその影響因子などについて検討を行なった。その結果、災害の直接の原因は超過確率が80年という異常な豪雨であった。また、山地崩壊面積には林齢別面積率と谷密度が、溪流荒廃面積には起伏量・谷密度・流域集中度および崩壊面積率が、土石流による堆積土砂量には谷密度・単位面積当たりの崩壊数・崩壊面積率および溪流荒廃面積率がそれぞれ影響することが認められた。さらに、災害防止および復旧方法についても、その一部を考察した。

この報告は1事例分析であるため、普遍的な荒廃危険地判定技術の開発には、これらの資料をもとにして、さらに研究を進める必要がある。

I は し か き

昭和47年7月の梅雨末期の豪雨は全国各地に大きな被害を与えたが、熊本県においても県下各地に大災害をもたらした。とくに6日には天草上島の松島、姫戸、竜ヶ岳、倉岳、栖本の各町に多数の山崩れが発生し、崩壊および堆積土砂が大量に流出し、死者・行方不明者115名、家屋の全壊464戸、半壊269戸、田畑の流出582haという未曾有の惨状を呈した。

近年、全国各地に毎年のように豪雨による災害が発生しているが、災害の特徴としては、里山地域と称される地域における災害が目立っており、とくに人命・家屋・農地など生活に直結する被害が目立っている。今回の天草災害地は、このような意味では特徴的な1事例と思われる。

一般に山地災害は局所的であるが、荒廃は種々の要因が影響して発生するため、危険な個所を具体的に指摘しうるだけの予知技術は完成されていない。このため、山地とその周辺に対してばくぜんとした危険感を持たれながら、切実なものとして受けとめられていないのが現状である。したがって、土地利用の規制はもとより、公共的な治山防災対策についても、はなはだ迫力を欠いた状況下にあるといえよう。そのため荒廃危険地の判定は予防治山にとってきわめて重要なことと思われる。

このような観点から、筆者等は今後の予防治山の1基礎資料を得る目的で、この大災害をもたらした山地荒廃の実態と、その発生に影響したと考えられる雨量・地形・地質・森林などの因子との関連について調査・研究を行ない、さらに、災害防止および復旧方法についての考察を行なうことにした。

ここに現地調査にあたってご協力を得た九州支場防災研究室竹下 幸氏、取りまとめにあたり種々ご教示を得た九州支場育林部長吉本 衛氏に深く感謝の意を表する。

II 災害地の概況

災害を受けた地域は熊本県天草郡上島の不知火海に面した松島、姫戸、竜ヶ岳、倉岳、栖本の各町にわたる地域で、その位置は Fig. 1 に示した。

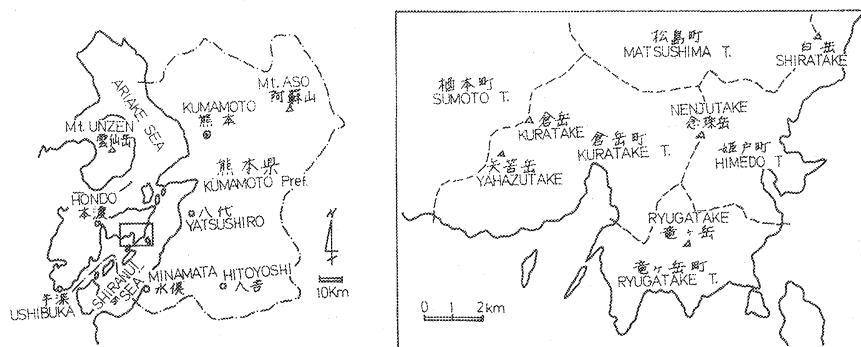


Fig. 1 対象地位置図

Location of the investigated area.

1. 雨量

天草地方は九州においては比較的雨量の少ない地方で、とくに夏季における降水量の少ない地域である。しかし、今回の災害時には Fig. 2, 3 の災害当日の雨量分布図・総雨量分布図⁹⁾に示されるように、天草上島地域でとくに雨量が多かったことがうかがえる。竜ヶ岳町における最大日雨量 284 mm を、熊本市と災害地隣接の本渡市とにおける超過確率雨量として計算すると、熊本市では約 5 年であるのに対して、本渡市では約 80 年となり、今回の豪雨は、天草地方としては異常な豪雨であったといえる。また、災

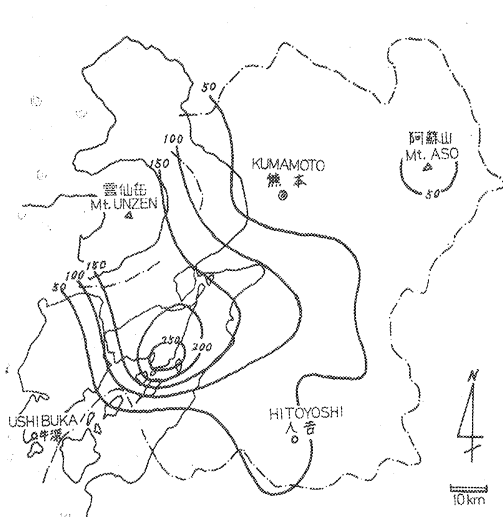


Fig. 2 災害当日の雨量分布図

Isohyetal map on that day of disaster.
July 6. AM 9 ~ July 7. AM 9 (mm)

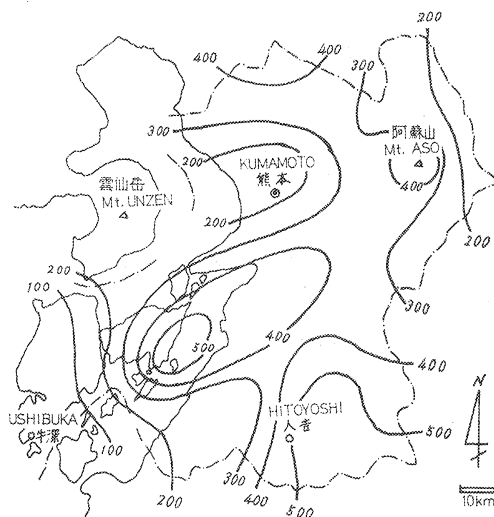


Fig. 3 総雨量分布図

Total isohyetal map.
July 3. AM 9 ~ July 7. AM 9 (mm)

害日前日までの1~5日の間に上島各地で120mm以上の降雨があり、災害の発生した6日0時からの降雨状況は Fig. 4 に示したように、15時までに竜ヶ岳で432mm、栖本で338mm、松島で283mmが観測され、この間の最大時雨量は竜ヶ岳で130mm、栖本で78mm、松島で110mmを記録する豪雨となっている。一方、Fig. 4 にみられる豪雨の時間的ずれからみて、雨団は南西から北東に移動したものと推定される。

2. 地形

上島の東および南岸から1~2 km の距離に白岳397m、鹿兒岳286m、念珠岳503m、竜ヶ岳470m、倉岳682m、矢筈岳626mの山々がそびえ、各集落はこれら山地からの溪川の扇状地上にあって、平たん地は海岸付近のごく狭い範囲に限られている。また、地層が一般に北東北—西南西の走向をもって北西側に傾き、東南に近い方位の傾斜面、不知火海側の斜面は山腹傾斜が急で短い受盤になっており、反対側は傾斜がゆるく山脚が長い流盤になっており、いわゆるケスタ地形¹⁶⁾を示している。受盤の山麓には崖錐、あるいは崖錐状扇状地¹⁷⁾がよく発達しているが、流盤の山麓には崖錐、あるいは崖錐状扇状地の発達が貧弱である。今回の被害はこの崖錐および崖錐状扇状地のところに集中している。

3. 地質

当地域は地質的には西南日本の内帯に属し、中生代の白亜紀層と古第三紀層でできている。地質図を

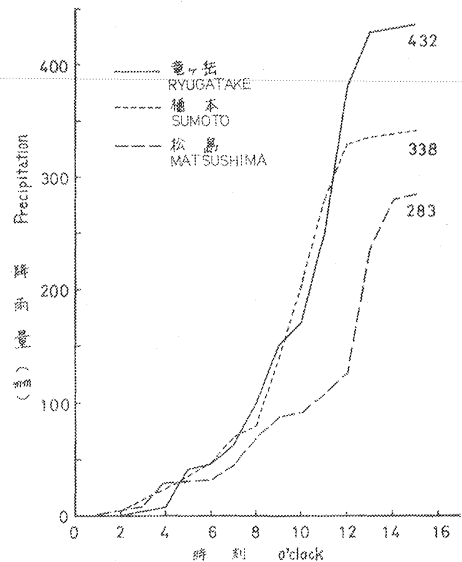


Fig. 4 7月6日の雨量累加図
Accumulative rainfall on 6 July.

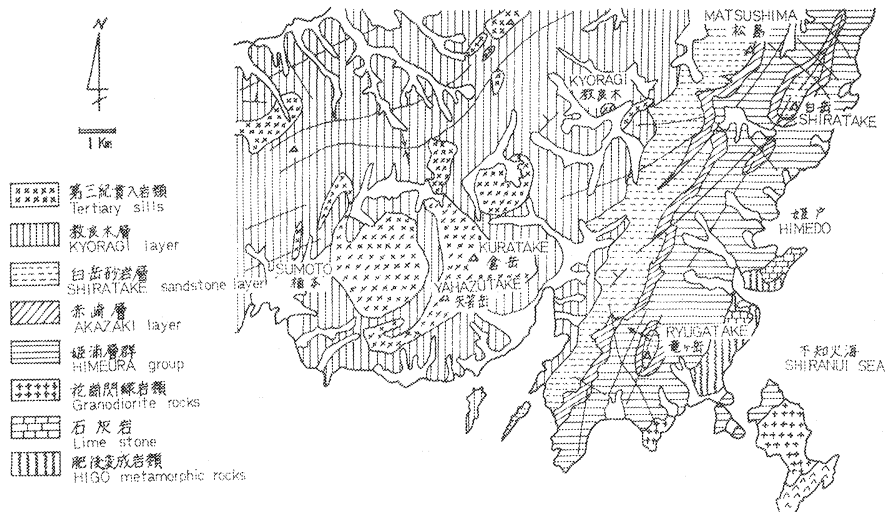


Fig. 5 地質図
Geological map.

Fig. 5 に示したが、上島の東南部は姫浦層群といわれる砂岩・頁岩・泥岩を主とし、その上位に赤崎層と呼ばれる暗紫色頁岩、さらに、その上に白岳砂岩層がのっている。白岳砂岩層は、水の浸食に強く上述の地形を形成しているが、この砂岩の岩塊が崩落したことが今回の災害を大きくした原因の1つとなっている。中部、南部は教良木層の砂岩・頁岩・泥岩の厚層から成る。その中の頁岩は細片化、粘土化しやすい特徴を持っており、層すべりを起こす要因を備えていた。また、南部では山頂付近に石英粗面岩などの第三紀貫入岩類が露出しているのがみられる。

4. 林 相

当地域の森地の所有形態⁸⁾は Table 1 に示したように、民有林が大部分を占め国有林はわずかである。また、森林比率は平均64.5%でそれほど高いとはいえない。民有地林況⁹⁾を Table 2 に示したが、全体

Table 1. 地区面積および森林面積
Area of district and forest area

地 区 District	地区面積 Area of district (ha)	森 林 面 積 Forest area (ha)			森林比率 Percentage of forest (%)
		民有林 Private forest	国有林 National forest	計 Total	
松 島 MATSUSHIMA	5,169	3,326	150	3,476	67.2
姫 戸 HIMEDO	1,895	1,121	185	1,306	68.9
竜ヶ岳 RYUGATAKE	1,763	1,128	0	1,128	64.0
倉ヶ岳 KURATAKE	2,540	1,508	0	1,508	59.4
栖本 SUMOTO	3,229	1,850	151	2,001	62.0
合 計 Total	14,596	8,933	486	9,419	64.5

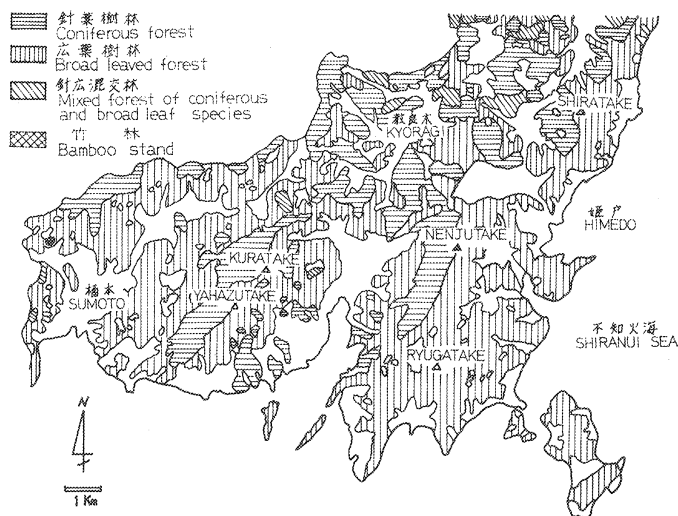


Fig. 6 林 相 図
Forest cover map.

Table 2. 民 有 地 林 況
Stand condition of the private forest

地 区 District	立 木 地 面 積 Productive timber area (ha)									竹林面積 Bamboo stand area (ha)	無立木地面積 Unstocked land area (ha)			更新困 難地 Hard regen- eration area (ha)	合 計 Total (ha)
	人 工 林 Planted forest			天 然 林 Natural forest			總 数 Aggregate				伐採跡地 Cut- over area	未立木地 Tree- less land	計 Total		
	針葉樹 Conif- erous tree	広葉樹 Broad leaved tree	計 Total	針葉樹 Conif- erous tree	広葉樹 Broad leaved tree	計 Total	針葉樹 Conif- erous tree	広葉樹 Broad leaved tree	計 Total						
松 島 MATSUSHIMA	380.66	168.33	548.99	436.22	1,842.42	2,278.64	816.88	2,010.75	2,827.63	28.82	3.11	254.08	257.19	212.48	3,326.12
姫 戸 HIMEDO	240.50	10.63	251.13	47.96	794.43	842.39	288.46	805.06	1,093.52	4.54	0.50	4.31	4.81	17.83	1,120.70
竜ヶ岳 RYUGATAKE	201.99	22.39	224.38	168.51	694.35	862.86	370.50	716.74	1,087.24	2.83	7.59	7.17	14.76	22.89	1,127.72
倉 岳 KURATAKE	484.35	17.62	501.97	148.80	837.70	986.50	633.15	855.32	1,488.47	9.23	2.85	0.85	3.70	6.13	1,507.53
栖 本 SUMOTO	850.21	0.14	850.35	68.32	917.68	986.00	918.53	917.82	1,836.35	9.00	3.21	1.04	4.25	0.43	1,850.03
合 計 Total (%)	2,157.71	219.11	2,376.82 (26.6)	869.81	5,086.58	5,956.39 (66.7)	3,027.52	5,305.69	8,333.21	54.42 (0.6)	17.26	267.45	284.71 (3.2)	259.76 (2.9)	8,932.10 (100)

としてみれば、当地域は以前薪炭林として利用された低質の常緑広葉樹林が大半を占め、現在では樹高10 m未満のタブ・シイ・カシ類の雑木林が多く、ほかにアカマツを主として、スギ・ヒノキの針葉樹林が比較的土壌の良好な部分にみられるが、その分布は少なく幼齢なものが多い。また、人工林面積率も約27%と低いのが目立っている。林相図は Fig. 6 に示した。また、天草地域は耕地が少ないので、一般に土地条件の良好なところは、山頂付近まで開墾されており、とくに果樹園の造成が目立っている。

III 被害状況

昭和47年7月の集中豪雨は熊本県下各地に大きな被害をもたらした。熊本全県の被害状況は Table 3 に示したように、死者・行方不明者123名、家屋の全壊580戸、半壊394戸、床上浸水7,432戸、田畑の流出埋没1,554 ha、冠水23,111 ha、被害総額338億円というじんだいな被害であった。とくに対象地である天草上島一帯の被害は Table 4 に示したように、死者・行方不明者115名、家屋の全壊464戸、半壊269戸、床上浸水1,101戸、田畑の流出埋没582 ha であり、熊本県下における人的被害の大部分、家屋被害の7～8割を占めるという惨状を呈した。このことは、当地域における山地荒廃、とりわけ谷の出口にある部落を襲った土石流の激しさを物語っていると思われる。

Table 3. 熊本全県の被害状況
Damaged condition of KUMAMOTO prefecture

被害種別 Damage classification		熊本県 KUMAMOTO pref.	被害種別 Damage classification		熊本県 KUMAMOTO pref.
人的被害 (人) The loss of man power	死者 Dead person	119	道路損壊 Broken road		3,350
	行方不明 Missing person	4	橋梁流出 Washed away bridge		231
	負傷者 Wounded person	313	堤防決壊 Broken bank		2,087
建物被害 (戸) Structure damage	全壊 Razed house	580	山・がけくずれ Landslide		7,026
	半壊 Half razed house	394	鉄軌道被害 Broken railway		6
	流出 Washed away house	92	通信施設被害 Broken communication system		2,689
	床上浸水 House flooded above the floor	7,432	罹災世帯数 Suffered household		8,288
	床下浸水 House flooded below the floor	30,719	罹災者概数 Round number of sufferer		30,960
耕地被害 (ha) Cultivated area damage	水田 Rice field		被害総額(百万円) Total amount of damage (million yen)		33,824
	流出埋没 Washed away. Buried	1,159			
	冠水 Submerged	21,553			
	畑 Farm				
	流出埋没 Washed away. Buried	395			
	冠水 Submerged	1,558			

(注) 昭和47年9月熊本県集計

(Note) Summed up by KUMAMOTO pref. in September 1972.

Table 4. 対象地の被害状況

Damage of the investigated area

被害種別 Damage classification	松島 MATSU- SHIMA	姫戸 HIMEDO	竜ヶ岳 RYUGA- TAKE	倉岳 KURA- TAKE	栖本 SUMOTO	合計 Total
死者 Dead person	4	46	33	28	2	113
行方不明 Missing person	0	0	2	0	0	2
負傷者 Wounded person	7	74	80	108	0	269
全壊家屋 Razed house	45	124	202	74	19	464
半壊家屋 Half razed house	73	39	81	60	16	269
床上浸水家屋 House flooded above the floor	255	309	205	129	203	1,101
床下浸水家屋 House flooded below the floor	334	455	不明 unknown	963	379	(2,131)
田の流出 (ha) Washed away rice field	72	41	28	250	50	441
畑の流出 (ha) Washed away farm	10	42	42	42	5	141

IV 山地荒廃の概況

1. 山地荒廃状況

天草上島地域は、近年、災害らしい災害に見舞われていない平穏な島であり、災害前の荒廃地等の面積⁸⁾も Table 5 に示したようになりに少なかった。記録としては、昭和11年に倉岳町砥石川に水害があり、その後、同町棚底川にも発生したといわれているが、局地的なものであったようである。しかし、各中小河川の扇状地には、過去における土石流の痕跡がみられ、近年災害がなかったとはいえ、かなり規模の大きい土石流が生じたことを示している。

今回の山地荒廃の発生した地域は前記5町のうち、松島町の北部を除く地域で、その面積は約129.68

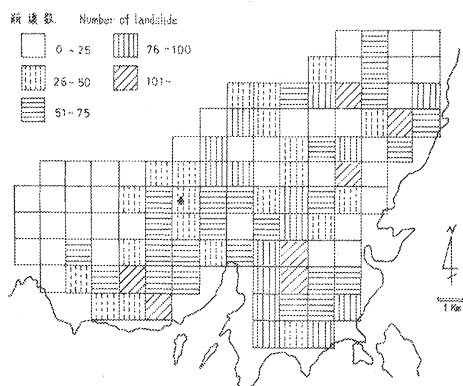


Fig. 7 崩壊分布図
Distribution map of landslides.

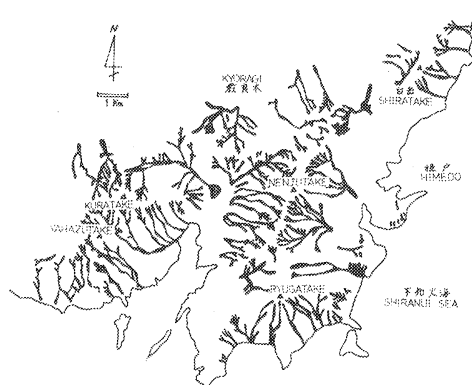


Fig. 8 対象地の荒廃状況
Devastation of the investigated area.

Table 5. 災害前の荒廃地等面積

Devastated land area before this disaster

地区 District	地区面積 District area (ha)	荒廃林地 Denuded forest land (ha)			はげ山移行地 Becoming bare land (ha)	崩壊危険地 Danger zone of landslide (ha)	せき悪林地 Infertile forest land (ha)	合計 Total (ha)	荒廃率 Devastation percentage (%)
		崩壊地 Slided land	はげ山 Bald land	地すべり地 Creeping land					
松島 MATSUSHIMA	5,169	0.66	7.29	0	0	0	864.00	871.95	16.9
姫戸 HIMEDO	1,895	0.46	0	0	0	0.50	215.00	215.96	11.4
竜ヶ岳 RYUGATAKE	1,763	1.87	6.07	0	6.00	0.50	210.00	224.44	12.7
倉岳 KURATAKE	2,540	0.93	1.91	0	0	0	233.00	235.84	9.3
栖本 SUMOTO	3,229	0	0	0	0	0	69.00	69.00	2.1
合計 Total	14,596	3.92	15.27	0	6.00	1.00	1,591.00	1,617.19	11.1

Table 6. 対象地の荒廃状況

Devastation of the investigated area

地区 District	流域 Watershed		山地崩壊 Landslide				溪流荒廃 Devastated stream		計 Total		土石流体積 Volume of mud and stone flow	
	個数 Number	面積 (ha)	個数 Number	(N/100 ha)	面積 (ha)	(ha/km ²)	面積 (ha)	(ha/km ²)	面積 (ha)	(ha/km ²)	×10 ³ (m ³)	×10 ³ (m ³ /km ²)
松島 MATSUSHIMA	19	1,128.89	725	64	12.53	1.11	65.40	5.81	77.93	6.90	2,135	189
姫戸 HIMEDO	14	814.99	450	55	9.52	1.17	65.08	7.99	74.60	9.15	5,577	684
竜ヶ岳 RYUGATAKE	13	759.46	634	83	14.54	1.91	82.29	10.84	96.83	12.74	2,917	384
倉岳 KURATAKE	28	1,750.34	1,246	71	21.12	1.21	175.19	10.01	196.31	11.21	4,944	282
栖本 SUMOTO	6	667.07	284	42	6.83	1.02	44.53	6.68	51.36	7.69	1,446	217
合計 Total	80	5,120.75	3,389	65	64.54	1.26	432.49	8.45	497.03	9.70	17,019	332

km² におよぶ。熊本県が災害直後に作製した航空写真(縮尺約2万分の1)の倍伸ばしのものを参考にし、これを図化した地形図(縮尺2千分の1)によって、山地崩壊数を計測すると総数6,456個にのぼり、1 km² あたりの平均崩壊数は約50個になる。その分布を示したのが Fig. 7 である。また、対象地の荒廃状況を図示すれば、Fig. 8 のようになる。これらの図によれば、前記地質図における東南部の赤崎層と白岳砂岩層の境界付近と、南部の第三紀貫入岩類とその周辺の教良木層に土石流の起因となった崩壊が多いことがうかがえる。荒廃型は赤崎層側と白岳砂岩層側とで異なっている。すなわち、ケスタ地形を示す急傾斜の東南側はいわゆる受盤であって、頁岩・泥岩層が浸透水によって崩落し、この時その上部にある節理に富む砂岩層も、ともに崩落している。これが初動となって、過去に崩落堆積していた溪床およびその両側の砂岩・頁岩などの岩屑が洗掘流送され(Photo. 2)、土石流となって下流扇状地に流下、堆積したものである(Photo. 3, 6)。また、西北側の比較的緩斜面はいわゆる流盤であって、砂岩層が地表と平行しており、その上層の表土層が浸透中間水によって剥落崩壊し(Photo. 1)、流送されて下流扇状地に堆積したものである。第三紀貫入岩類とその周辺地域においては、上部の風化した火成岩が崩壊し、土石流となって流下し、途中の溪流両側の過去の土石流堆積物をも流下させ、下流に堆積している。また、これら山地の上中部において、緩傾斜の台地または凹地があり、これらの緩勾配地に上部からの崩壊土砂が一時堆積し、その後のダムアップによって、土砂が一挙に土石流となって流下しているところもみられる。

一方、山地崩壊の方位は南西面19.3%、南面18.0%、南東面15.2%、東面13.5%となり、Fig. 4 にみられる豪雨の降りかたと関連しているようである。また、崩壊の規模は約80%近くが0.01~0.05 ha の範囲にあり、山地崩壊の規模は比較的小さかったといえよう。しかし、大規模な崩壊がなかったわけではなく、きわだって大規模な崩壊もあり、その例として、松島町教良木の黒仁田の崩壊は面積約3 ha、姫戸町の念珠岳東南面の崩壊は面積約1 ha、また、倉岳町荒平の崩壊は面積約2.5 ha 等があげられる。

また、前記の概括的な災害地域の中で大小の土石流を発生したとみられる80流域について、その山地荒廃状況を前記航空写真と、縮尺2千分の1の地形図および現地調査によって計測すると、Table 6 のようにまとめられる。この表中崩壊面積は崩壊の初動的面積を測定し、崩落土砂の流送部あるいはその覆土部は除外したので、一般的には少な目になっている。また、崩壊発生数は1崩壊初動単位にとってあるので、やや多めになっているかと考えられる。山地崩壊面積率は雨量の多かった竜ヶ岳町を中心として、姫戸、倉岳町で高く、溪流荒廃面積率および単位面積当たりの土石流体積も同様の傾向を示している。

2. 崩壊の特徴

当地域はさきに述べたように東南側斜面は急傾斜の受盤となり、北西側斜面は緩傾斜の流盤となり、いわゆるケスタ地形を示している。前記の災害地のうちケスタ地形を示す代表的な地域(受盤1,051.63ha・流盤709.70 ha)を対象として、地盤別の崩壊の特徴について定性的ではあるが検討を行なうことにした。

崩壊地規模分布および山地斜面の傾斜分布と崩壊地傾斜分布を調べることは、荒廃危険地判定の基礎資料として重要であると考えられるが、今回、それらが地盤により異なるかどうか検討を加えてみた。崩壊地面積および傾斜はさきに述べた災害後作製された縮尺2千分の1の地形図により求め、山地斜面の傾斜は縮尺1万分の1の地形図に1 cm 四方のます目をかけて、その中に含まれる等高線本数をもって傾斜とした。その結果、崩壊地の大きさと個数との関係は Fig. 9 に示したように、全体としてみれば、従来の研究¹²⁾と同様にポアソン分布に従うことがうかがえるが、地盤の違いによる分布の差は、それほど明確

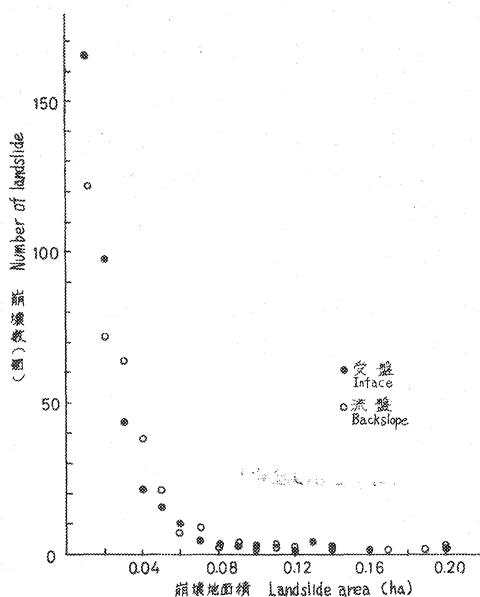


Fig. 9 崩壊地の大きさと個数との関係
Relation between area and number of landslides.

くらべ大となることが認められる。

一方、標高階別に崩壊発生状況を示した Fig. 12 によれば、各標高階の崩壊面積率、および単位面積当たりの崩壊発生数は、流盤では標高400mのあたりで、受盤では標高350~400mにかけてそれらの値が大

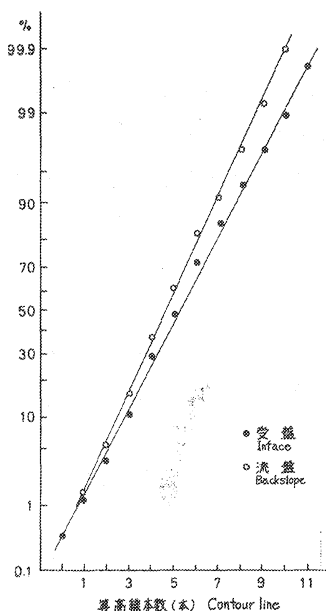


Fig. 10 山地斜面の傾斜分布
Distribution of inclination angle on mountain slope.

にあらわれなかった。

山地斜面の傾斜分布は正規分布をするという報告¹⁷⁾がある。そこで今回の対象地について山地斜面の傾斜分布を、正規確率紙にプロットしてみると Fig. 10 のようになり、受盤、流盤いずれも直線であらわれ、正規分布をすることがわかる。また、流盤の直線が受盤の直線よりも急勾配であるが、これは流盤斜面が受盤斜面にくらべ、そろった(分散の小さい)傾斜分布をするというケスタ地形の特徴を示していると思われる。Fig. 11 は崩壊地の傾斜頻度分布を正規確率紙にプロットしたもので、受盤、流盤いずれもさきの山地斜面の傾斜分布と同じ様な傾向にあり、また正規分布をすることがうかがえる。山地斜面の傾斜分布と崩壊地の傾斜分布は測定方法が異なり問題もあるが、それらを比較してみると受盤、流盤いずれの場合も、崩壊地傾斜の平均は山地斜面の平均に

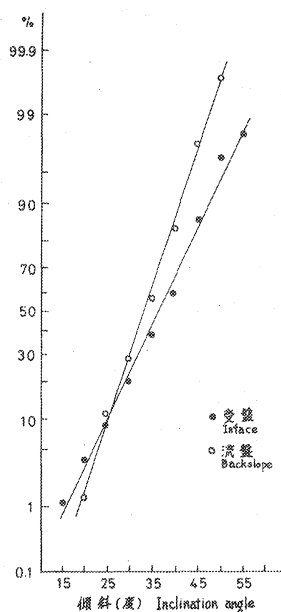


Fig. 11 崩壊地の傾斜頻度分布
Frequency distribution of landslide's inclination angle.

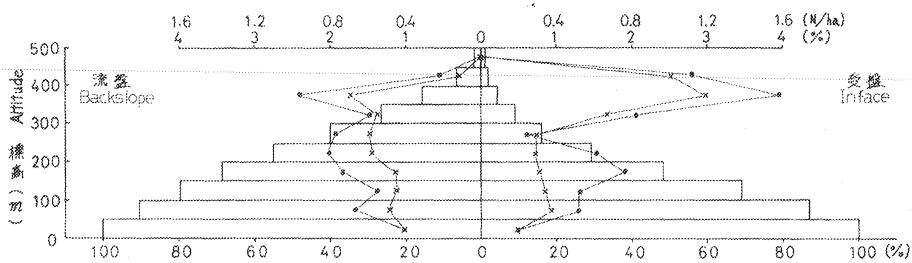


Fig. 12 標高階別荒廃状況
Devastated condition on each altitude grade.

- 累積標高階面積率
Per cent of cumulative area on altitude grade.
- 各標高階の崩壊面積率
Per cent of landslide area on each altitude grade.
- ×---× 各標高階 ha 当たりの崩壊発生数
Number of landslide per hectare on each altitude grade.

きくなっているが、とくに受盤でその傾向が強いことがうかがえる。これはその標高区間のあたりに、地形地質的な弱線が存在する可能性を示していると思われるが、この場合は赤崎層と白岳砂岩層の境界付近と考えられる。また累積標高階面積率はケスタ地形の特徴を示していることがうかがえる。

V 森林の崩壊防止機能の調査

1. 調査地域の選定

広大な面積を有する山地において、山地荒廃を防止するためには、積極的な治山・砂防工事も必要なことであるが、山地荒廃の素因としての地形・地質・地質等の因子の中で面的かつ人為的に変化できるのは地被因子だけである。したがって、この地被条件としての森林条件を検討して、少しでも山地荒廃の軽減に資することは、その森林の山地災害防止機能が多少であっても、意義のないことではない。

そこで山地荒廃の激甚地区であった竜ヶ岳町を中心として、そのまわりの姫戸町および倉岳町の一部を含む約 2,570 ha の地域について、前記航空写真によって判読し、縮尺 5 千分の 1 の地形図に図化した結果を用い、崩壊と林相との関係を検討した。また、森林の崩壊防止効果はその根系にあるといわれる³⁾⁴⁾が、調査地域内で行なった根系量の現地調査の結果を用いて、根系の抵抗力の影響を考察することにした。

2. 林相と崩壊

地被状況と崩壊との関係を示したのが Table 7 である。この表によれば、各地被の占有面積に大小の差があり精確を期し難いが、単位面積当たりの崩壊数は果樹園を除くと伐採跡地、針葉樹林、広葉樹林の順で大きくなっているが差があるという程度ではない。また、崩壊面積率は果樹園を除くと針葉樹林、広葉樹林、伐採跡地の順で大きくなっており、伐採跡地で値が大きいことが目立つが、針葉樹林、広葉樹林ではそれほど差異は認められない。このように今回の調査では、地被状況別には森林の崩壊防止効果は認められなかった。これは占有面積の差あるいはその分布が地形により異なることなどが影響したのであろう。また、伐採跡地では崩壊が発生した場合には、その面積は他の地被状況におけるよりも、大きいことがうかがえる。なお、果樹園等の単位面積当たりの崩壊数、崩壊面積率が小さいのは全く地形の緩な部

Table 7. 地被状況と崩壊
Surface cover condition and landslide

地 被 Surface cover	占有面積 Occupied area (ha)	山 地 崩 壊 Landslide				
		個 数 Number	(N/100ha)	面 積 Area (ha)	(%)	(ha/N)
広葉樹林 Broad leaved forest	1,739.08	813	47	27.50	1.6	0.03
針葉樹林 Coniferous forest	323.25	148	46	4.87	1.5	0.03
伐採跡地 Cut-over area	14.66	6	41	0.74	5.1	0.12
果樹園等 Fruit trees and others	490.39	28	6	0.56	0.1	0.02
合 計 Total	2,567.38	995	39	33.67	1.3	0.03

Table 8. 林 齢 と 崩 壊 状 況
Forest age and landslide

林 齢 Forest age	占有面積 Occupied area (ha)	山 地 崩 壊 Landslide				
		個 数 Number	(N/100ha)	面 積 Area (ha)	(%)	(ha/N)
1 ~ 10	696.12	411	59	14.39	2.1	0.04
11 ~ 20	1,336.03	548	41	17.92	1.3	0.03
21 ~ 40	29.43	2	7	0.06	0.2	0.03
41 <	0.75	0	0	0	0	0
合 計 Total	2,062.33	961	47	32.37	1.6	0.03

Table 9. 地盤と林齢別崩壊状況
Ground condition and landslide by forest age

地 盤 Ground	林 齢 Forest age	占有面積 Occupied area (ha)	山 地 崩 壊 Landslide				
			個 数 Number	(N/100ha)	面 積 Area (ha)	(%)	(ha/N)
受 盤 Inface	1 ~ 10	478.74	228	48	7.71	1.6	0.03
	11 ~ 12	1,045.75	448	43	14.89	1.4	0.03
	21 ~ 40	26.01	1	4	0.03	0.1	0.03
	41 <	0.75	0	0	0	0	0
	計 Total	1,551.25	677	44	22.63	1.5	0.03
流 盤 Backslope	1 ~ 10	217.38	183	84	6.68	3.1	0.04
	11 ~ 20	290.28	100	34	3.03	1.0	0.03
	21 ~ 40	3.42	1	29	0.03	0.9	0.03
	41 <	0	0	0	0	0	0
	計 Total	511.08	284	56	9.74	1.9	0.03

分に存在するためと考えられる。

つぎに、林齢の差異による崩壊状況を示したのが Table 8 である。これも各占有面積が異なり、とくに林齢21年以上では崩壊も2個しかないので、同精度で論じられないが、林齢10年までと林齢11～20年とで比較すると、単位面積当たりの崩壊数および崩壊面積率は、林齢10年までにくらべ、林齢11～20年の方が小さくなっている。したがって、今回の調査では地被区分より林齢区分の方に崩壊防止機能の差が認められた。

一方、調査地域はさきにも述べたようにケスタ地形を示しており、また、一般に山地崩壊は流盤側の方が地盤に沿って崩落流出しやすいので、受盤よりも多発しやすいと考えられる。そこで、この地盤の違いによって、崩壊防止に関する森林の影響が異なるかどうかを、林齢別に示したのが Table 9 である。林齢21年以上については、やはり占有面積および崩壊数が少ないので、林齢20年以下について検討してみる。

Table 9 によれば、今回の調査においても一般にいわれるように、根系の発達していない林齢10年まででは、流盤側の方が受盤側より単位面積当たりの崩壊数、崩壊面積率ともに大きく、受盤側では小さかった。しかし、根系がある程度発達し、その土壌緊縛力が増大していると考えられる林齢11～20年では、この関係は逆転している。また、林齢が1～10年から11～20年になると、単位面積当たりの崩壊数、崩壊面積率ともに小さくなっているが、とくに流盤側でその傾向がいちじるしい。以上のことから、樹木根系の土壌緊縛力による森林の崩壊防止効果は、受盤側にくらべ流盤側の方が大きいと思われる。

3. 根系・根量調査

森林の山地荒廃防止機能としては、浸食および崩壊の防止機能、洪水緩和機能などが考えられるが、直接の崩壊防止機能としては、樹木の根系による作用とみなされている。根系の作用として考えられているのは、根系の杭作用と網作用である。前者は崩落しようとしている土塊のすべり面以下まで発達している直根または垂下根による剪断抵抗力として考えられ、後者は面的およびある程度の厚みを持った層として発達した根系が網状となって土塊を緊縛する作用と考えられている。しかし、この両作用は剥落型または滑落型のような、ごく浅い崩壊に対しては効果があるが、すべり面の深い大規模な崩壊に対しては、もちろん有効ではない。

崩壊防止機能としての根系の抵抗力は、根系の長さによって作用範囲が限られ、根系断面積によって剪断抵抗力、引張抵抗力が左右されるものと考えられる。したがって、森林を構成する樹種・樹齢・施業方式・立地条件別に根系の分布状況、根量を調査することによって、根系の抵抗力の影響を比較推定することができるであろう。ここでは資料の関係から、樹種別の深さ方向の根量分布、および垂下根長と樹齢との関係について述べることにする。

根量調査は山地荒廃の激甚地であった竜ヶ岳町を中心とし、姫戸町の南部と倉岳町の東部に含まれる地域内の46地点で測定を行なった。測定地点はその付近の平均的と思われる林況内で、どの大径木からも最も離れている地点である。したがって、その平均的林況の中では、根系が最も少ないとみられる地点である。測定方法は各地点で、鉛直方向に幅50cmで、根が分布している深さまで断面を掘取り、この断面に幅30cm、奥行20cm、深さ20cmごとの直方体を上層から順次掘出し、その中に含まれる根量を測定した。

深さ方向の根量分布を樹種別に示したものが Fig. 13-1 である。同図より、根量は上層に多く、下層

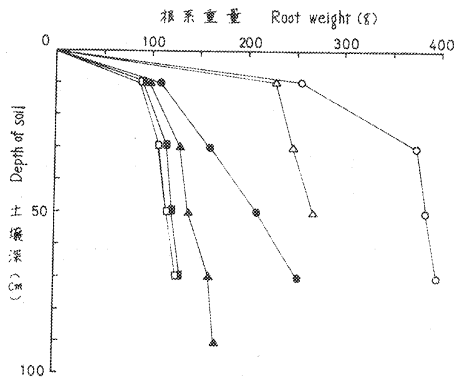


Fig. 13-1 樹種別根量累加図
Accumulative root weight in tree species.

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| ○ スギ
Cryptomeria | ▲ 広葉樹
Broad leaved tree |
| △ マツ
Pine | ■ 新植地
Planting area |
| ● ヒノキ
Japanese cypress | □ アカシア
Acacia |

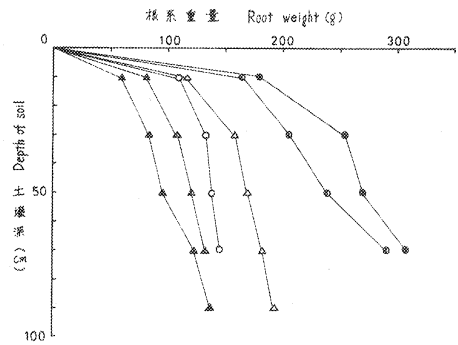


Fig. 13-2 胸高直径別根量累加図
Accumulative root weight in diameter breast high.

- | | | | |
|------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| 針葉樹
Coniferous tree | ○ 1 ≤ D < 5 | 広葉樹
Broad leaved tree | △ 1 ≤ D < 5 |
| | ● 5 ≤ D < 10 | | ▲ 5 ≤ D < 10 |
| | ● 10 ≤ D | | ▲ 10 ≤ D |
- D : 胸高直径
Diameter breast high.

に少ない傾向を示している。またスギなど針葉樹が根量としては比較的多く分布しており、広葉樹および

新植地の根量は少ないことがうかがえる。広葉樹の根量が少ないのは、さきに述べたように当地域の広葉樹の生育が悪いことによるものであろう。つぎに、針・広葉樹の胸高直径別に、深さ方向の根量分布を示したものが Fig. 13-2 である。資料の関係から林齢別に区分できなかったため、測定地点の対象木の平均胸高直径を林齢のかわりに用いることにした。同図より、針葉樹では胸高直径が 5 cm 以上の根量は、5 cm 以下の根量にくらべ多いという傾向を示しているが、広葉樹では胸高直径 5 cm 未満の根量が、5 cm 以上の根量にくらべやや多いという結果になった。これは針葉樹の立木間隔がほぼ一定で、測定地点から対象木までの距離が同程度であるのに対して、広葉樹では立木間隔が一定していない、萌芽更新が多いこと、また樹種により成長の度合がかなり異なることなどが影響しているのではなかろうか。

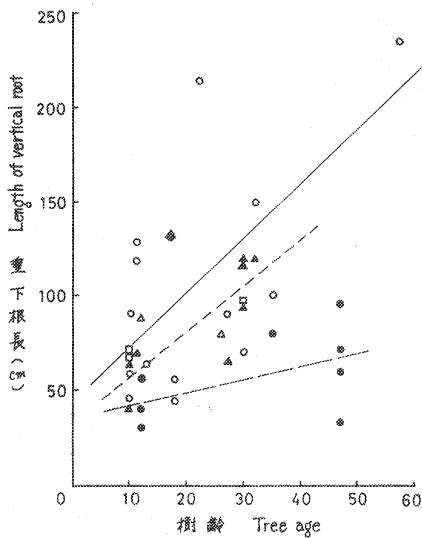


Fig. 14 樹齢と垂下根長との関係
Relation between tree age and length of vertical root.

- | | |
|-----------------------------|-----------------|
| ○ — スギ
Cryptomeria | △ マツ
Pine |
| ● — ヒノキ
Japanese cypress | □ シイ
Pasania |
| ▲ — カシ
Live oak | |

一方、樹種別の垂下根長と樹齢との関係を、熊本県林務観光部で行なった調査結果¹⁰⁾より求めると Fig. 14 のようになる。概括的にみれば、杭効果と

して期待する垂下根長は樹種、樹齢によってその深さは30~230 cm とかなりの差がある。一般に表土層(B層以上)とその下層(C層)とは透水係数が異なり、剥落崩壊などのすべり面を形成すると考えられる。そこで、各樹種の測定点での表土層の厚さの平均を、上記調査結果からみると、スギでは87 cm、ヒノキでは117 cm、マツでは89 cm、カシでは63 cm、シイでは88 cm となり、Fig. 14 よりスギ、カシなどは20年以上の樹齢に達すれば、十分下層土に達するものとみられ、垂下根による杭作用は期待できる。しかし、ヒノキは樹齢が高くなっても垂下根はあまり伸びず、杭作用は期待できない。なお、スギおよびカシの垂下根長と樹齢との相関係数は、それぞれ5%, 1%水準で有意性が認められた。ヒノキの垂下根長と樹齢との相関係数は20%水準でしか有意性が認められなかった。

VI 荒廃危険地の判定

1. 危険地判定法

梅雨前線または台風による集中豪雨によって、毎年のように山地災害が発生するが、とくに近年土地の高度利用にともなって、里山地域における局所災害、あるいは人命におよぶ災害が多くなってきているようである。このような災害を事前に予察して、あらかじめ災害に対する処置を施しておくことは、きわめて望ましいことである。すなわち、荒廃危険地の判定は予防治山上きわめて重要なことである。その方法としては、(1)地質、地形等の定性的な因子により個別に荒廃危険地を予知していくもの、(2)荒廃発生因子である雨量・地形・林相等の回帰的關係から荒廃の危険性の大小を判別していくもの、(3)各種の荒廃影響因子のうち定性的な因子も数量化理論により定量化し、総合的に危険地判定を試みるものが現在行なわれており、目的に応じて上記の方法を使いわければ、いずれも有効な手法と思われる。

一方、現在のところ山地荒廃の機構が十分に解明されていないので、荒廃に影響する因子の種類をどの

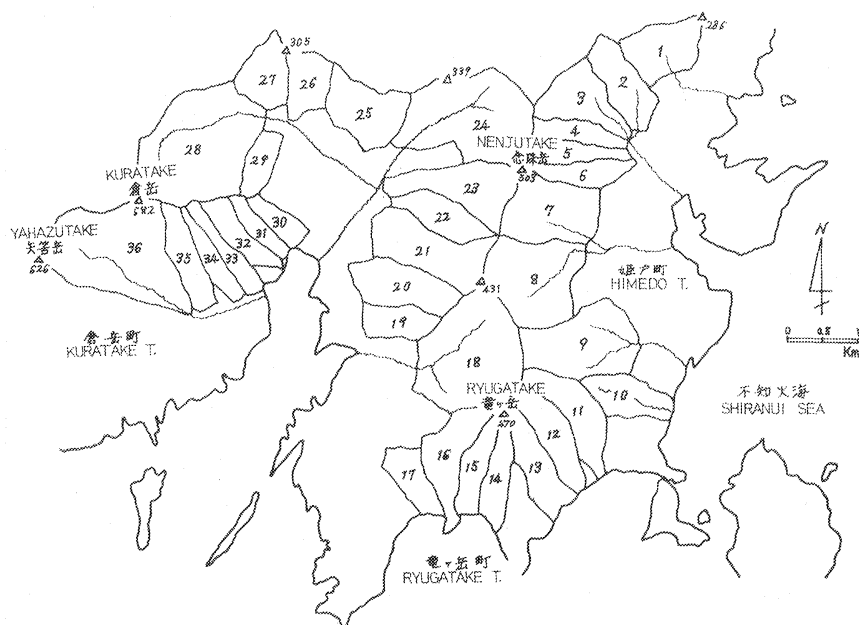


Fig. 15 調査流域区分図
Divided map of the investigated watershed.

Table 10. 調査流域の荒廢状況
Devastation of the investigated watershed

流域 Water-shed No.	流域面積 Watershed area (ha)	山地崩壊 Landslide				溪流荒廢 Devastated stream		計 Total		土石流体積 Volume of mud and stone flow	
		個数 Number	Ln (N/ 100 ha)	面積 Area (ha)	La (%)	面積 Area (ha)	S (%)	面積 Area (ha)	(%)	$\times 10^3$ (m ³)	V (m ³ /ha)
1	64.34	15	23	0.53	0.8	1.47	2.3	2.00	3.1	191	279
2	69.98	6	9	0.15	0.2	0.91	1.3	1.06	1.5	0	0
3	66.55	12	18	0.18	0.3	9.28	13.9	9.46	14.1	240	361
4	34.92	9	26	0.23	0.7	5.40	15.5	5.63	16.1	200	573
5	43.72	2	5	0.03	0.1	3.26	7.5	3.29	7.5	73	167
6	36.12	7	19	0.16	0.4	1.96	5.4	2.12	5.9	170	471
7	100.19	30	30	1.72	1.7	15.18	15.2	16.90	16.9	1,424	1,421
8	123.15	34	28	2.37	1.9	12.74	10.4	15.11	12.3	319	259
9	148.77	54	36	2.10	1.4	9.63	6.5	11.73	7.9	200	134
10	38.61	24	62	0.90	2.3	2.74	7.1	3.64	9.4	693	1,795
11	68.70	42	61	1.85	2.7	9.13	13.3	10.98	16.0	190	277
12	45.60	33	72	0.97	2.1	5.67	12.4	6.64	14.6	140	307
13	50.54	37	73	0.90	1.8	6.58	13.0	7.48	14.8	165	327
14	30.62	11	36	0.20	0.7	3.54	11.6	3.74	12.2	377	1,231
15	35.79	16	45	0.50	1.4	6.13	17.1	6.63	18.5	79	221
16	64.74	31	48	1.59	2.5	10.76	16.6	12.35	19.1	426	658
17	33.37	26	78	1.05	3.2	3.19	9.6	4.24	12.7	237	710
18	184.33	107	58	2.95	1.6	20.07	10.9	23.01	12.5	240	130
19	44.21	10	23	0.26	0.6	3.96	9.0	4.22	9.6	112	253
20	71.03	22	31	0.52	0.7	4.66	6.6	5.18	7.3	131	184
21	109.88	90	82	3.62	3.3	8.25	7.5	11.87	10.8	704	641
22	36.84	30	81	1.06	2.9	6.30	17.1	7.36	20.0	298	809
23	85.31	65	76	2.64	3.1	7.38	8.7	10.02	11.8	432	506
24	178.10	21	12	0.45	0.3	22.22	12.5	22.67	12.7	136	76
25	74.26	19	26	0.41	0.6	6.27	8.4	6.68	9.0	0	0
26	43.44	14	32	0.29	0.7	3.49	8.0	3.78	8.7	0	0
27	61.71	28	45	0.49	0.8	5.35	8.7	5.84	9.5	60	97
28	209.52	49	23	1.32	0.6	25.92	12.4	27.24	13.0	338	161
29	27.34	9	33	0.19	0.7	2.45	9.0	2.64	9.7	39	143
30	27.50	11	40	0.22	0.8	1.24	4.5	1.46	5.3	0	0
31	21.93	13	59	0.43	2.0	1.53	7.0	1.96	8.9	103	470
32	27.50	17	62	0.57	2.1	4.30	15.6	4.87	17.7	197	716
33	29.21	8	27	0.14	0.5	3.13	10.7	3.27	11.2	61	209
34	28.75	12	42	0.54	1.9	2.02	7.0	2.56	8.9	101	351
35	61.45	21	34	0.51	0.8	4.42	7.2	4.93	8.0	100	163
36	189.36	60	32	1.64	0.9	18.51	9.8	20.15	10.6	524	277
合計 Total	2,567.38	995	39	33.67	1.3	259.04	10.1	292.71	11.4	8,700	339

Table 11. 調査流域の地形・地被条件
Topographical and surface cover condition of the investigated watershed

流域 Water- shed No.	起伏量 Relief energy Re (m)	起伏量比 Relief ratio Rr	谷密度 Drainage density Dd (m/ha)	形状係数 Form factor Ff	流域 集中度 Com- pactness C	Hip- sometric Integral Hi (%)	流域傾斜 Water- shed inclina- tion Wi	林齢別面積率(%) Per cent of area by forest age		樹種別面積率(%) Per cent of area by species	
								1~10 F ₁	11< F ₂	Conifer- ous forest N	Broad leaved forest L
1	260	0.25	39.6	0.60	0.86	32.2	0.1609	17.5	58.2	6.8	68.8
2	320	0.22	37.2	0.32	0.78	33.7	0.1461	35.8	39.1	2.9	72.0
3	400	0.24	32.3	0.24	0.71	42.3	0.2040	16.7	72.0	1.4	87.4
4	340	0.23	54.4	0.16	0.64	40.1	0.1820	14.8	73.7	3.6	84.9
5	490	0.30	50.3	0.16	0.64	37.2	0.2210	9.6	71.5	0	81.1
6	490	0.30	33.2	0.14	0.61	28.2	0.1705	5.8	85.2	3.1	87.9
7	460	0.34	43.9	0.55	0.87	38.3	0.2607	28.2	59.8	4.1	83.9
8	440	0.30	51.2	0.59	0.82	38.7	0.2354	35.5	60.1	19.2	76.4
9	410	0.22	31.3	0.44	0.85	39.9	0.1769	36.1	57.9	5.5	88.6
10	220	0.19	58.3	0.28	0.79	53.4	0.1986	17.4	48.3	0.5	65.2
11	430	0.23	50.2	0.22	0.68	41.2	0.1928	21.7	54.3	2.0	73.9
12	450	0.28	59.2	0.17	0.67	37.3	0.2053	17.5	63.0	1.9	78.7
13	460	0.27	59.4	0.17	0.68	32.4	0.1749	4.6	75.8	0	80.4
14	460	0.31	45.7	0.14	0.59	27.1	0.1695	11.2	46.1	3.3	54.0
15	460	0.29	51.7	0.14	0.64	25.4	0.1450	7.4	60.7	1.0	67.1
16	450	0.26	73.4	0.21	0.73	31.8	0.1639	19.6	53.7	0	73.3
17	260	0.22	73.4	0.24	0.76	45.7	0.2011	29.2	42.7	2.7	69.2
18	360	0.23	27.4	0.77	0.88	49.1	0.2279	48.4	27.3	15.6	60.1
19	340	0.28	14.7	0.31	0.79	38.2	0.2169	30.0	54.9	19.5	65.4
20	380	0.22	18.3	0.24	0.77	39.0	0.1731	36.5	47.5	30.5	53.6
21	450	0.23	38.2	0.29	0.76	41.8	0.1923	49.5	27.6	14.8	62.3
22	450	0.26	42.1	0.12	0.55	42.5	0.2178	59.9	27.9	25.4	63.3
23	450	0.26	31.6	0.29	0.70	57.0	0.2987	73.1	24.0	1.7	95.4
24	430	0.18	30.3	0.31	0.80	50.9	0.1833	21.3	69.8	8.2	82.8
25	230	0.15	35.7	0.32	0.83	53.0	0.1599	24.0	49.7	8.9	64.7
26	250	0.26	36.8	0.47	0.83	54.5	0.2856	27.3	54.9	4.3	78.0
27	260	0.21	37.2	0.40	0.84	55.2	0.2319	14.7	62.1	5.1	71.7
28	620	0.24	25.3	0.30	0.88	40.1	0.1891	12.6	56.7	17.3	52.0
29	310	0.31	40.2	0.27	0.77	53.1	0.3250	10.7	53.7	4.7	59.7
30	350	0.39	12.7	0.33	0.85	33.6	0.2597	3.9	44.3	3.9	44.3
31	370	0.38	18.2	0.23	0.75	31.6	0.2378	3.2	58.4	0	61.6
32	450	0.37	21.8	0.18	0.60	39.6	0.2897	18.7	63.9	32.2	50.4
33	470	0.34	17.1	0.15	0.58	30.1	0.2018	7.6	60.6	7.6	60.6
34	500	0.32	31.3	0.12	0.58	35.9	0.2326	28.6	49.8	35.1	43.3
35	590	0.34	35.8	0.20	0.71	33.3	0.2239	18.5	49.6	14.9	53.1
36	650	0.28	21.7	0.35	0.74	54.6	0.3033	26.0	56.2	48.5	33.8
平均 Mean	409	0.27	38.4	0.29	0.74	40.5	0.2127	23.4	54.5	9.9	68.0

ように考えるか、またその因子の表現をいかにするかが問題であり、しかも、因子の危険度に及ぼす影響度の大小については、地域によってかなり変動し、明確な基準化には資料が不足している。

この報告では、上記の状況における荒廃危険地判定法の1基礎資料を得るため、従来から荒廃と関係しているといわれる常識的な因子を取りあげて、山地荒廃とそれに影響する各種因子との回帰的關係を検討することになった。

対象とした地域は、さきの森林の崩壊防止機能の調査地域と同地域で、とくに甚大な被害を受けた姫戸、竜ヶ岳、倉岳の各町にわたる約2,570 haの地域であり、Fig. 15に示されるように36流域に区分けられるところである。山地荒廃状況およびその影響因子の測定は、前記の災害後作製された空中写真および2千分の1、5千分の1、1万分の1の地形図を用いて行ない、その調査結果はTable 10, 11に示した。なお、対象とした地域はさきに述べたように、ケスタ地形を示し受盤、流盤に分けられるが、それぞれに当てはまる流域の数に多少があり、比較検討しがたいので、ここでは全体について考察を行なうことにした。

2. 山地崩壊について

山地崩壊に関する諸因子としては、誘因の雨量をはじめ、素因の地質・地形・地被等があげられる。その中でも雨量がもっとも崩壊に対する直接的因子とみなされ、とくに雨の降り方、すなわち時時刻刻の雨量の累積効果が関係していると思われる。つまり、降雨特性のうちの1特性のみではなく、降雨時系列そのものが、崩壊と密接に関係していると考えられる。竜ヶ岳町における災害は栖本町、松島町に比して大きかったが、前出のFig. 4の雨量累加図はそのことを示しているといえよう。今回の対象とした地域

は、Fig. 2の災害当日の雨量分布図によれば、ほぼ250mmの雨域の範囲にあるので、多少の差はあっても同一の雨量とみなした。

地質については、崩壊との関係をみる表現として中古生層、花崗岩地帯、火山噴出岩地帯、火山噴出物堆積地帯、破碎帯等に分類⁵⁾されているが、崩壊が発生する深さは通常地表から数mまでのところであり、構造的地質というよりも表層地質のいかんが崩壊と関係するものと考えられる。しかし、これらの関

Table 12-1. 荒廃各要素間の相関係数
Correlation coefficient in each factor
of devastation

	Ln	La	S	V
Ln	—	0.8955****	0.2741	0.3614**
La	—	—	0.2884*	0.4538****
S	—	—	—	0.2888*
V	—	—	—	—

* Significant at 10% level
** Significant at 5% level
*** Significant at 1% level
**** Significant at 0.1% level

Table 12-2. 山地荒廃とその影響因子との相関係数
Correlation coefficient between devastation and influential factor

	Re	Rr	Dd	Ff	C	Hi	Wi	F ₁	F ₂	N	L
Ln	-0.0437	0.0134	0.3052*	-0.1449	-0.2015	0.1481	0.1600	0.3629**	-0.4806***	0.0010	-0.0624
La	0.0128	-0.0121	0.4125**	-0.0554	-0.1479	0.1187	0.1304	0.4888***	-0.4902***	0.0245	0.0472
S	0.3060*	0.0333	0.3404**	-0.2512	-0.3541**	-0.0315	0.0125	-0.0187	0.1703	0.0233	0.1286
V	-0.0312	0.0694	0.3780**	-0.1400	-0.2098	-0.0408	0.0012	0.0685	-0.1164	-0.0952	0.0424

* Significant at 10% level, ** Significant at 5% level, *** Significant at 1% level.

係を市販されている地質図から判断することは、かなり困難なことである。このため表層地質図の作成が望まれている。今回の対象地について定性的ではあるが、前出の Fig. 5 と Fig. 7 をかさねることにより地質と崩壊との関係をみると、さきに述べたように白岳砂岩層と赤崎層との境界線上に、崩壊発生数の多いことが見うけられる。

地形は崩壊発生の要因としてきわめて重要と考えられるが、今回の調査では起伏量、起伏量比、谷密度、Hipsometric Integral、村野¹³⁾の提案した流域傾斜などの地形要素について崩壊との関係を検討した。その結果、Table 12-2 に示したように、崩壊面積率は谷密度と5%水準で相関の有意性が認められたが、その他の要素とは相関の有意性が認められなかった。また、単位面積当たりの崩壊発生数は谷密度と10%水準で相関の有意性が認められた。したがって、地形因子のうち山地崩壊と相関が認められたものは、流域の地質・地形・地被状態と密接に関係し、浸食の進行程度を表わしているといわれる谷密度のみであった。

地被状況もまた崩壊の発生に対して、大きく影響することは、さきに森林の崩壊防止機能の項で述べたごとくであるが、ここでは、林齢別に1~10年、11年生以上の占有面積率にわけ、樹種別に針・広葉樹林の占有面積率にわけて検討を行なった。その結果、樹種別では相関の有意性は認められなかったが、林齢別では相関の有意性は認められ、林齢1~10年の占有面積率は崩壊面積率、単位面積当たりの崩壊発生数とそれぞれ1%、5%水準で正の相関を示し、林齢11年以上の占有面積率は崩壊面積率、単位面積当たりの崩壊発生数と、いずれも1%水準で負の相関を示した。したがって、林齢が大きくなれば崩壊面積率、発生数とも減少することがわかり、林齢別では森林の崩壊防止効果は期待できると考えられる。

以上、崩壊と崩壊発生に影響する諸因子についての関係をみたが、統計的に検討を行なう場合、各因子は客観的に把握でき、数量的に表示できることが望ましく、相関度合の高い因子からなるべく多くとり入れることが望ましい。しかし、従属変量と独立変量群との重相関係数が同程度であれば、因子の数はなるべく少ないほうが実用価値は高いと思われる。このような点を考慮して、ここでは従属変量として崩壊面積率を用い、独立変量としては、崩壊面積率との相関が高く、かつ内部相関がない樹齢11年以上の占有面積率と谷密度を用いて、崩壊面積率についての推定式を求めれば、次式のようになる。

$$Y = 2.248 + 0.028X_1 - 0.036X_2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで Y : 崩壊面積率(%), X_1 : 谷密度(m/ha), X_2 : 林齢11年以上の占有面積率(%)である。重相関係数を求めれば、0.6739となり1%水準で有意となる。またこの回帰式を検定すれば、0.1%水準で有意となった。したがってこの回帰式はかなり信頼できると考えられる。また、各独立変量の従属変量に対する影響度をみるため、各独立変量の標準偏回帰係数¹⁴⁾を求めれば、 b_1' : 0.4645, b_2' : -0.5353 となり、 X_1 の Y に対する影響度を1とすると、 X_2 は1.2となる。

3. 溪流荒廃について

災害をもたらす現象の一つに溪流からの土砂流出がある。すなわち、豪雨時に多発した崩壊地から流出した土砂が、溪流内で豪雨による出水と一体になり、溪流内の土砂を浸食、流下させ、いわゆる土石流現象を生じて、下流の災害を大きくする例がみられる。溪流荒廃は一般に雨量、流域地形、流域内で発生した崩壊と関係するが、ここでは土石流などの結果として把握し得る溪流の荒廃状況とその影響因子との関連を考察した。

溪流荒廃としてその面積率をとり、その影響因子との関係をみると、Table 12-2 に示したように起伏

量とは10%水準で、谷密度、流域集中度とは、ともに5%水準で相関の有意性が認められたが、その他の地形因子および地被状況との間には、相関の有意性は認められなかった。したがって、流域の起伏量、谷密度が大きくなれば、溪流荒廃面積率は大きくなると考えられる。また、流域集中度との関係では負の相関を示したが、これは流域が狭長になるほど、溪流の浸食機会が多くなり、溪流荒廃面積も大きくなることを示すものと考えられる。

また、崩壊地の発生の多少が溪流荒廃の発生を左右すると考えられる。今回の調査では Table 12-1 に示したように、崩壊面積率と10%水準で相関の有意性が認められた。しかし、単位面積当たりの崩壊数とは、相関の有意性は認められなかった。この他に雨量、地質が溪流荒廃に関係すると思われるが、さきに述べたように定性的な検討しかできなかった。

溪流荒廃とその影響因子についてみてきたが、ここで従属変数として溪流荒廃面積率を用い、独立変数としては、溪流荒廃面積率との相関が高く、かつ内部相関のない谷密度と流域集中度を用いて、溪流荒廃面積率についての推定式を求めれば、次式ようになる。

$$Y = 16.428 + 0.076X_1 - 12.705X_2 \dots\dots\dots(2)$$

ここでY: 溪流荒廃面積率(%), X_1 : 谷密度(m/ha), X_2 : 流域集中度である。重相関係数を求めると、0.4577となり5%水準で有意となる。また、この回帰式の検定を行なうと、5%水準で有意性が認められた。つぎに各独立変数の従属変数に対する影響度をみるため、各独立変数の標準回帰係数を求めれば、 b_1' : 0.2934, b_2' : -0.3095となり、 X_1 のYに対する影響度を1とすれば X_2 は1.1となる。

4. 土石流について

一般に人命、家屋、農地等の生活に直結する被害は、山地崩壊よりも土石流によるほうがはるかに甚大である。この土石流が発生する因子としては雨量、地形などが考えられ、また、地質・土質的に風化されやすい地区および崩壊の多発地区など、土砂が生産されやすく溪床に多量の不安定堆積土砂が存在する溪流が、一応土石流の発生の可能性を有しているとみられる。

今回の調査では、土石流による単位面積当たりの堆積土砂量と関係すると考えられる荒廃状況、および地形因子などとの関係について検討を行なった。なお堆積土砂量の測定は、前記の空中写真および現地調査から土石流の平均堆積深を求め、それに堆積面積を乗じて算出した。その結果、荒廃状況としては Table 12-1 に示されるように崩壊面積率、単位面積当たりの崩壊発生数、溪流荒廃面積率がそれぞれ1%, 5%, 10%水準で相関の有意性が認められた。また、地形因子としては起伏量、起伏量比、谷密度、形状係数、流域集中度、流域傾斜等を取りあげて検討したが、Table 12-2 に示されるように、そのうちの谷密度と5%水準で相関の有意性が認められた。この他に雨量、地質が土石流発生に関係するが、さきに述べたように定性的な検討しかできなかった。また、災害前の溪床不安定堆積土砂などが、大きく関係すると考えられるが、これについては把握できなかった。

以上、土石流による堆積土砂量とその影響因子との関係をみてきたが、そのうち有意な相関が認められた因子は谷密度、崩壊面積率、単位面積当たりの崩壊数、溪流荒廃面積率である。しかし、各因子ともさきに検討したように独立とはいえない。また、土石流による堆積土砂量の推定には、荒廃結果としての崩壊面積率などは用いがたいので、ここでは谷密度のみを用いて、土石流による堆積土砂量についての推定式を求めれば、次式ようになる。

$$Y = 32.557 + 0.015X \dots\dots\dots(3)$$

ここで Y :堆積土砂量(m^3/ha), X :谷密度(m/ha)である。なお、この回帰式の検定を行なうと、5%水準で有意性が認められた。

以上、山地荒廃とその影響因子との関係を考察し、崩壊面積率、溪流荒廃面積率、土石流による堆積土砂量についての推定式をそれぞれ求めたが、雨量・地質などここで取りあげなかった因子もあるので、他地域での比較検討に資するには、それらの条件も考慮しなければならないであろう。

VII 災害防止および復旧方法の考察

今回の災害により当地域は山地崩壊、土石流など大きな動きは外見的に一応終息したかのごとくみえる。また、不安定な土砂は一応大部分落ちついたような場所もみうけられる。しかし、崖や沢の途中に不安定な岩塊・土砂が残っている部分が多数あり、砂防堰堤などに辛うじて止まっている場所もあり、とくにその堰堤が半壊の状態にあるような場合は不安定である。さらに、山も沢もいたる所が荒れて地はだがむきだしになっており、比較的少ない雨量でも再崩壊のおそれがある。また、流水によって洗掘されて、岸に岩塊まじりの土砂が露出している溪流があり、そのまま放置すると、大量の土砂が流出するおそれがある。このように全域にわたりまだ危険なところが多いので、警戒の手をゆるめることはできない。現在、熊本県の計画により空中散布緑化、治山堰堤の導入、流路工、護岸工、導流堰、また、人家の移転のための海岸の埋立など、復旧と予防対策が行なわれつつある。一方、今回の災害を受けなかった近接地の天草下島、御所浦島なども、ほぼ同様の素因を有しており、今後起こりうる集中豪雨の降り方いかんによっては、大きな災害が発生する可能性があるので、十分な調査と注意が必要であろう。

一般に土石流は、流域の上流部において山腹・溪岸の崩壊等によって初動が与えられ、中流部において溪岸崩壊・溪床洗掘による土砂の流出、あるいは不安定堆積物の流出によってその規模を増大し、下流部になって溪流勾配の低減、溪流幅の拡大にともなって、その勢力が減衰して、運搬された土砂は堆積するものと考えられる。したがって、土砂流出災害の防止対策としては、上流部において土石流の起因となる山地崩壊の防止と軽減、中流部において土石流の規模増大の防止、下流部において被災対象の直接防護とに分類して考えられる。しかし、災害の復旧と予防対策には、原形復旧よりも改良復旧を、自然制御よりも自然誘導を主体とすべきであり、各工種についても、その影響を多面的に考慮して行なうことが必要と考えられる。

山腹崩壊の復旧、防止対策としては、地表水によって侵蝕されるような裸地や地被物の疎の所を、山腹工などによって、十分密な植生で被覆することが必要である。また谷止工により、初動の流出土砂を軽減することも必要であろう。また、造林の効果も大きいので、それには土地にあった適当な樹種を組合せ、表土層の培養と水源林の造成を心がけ、適宜、肥料木も加え、造成の各段階に応じて、それぞれ治山効果のあるものにすることが望まれる。

土石流の規模拡大防止には、今回の土石流によって、洗掘されて土砂が裸出した部分の補修、あるいは山脚固定のため、曲流部などに護岸工を導入し、また不安定堆積土砂の流出移動、溪床の洗掘防止のために床固工、堰堤を河谷断面積、河床勾配などを考慮しつつ導入することが必要であろう。

被災対象の直接防護としては、豪雨時の排水機能を果たしうるように、水路の横断面を十分大きくとって土石流を通過させる方法、流出土砂石を堰堤などによって被災対象の上流側に堆積させる方法、導流堰などによって土石流を被災対象地外に導びく方法などが考えられるが、一般の山間の溪流下流部、あるいは

は小規模な扇状地においては、土地利用的にいっても問題がなくもない。一方、被害対象となりうる人家その他重要な構造物をなるべく流路沿いから避けて、安全と思われる所へ移転する等の考慮が必要であろう。また、災害に対する安全教育といったものが、人的被害を軽減する上からも重要ではなからうか。

VIII 摘 要

昭和47年7月の梅雨末期の集中豪雨は、全国各地に大きな被害を与えたが、熊本県においても県下各地に大災害をもたらした。とくに6日には、天草上島地域に一連続雨量432mm、最大時雨量130mmという降雨があり、松島、姫戸、竜ヶ岳、倉岳、栖本の各町に多数の山崩れが発生し、崩壊および堆積土砂が大量に流出し、死者・行方不明者115名、家屋の全壊464戸、半壊269戸、田畑の流出582haという未曾有の惨状を呈した。

この天草地域の災害激甚地区において、山地荒廃の実態および荒廃とその影響因子との関係について調査・検討した結果を要約すればつぎのようになる。

(1) 災害の中心地竜ヶ岳町における最大日雨量284mmを、熊本市と調査地隣接の本渡市とにおける超過確率雨量として計算すると、熊本市では約5年であるが、本渡市では約80年となり、今回の豪雨は天草地方としては異常な豪雨であった。

(2) 対象地の地形は、地層が大体北西側に傾き、東南に近い方位の傾斜面は山腹傾斜が急で短い受盤になっており、反対側は傾斜がゆるくて山脚が長い流盤になっており、いわゆるケスタ地形を示している。

(3) 受盤の山麓には崖錐、あるいは崖錐状扇状地がよく発達しているが、流盤の山麓ではそれらの発達が貧弱である。今回の被害はこの崖錐、および崖錐状扇状地のところに集中している。

(4) 崩壊と地質との関連については、東南部の赤崎層と白岳砂岩層の境界付近と、南部の第三紀貫入岩類と、その周辺の教良木層に、土石流の起因となった崩壊が多いことがうかがえる。

(5) 崩壊の方位は南西面19.3%、南面18.0%、南東面15.2%、東面13.5%となり、豪雨の降りかたと関連しているようである。また、崩壊の規模は約80%近くが0.01~0.05haの範囲にあり、規模は比較的小さい。

(6) 崩壊地規模分布はだいたいポアソン分布に従うことがわかった。しかし、受盤、流盤の違いによる分布の差はそれほど明確にあらわれなかった。

(7) 山地斜面の傾斜分布、崩壊地の傾斜頻度分布は正規分布することが認められた。また、受盤・流盤いずれにおいても、崩壊地傾斜の平均は山地斜面の傾斜平均よりも大となることが認められた。

(8) 崩壊面積率、発生数とも林齢10年未満の幼齢林地では大きく、林齢11年以上では小さかった。しかし、針・広葉樹林の地被別では、当地域の森林の生育状況と関連してか、崩壊面積率、発生数とも明確な差はあらわれなかった。

(9) 山地荒廃とその影響因子との関連から山地崩壊、渓流荒廃、土石流についてそれぞれ危険地の推定式を求めた。

山地崩壊についての推定式は、

$$Y = 2.248 + 0.028X_1 - 0.036X_2 \dots\dots\dots (1)$$

ここでY：崩壊面積率(%)、 X_1 ：谷密度(m/ha)、 X_2 ：林齢11年以上の占有面積率(%)である。

溪流荒廃についての推定式は,

$$Y = 16.428 + 0.076X_1 - 12.705X_2 \dots\dots\dots (2)$$

ここでY: 溪流荒廃面積率(%), X_1 : 谷密度(m/ha), X_2 : 流域集中度である。

土石流についての推定式は,

$$Y = 32.557 + 0.015X \dots\dots\dots (3)$$

ここでY: 土石流による堆積土砂量(m³/ha), X: 谷密度(m/ha)である。

(10) 崩壊の復旧, 防止対策としては, 裸地や地被物の疎の所を山腹工などによって, 密な植生で被覆し, 種々の深さの根系を持つ森林を造成する必要がある。

(11) 山腹および溪流からの土砂流出防止には, 谷止工, 護岸工, 床固工を河谷断面, 河床勾配などを考慮しつつ, 系統的に導入する必要がある。

(12) 土石流に対しては安全な場所での貯砂堰堤の設置と同時に, 土砂生産の原因である上流からの流出土砂を防止する必要がある。また, 導流堤などによる土石流の方向転換, 森林による土石流中の巨岩留止などが必要である。

文 献

- 1) 秋谷孝一ほか: 六甲地区における森林と山地荒廃の関係について, 防災科学技術総合研究報告, 24, 39~71, (1970)
- 2) ARTHUR N. Strahler: Introduction to physical geography. JOHN WILEY & SONS, Inc., 383~385, (1970)
- 3) 北村嘉一・難波宣士: 樹根の抵抗力に関する現地試験(I), 77回日林講, 568~570, (1966)
- 4) —————: 樹根の抵抗力に関する現地試験(II), 79回日林講, 360~361, (1968)
- 5) 小出 博: 山崩れ, 古今書院, 24~35, (1955)
- 6) —————・宮村 忠: 47年山地災害について, 農土誌, 41, 5, 286~291, (1973)
- 7) 河野良治・難波宣士: 昭和41年台風26号による足和田地区の山地荒廃に関する研究, 林試研報, 215, 131~164, (1968)
- 8) 熊本県: 宇城・天草地域森林計画書, 30~33, (1971)
- 9) 熊本地方気象台: 昭和47年7月3日から6日の九州の大雨に関する異常気象速報, 8~9, (1972)
- 10) 熊本県林務観光部: 森林の山地荒廃防止に関する調査, 1~199, (1972)
- 11) 村野義郎: 山地における砂石の生産に関する研究, 土木研究所報告, 114, 1~46, (1962)
- 12) —————: 山地崩壊に関する2, 3の考察, 土木研究所報告, 130, 77~107, (1966)
- 13) 難波宣士: 判別解析による崩壊危険斜面の判定法と問題点(その1), 治山, 18, 3, 7~11, (1973)
- 14) 奥野忠一ほか: 多変量解析法, 日科技連, 35~36, (1971)
- 15) 昭和47年7月豪雨非常災害対策本部技術調査団: 昭和47年7月豪雨災害技術調査報告書, 科学技術庁, 11~20, (1972)
- 16) 竹下敬司: 北九州市門司・小倉地区における山地崩壊の予知とその立地解析, 福岡林試, 59~79, (1971)
- 17) 渡辺武夫・林 拙郎: 山地傾斜と崩壊地傾斜の頻度分布について, 11回災害科学シンポジウム講演論文集, 44~45, (1974)

**Studies on Mountain Devastation by Heavy Rain in July 1972
on Amakusa District**

Toshio SHIMIZU⁽¹⁾ and Yoshiharu KÔNO⁽²⁾

Summary

A disaster with mountain devastation caused by heavy rain took place on Amakusa Kamishima in Kumamoto prefecture at the end of the rainy season in July 1972. Dead and missing persons amounted to 115 persons, 464 houses were razed, 269 houses were half destroyed, and washed and buried cultivated area was 582 ha in this district. There was heavy rainfall amounting to 432 mm, maximum rainfall per hour 130 mm in Amakusa Kamishima district on 6 July. Under this extraordinary rainfall, the district suffered severely by mud and stone flows due to many landslides occurring in the mountain range.

The writers made investigation into landslides and mud and stone flows as related to the topography, soil and vegetation. From this investigation, the following points were made clear.

(1) Maximum rainfall of the day at Ryugatake at the center of the devastated area was 284 mm. This rainfall was calculated as the precipitation on probability of exces, comprised of about 80 years cycle rain; hence, this rainfall was unusual in the Amakusa district.

(2) Strata of the investigated area inclined to north-west. East-south slope is steep and short, north-west slope is gentle and long. This area shows what is called Cuesta terrain.

(3) Talus cones and alluvial cones developed at the piedmont of undip-formed slope, but not much developed at the piedmont of dip-formed slope. Heavy damage occurred on the talus cones and alluvial cones.

(4) As to geology, many landslides that caused mud and stone flows occurred on the boundary of Akazaki layer and Shiratake sandstone layer, and on that of Tertiary sills and Kyoragi layer.

(5) The number of landslides was investigated direction-wise: it was 19.3% on south-west slope, 18.0% on south slope, 15.2% on south-east slope and 13.5% on east slope. It seems to be related to the condition of heavy rainfall. About 80 per cent of landslides was the size of 0.01~0.05 ha.

(6) It was found that the distribution of landslides area shows Poisson distribution, but the difference of this distribution on each ground was not found.

(7) It was found that the distribution of inclination angle of mountain slope and slided land showed normal distribution, and that each distribution differed between *Inface* and *Back-slope*. On each ground, mean inclination angle of slided land was larger than that of mountain slope.

(8) As to landslides, differences were recognized by classes of forest age. The area and the number of landslides per unit area on young stand land where forest age is 1~10 years were larger than that on thrifty stand land where forest age is over 11 years.

(9) In each watershed on the investigated district, the effect of two main independent

Received September 2, 1975

(1) (2) Kyushu Branch Station, Government Forest Experiment Station, Kumamoto, Japan.

variables influencing the ratio of landslides area are given in the following regression equation:

$$Y = 2.248 + 0.028X_1 - 0.036X_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

where Y: ratio of landslides area (%), X_1 : drainage density (m/ha), X_2 : ratio of occupied area where forest age is over 11 years (%).

On the other hand, the effect of two main independent variables influencing the ratio of devastated stream area are given in the following regression equation:

$$Y = 16.428 + 0.076X_1 - 12.705X_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

where Y: ratio of devastated stream area (%), X_1 : drainage density (m/ha), X_2 : compactness.

And the effect of main variable influencing the rate of mud and stone flows are given in the following regression equation:

$$Y = 32.557 + 0.015X \quad \dots\dots\dots (3)$$

where Y: deposit volume by mud and stone flows (m^3/ha), X: drainage density (m/ha).

(10) As to restoration and prevention of landslides, it is effective to cover bare land with vegetation by hillside works, and to plant the trees having different root in depth.

(11) To prevent the soil loss from devastated lands, check dams, retaining walls and bed sill works are effective. These works must be systematically treated considering the vally section and river slope.

(12) Against mud and stone flow, we must not only construct soil-saving dam at the safe site, but also prevent the soil loss from upstream. Moreover, it is wise to turn the course of mud and stone flow by obstructions and to retain large rocks in mud and stone flow by forests.

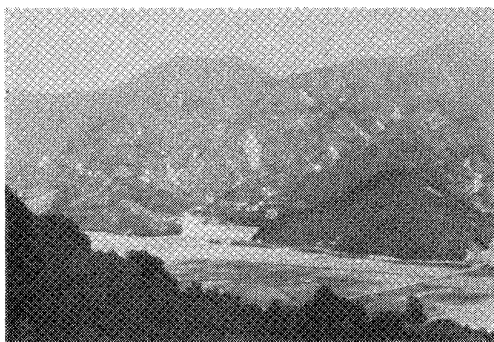


Photo. 1 山地荒廃状況 (倉岳町)
Condition of devastated mountain range.
(KURATAKE T.)



Photo. 2 侵食された荒廃溪流 (竜ヶ岳町)
Eroded wild stream. (RYUGATAKE T.)

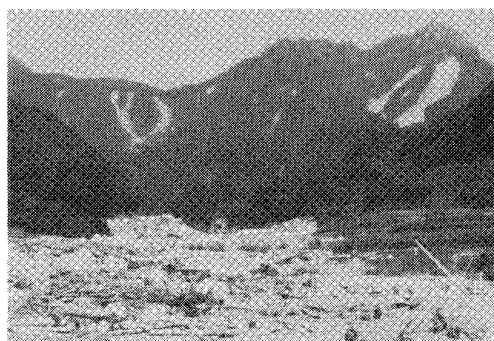


Photo. 3 土石流堆積状況 (姫戸町)
Deposit condition of mud and stone flow.
(HIMEDO T.)

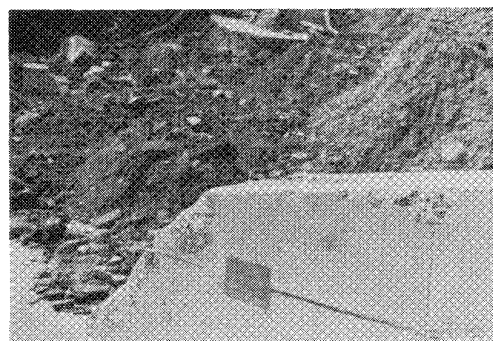


Photo. 4 治山堰堤で止まった流出土砂
(竜ヶ岳町)
Soil loss was retained by check dam.
(RYUGATAKE T.)



Photo. 5 土石流の痕跡 (倉岳町)
Traces of mud and stone flow.
(KURATAKE T.)

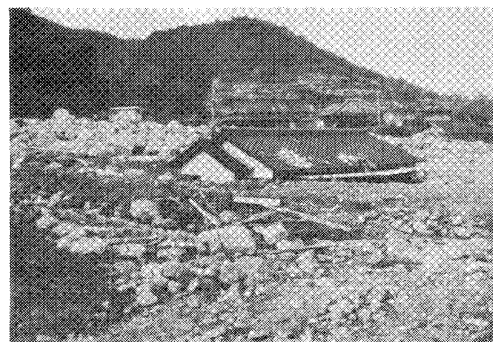


Photo. 6 土石流により破壊・埋没した家屋
(姫戸町)
Houses were destroyed and buried by mud
and stone flows. (HIMEDO T.)