

農地保全の研究

第 13 号

農業土木学会農地保全研究部会

農地保全研究部会

第 1 3 回研究集会プログラム

期 日 平成 4 年 9 月 9 日 (水) ～10 日 (木)

会 場 宮崎県宮崎市 宮崎厚生年金会館

テーマ： 豊 かな 環 境 の 創 造
—急傾斜・火山灰地帯を新たに拓く—

I. 研究発表会 9 月 9 日 (水)

- | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|--------|
| 1) 部会長挨拶 | 9:30～9:35 | 宮崎大学農学部 | 細山田 健三 |
| 2) 来 賓 挨 拶 | 9:35～9:40 | 九州農政局建設部長 | 風間 彰 |
| 3) 主催者挨拶 | 9:40～9:45 | 宮崎県農政水産部長 | 高妻 達郎 |
| 4) 宮崎県における農地保全の事業効果 | | | |
| | 9:50～10:30 | 宮崎県中部農林振興局 | 八藤 昭 |
| 5) シラス法面における新しい植生工法 | | | |
| | 10:30～11:15 | 綜合緑化株式会社 | 常村 忠生 |
| 6) 台湾における急傾斜地の土壌侵食対策について | | | |
| | 11:15～12:00 | 台湾国立屏東技術学院 | 徐 森雄 |
| 7) 昼食・休憩 | 12:00～13:00 | | |
| 8) 桜島降灰の土壌および作物に及ぼす影響と対策 | | | |
| | 13:00～13:45 | 鹿児島県農業試験場 | 野口 純隆 |
| 9) 土石流の発生とその対策 | | | |
| | 13:45～14:30 | 宮崎大学農学部 | 谷口 義信 |
| 10) シラスを利用した新素材の開発と応用 | | | |
| | 14:30～15:15 | 宮崎県工業試験場 | 中島 忠夫 |
| 11) 総合討論 | 15:20～17:00 | | |

II. 懇親会 18:00～20:00 於 宮崎厚生年金会館

III. 現地見学会 9 月 1 0 日 (木)

《コース》 宮崎県庁前集合 (8:00) 出発 (8:10) →国際海浜コンベンションリゾート建設現場 (8:30～9:00) → 県営農地保全事業宝財原地区 (9:50～10:20) →西都原古墳群 (10:40～11:10) →県営農地保全事業萩原地区 (11:30～12:00) →酒泉の杜＝綾町 (12:10～13:40) →青島 (15:10～16:10)

《解 散》 宮崎空港 (16:30) , 宮交シティ (16:50) , 宮崎駅 (17:00)

目 次

あ い さ つ

農地保全研究部会長	細山田健三		4
1. 宮崎県における農地保全の事業効果			
宮崎県中部農林振興局	八藤 昭		6
2. シラス法面における新しい植生工法			
綜合緑化株式会社	常村 忠生		20
3. 台湾における急傾斜地の土壌侵食対策について			
台湾国立屏東技術学院	徐 森雄		33
4. 桜島降灰の土壌および作物に及ぼす影響と対策			
鹿児島県農業試験場	野口 純隆		47
5. 土石流の発生とその対策			
宮崎大学農学部	谷口 義信		60
6. シラスを利用した新素材の開発と応用			
宮崎県工業試験場	中島 忠夫		80

あ い さ つ

農業土木学会農地保全研究部会
部会長 細山田 健三

平成4年より2カ年間、農業土木学会農地保全研究部会の部会長をお引き受けし、本年度の部会活動として、第13回農地保全研究集会を宮崎市において開催することができますことを有り難く、感謝申し上げます。

本研究部会の設立当初のことを振り返ってみますと、第1回研究集会（昭和55年6月、滋賀県立短大農業部において開催）の前刷「農地保全の研究 No.1」において、当時の種田行男部会長の”あいさつ”にあります通り、昭和53年度農業土木学会大会の折、2、3人の有志が集まり、土壤侵食の全国的な研究者が集まる場としての研究会の構想が発端でした。その年、8大学13名の出席により研究部会設立準備委員会が開かれ、土壤侵食研究部会とするか、農地保全研究部会とするか意見が伯仲しましたが、広い立場に立って考えるということで、部会設立を審議する農業土木学会研究委員会には最初から農地保全研究部会として申請することになりました。当時小生は学会の研究委員会委員の1人であり、研究委員会の席で本研究部会の設立申請の趣旨を説明いたしました。新規の研究部会を認めることに慎重な意見も出しましたが、おかげ様で大方の賛同を得て、研究部会として、認知され今日に至っています。

また、当時は現計画設計基準「農地開発（開畑）」に続いて、「農地保全」が改訂された時期でもありましたが、土壤流亡の予測や許容流亡量の問題は未解決のままでありました。農林水産省は昭和60年より「改良山成工調査土壤保全部会」、ひきつづき「同基準改訂部会」を発足させ、本研究部会の会員からも委員として参画し、USLEに基く成案が出来上り、計画指針「農地開発（改良山成畑工）」が平成4年5月に発行されています。そこでは、昭和60年より全国を北海道、東北、北陸、東海、近畿、中四国、九州の8地区に分け（沖縄は途中参加）、標準試験区をはじめ、ほ場斜面侵食調査区による調査、盛土斜面調査など、USLEに準拠した調査試験を行った成果が採用されています。

最近、当研究集会に集まっていたく方々の数が年々増え、農業土木学会

10研究部会の中でも参加者数はトップクラスとなり、盛会を極めるようになり、農地保全研究部会の存在価値が認められてきたと思われます。農地を単に食糧生産の場と考えるのではなく、資源再生産の場、地球環境の担い手と考える主張が定着しつつあると思われます。

さて、今回のテーマは「豊かな環境の創造－急傾斜・火山灰地帯を新たに拓く－」として、南九州のシラスに焦点をあてた3課題と、急傾斜地の土壌侵食対策として台湾の事例の報告、火山の島である桜島降灰対策、土石流の発生と対策であります。御承知の通り、南九州は国の農地保全事業の8割以上を占めているように、災害を受けやすい典型的な自然条件下にある地域であります。その自然条件というのは、土質が火山灰質のシラスであること、降雨量が格段に多いことであります。何れもその道に携ってこられた専門の方々のお話であり、技術的に見ても興味の尽きない課題であります。また、最後の方で総合討論の時間が設けられていますので、講演に関すること、国際的地球的視点での農地保全、環境保全問題について活発な意見交換がなされることを期待いたします。

第2日目には、宮崎市周辺の観光を兼ねて県営農地保全事業2地区、我国有数の西都原古墳群、照葉樹林の里 綾町、海水浴で有名な青島海岸などを御案内いたし、日向路の1日をお過ごしいただきたいと思います。

最後になりましたが、本研究集会および現地見学会開催については、宮崎県農政水産部耕地課の方々に並々ならぬお世話をいただき、九州農政局の方々からもご協力いただきました。ここに重ねて厚く御礼申し上げます。

宮崎県における農地保全の事業効果

宮崎県中部農林振興局 八藤 昭

1. はじめに

本県は、九州の東南部にあり、太平洋に面して明るく開けた陽光豊かなところから、古来、『日向』のくにと呼ばれてきました。

従って気候も温暖で、北の市房山から南の霧島山系に至る九州山脈を背にして、緑豊かな「太陽と緑の国」そのままの美しい沃野を形づくっております。と同時に、本県は古事記・日本書記に登場する「民族のふるさと」でもありまして、神話や、伝説、習俗などが、各地に伝承されているばかりでなく、古墳、遺跡などが県下全域に分布しており、日向の古代文化をしのばせている。

本県は、わが国の南端に位置するため、地理的に大消費地から遠く離れており、このように交通条件が不利なことから長らく本県産業の発展が制約されてきた。

しかし、最近ではこれらの大都市との空路の発達のもとより、高速道路整備、カーフェリーの就航等が進み、本県と大都市間の時間的距離は著しく短縮されてきました。特に農業に関しては大消費地への農産物海上輸送が実現したことによって、流通条件が大きく改善されてきました。

本県は、県北部から南西に連なる九州山脈がり、山林が多く地形が複雑で、しかも、雨が多いところである。地質は南九州地帯特有の特殊土壌のため、一度異常降雨があると農地・農業用施設や農作物の被害が大きく、本県においては、農地保全事業を約40年間実施してきたので、農地保全の事業効果について述べる。

2. 宮崎県農業の概況

県全体の人口は1,168,922人で全国36位である。人口は横ばいであるが、山村になるほど過疎化と高齢化が進んでいる。土地面積は774千haで全国14位の広さである。人口密度は151人で全国平均の332人と比較すると、半分以上で全国41位である。

耕地面積は76,600ha（田40,900ha、畑35,700ha）で県面積の9.9%を占めている。普通畑率については36%で全国と比較すると普通畑の割合がかなり高い。耕地面積の減少は近年次になって鈍化しているものの、依然として減少傾向にあり、畑の減少が大きい。減少の主な原因は田畑ともに宅地造成、植林、耕地放棄等の人為改廃によるものである。

耕地利用率は、減少傾向にあるものの平成元年に129%で全国2位である。

耕地の整備については、水田の区画整備率が平成2年で74.4%であるが、30a以上区画形状についての整備率は19.1%で極めて低い。畑は区画整備率が47.6%である。畑地かんがいの整備率は13%程度で整備が遅れている。

農家数は全国27位と全国平均であるが、専業農家は全国7位、中核農家は全国10位で専業農家及び中核農家の割合が高い。農家数及び中核農家数は年々減少しているが専業農家はほぼ横ばいである。農家人口は全国29位、農業就業人口は全国25位と全国平均であるが、農家人口、農業就業人口とも年々減少しており、農家就業人口の年齢構成は16-29歳が5.8% 35-59歳が47.9% 60歳以上が46.3%となっており、16-29歳の年齢層は昭和55年の11.3%から、平成2年の5.8%と大幅に減少する一方、60歳は昭和55年の31.3%から、平成2の46.3%と増加し、若年令層の人口減少及び後継者減少を背景とした農業農村の高齢化が進展している。農業粗生産額の全国に占める割合は、3.3%で年々高くなっており、全国順位も昭和55年で17位あったのが7位に上昇している。耕地10a 当たり生産所得は全国順位3位と高い。しかし、基幹的農業従事者1人当たりの生産農業所得は全国19位で全国並となっている。

農業経済における農家総所得、農家所得は全国平均に比べて低く、順位もそれぞれ42位、41位にある。しかし、農業所得は全国6位である。

主要指標の全国における本県の地位を表-1に、農業生産の全国的地位を表-2に示す。

表-1 主要指標の全国における本県の地位 *

区 分	宮 崎 県	全 国	宮／全	順位	年次
人 口 (人)	1,168,922	123,611,541	0.9 %	36	2
総土地面積 (千円)	774	37,784	2.0	14	62
耕地面積 (ha)	76,600	5,243,000	1.5	22	2
1戸当り耕地面積(a)	111.6	136.7			2
農家戸数 (戸)	68,612	3,834,732	1.8	27	2
専業農家戸数 (戸)	19,403	591,551	3.3	7	2
中核農家戸数 (戸)	19,517	629,268	3.0	10	2
農家人口 (人)	274,871	17,296,104	1.6	29	2
農業就業人口 (人)	113,228	5,652,898	2.0	25	2
農業粗生産額 (億円)	3.609	109,583	3.3	7	元
うち米 (〃)	370	31,305	1.2	31	元
野菜 (〃)	704	22,105	3.2	10	元
畜産 (〃)	2,045	31,476	6.5	3	元
生産農業所得 (〃)	1,273	46,406	2.7	18	元
1戸当り生産農業所得 (千円)	1,727	1,107		3	元
耕地面積10a当たり農業所得 (〃)	164	88		3	元
基幹的農業従事者1人当り農業所得 (〃)	1,430	1,431		19	元
農家総所得 (〃)	5,993	7,985		42	元
農家所得 (〃)	4,796	6,222		41	元
農業所得 (〃)	1,576	1,112		6	元

表-2 農業生産の全国的地位 (元年) **

品 目	ビ-マ-ン	プロ-イ-	里芋	大根	肉用牛	豚	キュ-リ	カ-キ	茶	備 考
順 位	1 位	1 位	2 位	4 位	3 位	3 位	4 位	4 位	4 位	
シェア	24.2	17.8	12.0	6.7	8.2	6.3	6.3	4.9	3.6	%

*注:「農業調査、農家経済調査、生産農業所得統計、農林業センサス」

: 1戸当たり耕地面積は耕地面積/農家数で算出

**注:「作物統計」「畜産統計」

3. 宮崎県の気候と土壌

シラスを始めとする特殊土壌地帯に異常な降雨があったために、稀有の大災害が発生し、農地保全が創設された背景があり、降雨と土壌が関係しているの、宮崎県の気候と土壌について述べる。

(1) 気 候

本県は南海型気候区に属しているが、面積の広い割に山岳が多く総面積の73%が森林で占めており、山岳、盆地、海岸沿岸部と地勢が複雑であるため地域差が大である。

① 気 温

海岸地帯では年平均気温が17℃内外であって、日本で最も温暖な地帯に属している。しかし、山間地方では15℃以下で関東地方の気温に等しい。霧島山系のえびの高原では年平均気温が9.7℃で東北地方に等しい寒冷地で冬季には最低気温が氷点下20℃以下に下がることもある。

② 雨 量

年間平均降水量は2,490mm（全国3位）で九州本島のうちでは最も多い。この年降水量の約51%が6月から9月に至る4ヶ月間に降り、しかもその雨は一次的に激しく降る豪雨が多い。（図-1参照）

また、県内すべての地域が図-2のとおりで年間2,000mm以上の降水量があり、2,800mm以上の地域が総面積のおよそ3分の1を占め、霧島山系、鰐塚山系では、3,000mmを超える多雨地帯で、日本の最多雨地帯に当たっている。なかでも、霧島山系のえびの高原では、年降水量の平均値が4,800mmであり、6,7月の合計降水量の平均値（ほぼ梅雨期の降水量に当たる）でみると、1,650mmと全国一を記録している。

明治19年以来95年間の宮崎地方測候所の記録によれば、1雨降水量が300mm以上のうち44%が梅雨、次いで台風（弱い熱帯低気圧を含む）30%、秋雨前線（台風の間接的な影響を含む）20%の順になっているが、台風と秋雨前線によるものが50%を占め、それらが重なり合った場合が過去に大被害をもたらした最も恐れられている。

日降水量の最大値は田口原839mm、次いでえびの高原781mm、銀鏡651mm、西米良628mm、神門605mmなど山沿い地方が多い。これに比べて短時間の強雨（1時間当たりの降水量）の記録は宮崎134mm、本庄川111mm、青島110mm、油津90mm、高鍋85mmなどとなり海岸地方に多いのが特徴で、いずれも、秋雨前線に九州の遙か南海上にある台風の間接的影響が重なり合った場合に短時間の集中豪雨が多く発生している。

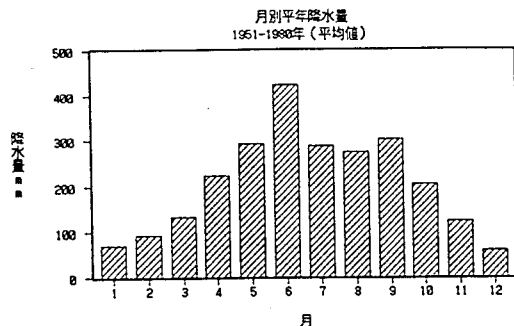


図-1 月別平均年降水量

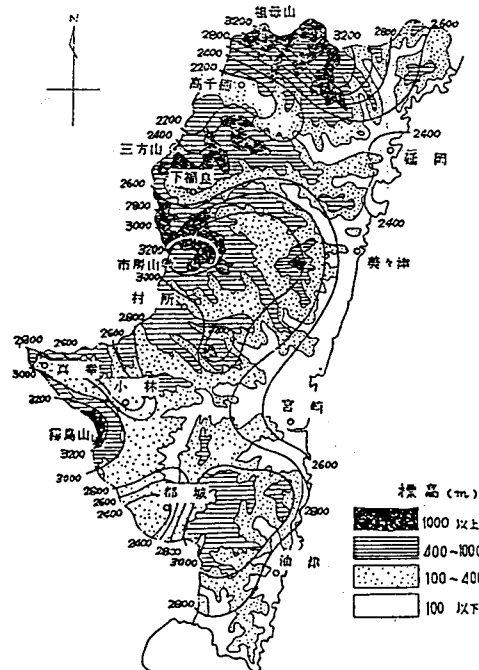


図-2 宮崎県の年降水量分布図 (mm)

(2) 土 壤

宮崎県はシラス、赤ホヤ等の特殊な土壌すなはち、火山灰土壌に廣く覆われていることから全県特殊土壌地帯の指定を受けている。特殊土壌は全国に分布しているのでそのうちのシラスのみについて述べる。

シラスは宮崎県の南部と鹿児島県の大部分にわたる広大な範囲に分布しており、宮崎県は2460 km²あり、県面積の約32%を占めている。(図-3参照)

① シラスの特徴

- 火山噴出物の堆積層で色は大体灰白色で砂質である。
- 水に対して弱く、透水性が良い。
- シラス層の厚さは鹿児島県では一般に厚く、宮崎県に移行するにつれて次第に薄くなり、宮崎県では殆ど20-30m程度までの厚さである。
- シラス層は単一層、しかも厚い層をなしており層理を示さないのが普通である。
- シラス層はより新しい火山灰の層で覆われており、地形的にみると台地を形成している。
- シラス台地は標高が比較的低く、かつ平坦で広大な面積を有し、樹枝状に谷が貫入している。
- シラス台地の崩壊面は垂直に近い状態で断崖を作っている。
- シラスの利用(畜産の利用、舗装の路盤材、多孔質の工学的研究開発)

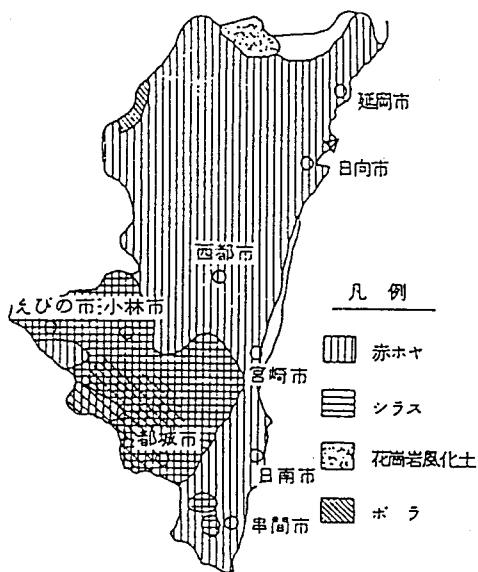


図-3 特殊土壌地帯概要図



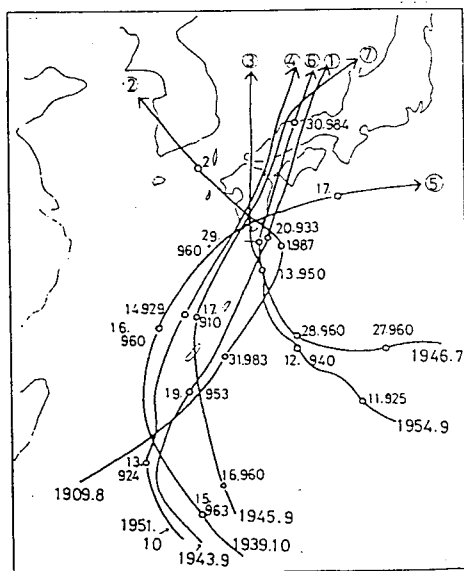
図-4-1 畑地の表土流亡写真



図-4-2 シラス崩壊写真

1) 台風災害と農地保全整備事業の経緯
本県は例年来襲する台風に伴う降雨と前線
の活動による豪雨によりそのつど、大なり
小なりの人的被害、施設ならびに生産物
等の被害が発生している。したがって、こ
れが県財政および県民経済に及ぼす影響は
極めて大きい。

このうち台風の中心が県内を通過したもの23回(約23%)、県の西方を通過したもの21回(約30%)、東海上を通過したもの27回(約38%)となっている。これを月別にみると、8月の26回、9月の22回、7月の13回で8-9の2ヶ月だけで48回、全体の68パーセントを占めている。そして中心が本県を通過した台風23回のうち約半数の11回が戦後から29年までの10年間に本県のどこかを直撃しており、しばらくの間、本県が『台風銀座』と言われたゆえんである。(図-5参照)



さらに、昭和24年当時の宮崎県における状況について述べると、昭和24年は台風のあたり年で、6月にデラ台風、7月にフェイ台風、8月にはジュディス台風が来襲し、水に対する脆弱性の特性をもつシラス地帯に異常な降雨があり、稀有の大災害が発生し、宮崎県の被害総額は実に12,647,517円に達し、農地・農業施設関係被害額は2,207,786千円であった。

都城地方における平均年雨量は、2,255.8mm（昭和14-24年10年間平均）に対し、デラ、フェイ、ジュデイスの三つの台風は僅か10日間で1,057.5mmの降雨を来し、これらの台風のみで年間降雨量の約半数近くの降雨を伴ったことになる。

の台風のみで年間降雨量の約半数近くの降雨を降ったことになる。

従来、シラス台地の畑地利用は、地表水を出来るだけ台地上に於て、地下に浸透させるように、等高線に沿って畦畔が設けられ、台地から谷に流れ込むところでは分散して広く浅く流すように極く自然に流れていたが、終戦から食料増産のため、無理な農地利用が行われて、畦畔はとりはられ、緩傾斜の畑となり、シラスの崖端まで耕地化し、そのため水を自然に分散させることが困難となり、それまで安定していた斜面のバランスを破って、崩壊を招く原因ともなった。

— 10 —

2) 農地保全事業実施状況

本県における農地保全事業は、表-3のとおり農地侵食防止工事（シラス対策、特殊土壌対策、急傾斜対策）、特殊農地保全整備工事を実施している。

①シラス対策

鹿児島県・宮崎県主体の事業で、昭和25年着工した県営小谷（小谷頭）地区が本県第1号であり、現在までに完了地区169地区（受益面積11894ha）、継続地区12地区（受益面積761ha）を実施している。

②特殊土壌対策

県営本城地区の昭和41年着工を皮切りに、現在までに完了地区35地区（受益面積3,066ha）継続地区40地区（受益面積3,360ha）である。

③急傾斜対策

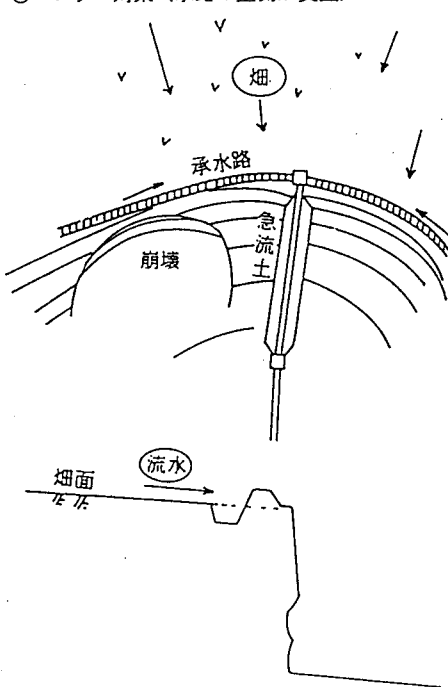
昭和47年着工の県営仁田尾地区が第1号で、現在までに完了地区20地区（受益面積1,167ha）継続地区31地区（受益面積1,863ha）である。

④特殊農地保全整備

農地保全と合わせて、圃場整備、畑地かんがい等を総合的に実施して、なお一層の防災効果と営農改善を目的として、土地基盤整備事業の総合効果を上げるために創設されたもので、鹿児島県と宮崎県のみが実施できる特有な性格を持った事業で、本県においては、昭和43年着工の県営大東原地区が第1号で完了地区10地区（受益面積2,818ha）、継続地区10地区（受益面積1,350ha）である。

以上のことから、宮崎県における農地保全全体では、昭和25年から約40年間に327地区（受益面積26,270ha）に及びそのうち完了地区234地区（18,945ha）、継続地区93地区（受益面積7,334ha）となっている。

① シラス対策（水路の上側が受益）



② 急傾斜及び特殊土壌対策

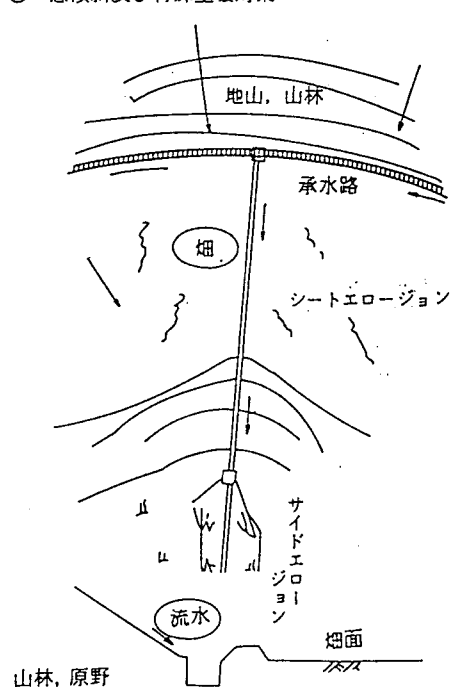


図-6 基本的なテラス承水路の配置図

表-3

県営農地保全整備事業（管内・完了・継続）地区調査

管内名	区分	シラス対策			特殊土壌対策		
		地区数	受益面積	総事業費	地区数	受益面積	総事業費
			ha	千円		ha	千円
北 諸	完 了	94	6,924	10,926,431	7	555	2,557,891
	継 続	1	39	240,000	12	801	3,863,000
	計	95	6,963	11,166,431	19	1,356	6,420,891
西 諸	完 了	57	3,526	14,513,079			
	継 続	7	510	3,264,000	9	642	4,435,000
	計	64	4,036	17,777,079	9	642	4,435,000
中 部	完 了	12	1,063	3,311,738	14	1,044	3,691,078
	継 続	4	212	1,542,000	3	199	1,806,000
	計	16	1,275	4,853,738	17	1,243	5,497,078
児 湯	完 了				6	789	3,114,770
	継 続				11	1,450	7,205,000
	計				17	2,239	10,319,770
南 那 珂	完 了	6	381	1,125,150	2	174	630,901
	継 続				2	119	1,131,000
	計	6	381	1,125,150	4	293	1,761,901
東 白 井	完 了				5	407	2,347,642
	継 続				2	104	1,257,000
	計				7	511	3,604,642
西 白 井	完 了				1	97	843,548
	継 続				1	45	431,000
	計				2	142	1,274,548
計	完 了	169	11,894	29,876,398	35	3,066	13,185,830
	継 続	12	761	5,046,000	40	3,360	20,128,000
	計	181	12,655	34,922,398	75	6,426	33,313,830

平成4年4月現在

区 分	急 傾 斜 対 策			特 殊 農 地 保 全			計		
	地区数	受 益 面 積	総事業費	地区数	受 益 面 積	総事業費	地区数	受 益 面 積	総事業費
		ha	千円		ha	千円		ha	千円
完 了				1	384	1,122,701	102	7,863	14,607,023
継 続	1	106	843,000				14	946	4,946,000
計	1	106	843,000	1	384	1,122,701	116	8,809	19,553,023
完 了	4	170	1,066,000	2	319	1,200,916	63	4,015	16,779,995
継 続	3	124	985,000	1	169	1,460,000	20	1,445	10,064,000
計	7	294	1,971,000	3	488	2,660,916	83	5,460	26,843,995
完 了	2	139	633,647	1	201	1,240,531	29	2,447	8,876,994
継 続				8	1,023	10,157,000	15	1,434	13,505,000
計	2	139	633,647	9	1,224	11,397,531	44	3,881	22,381,994
完 了				4	1,408	5,808,662	10	2,197	8,923,432
継 続	6	348	2,306,000	1	158	1,261,000	18	1,956	10,772,000
計	6	348	2,306,000	5	1,566	7,069,662	28	4,153	19,695,432
完 了	5	372	3,536,000	1	410	564,870	14	1,337	5,856,921
継 続	10	689	7,591,000				12	808	8,722,000
計	15	1,061	11,127,000	1	410	564,870	26	2,145	14,578,921
完 了	9	486	3,530,942				14	893	5,878,584
継 続	7	309	2,710,000				9	413	3,967,000
計	16	795	6,240,942				23	1,306	9,845,584
完 了				1	96	1,139,575	2	193	1,983,123
継 続	4	287	2,479,000				5	332	2,910,000
計	4	287	2,479,000	1	96	1,139,575	7	525	4,893,123
完 了	20	1,167	8,766,589	10	2,818	11,077,255	234	18,945	62,906,072
継 続	31	1,863	16,834,000	10	1,350	12,878,000	93	7,334	54,886,000
計	51	3,030	25,600,589	20	4,168	23,955,255	327	26,279	117,792,072

5. 農地保全の事業効果

1) 防災の効果

(1) 県全体における調査事例

農地保全を実施すると、土壌侵食及び災害防止は勿論、営農、農道の利便性等について地元農家から大変感謝されているが、その効果を数値で表現するのは難しい。あらゆる事業について言えることであるが、事業推進はするが、効果の追跡調査はあまり実施していないのが現状ではないだろうか。

そこで、事業実施区域と未実施区域における災害状況について調査した事例について述べる。

県内44市町村について、事業実施区域と未実施区域に分け農地・農業用施設災害との査定額の関係を平成元年度から平成3年度までの資料にて調査した。

なお、農地保全の未実施7市町村は対比が出来ないので調査結果から除外した。集計にあたっては、各市町村毎から管内毎にまとめ、県内をシラス地帯（北諸県、西諸県）、特殊土壌地帯（中部、児湯）、急傾斜地帯（南那珂、東臼杵、西臼杵）に大別したのが表-4、表-5である。

若干の数値のバラツキはあるが、平成元年度から平成3年度を合計した場合では、事業実施区域と未実施区域での災害査定とを対比すれば、

① シラス地帯	1 : 2.3	(86千円/ha:200千円/ha)
② 特殊土壌地帯	1 : 2.1	(64千円/ha:136千円/ha)
③ 急傾斜地帯	1 : 4.1	(54千円/ha:224千円/ha)

となり、事業の実施効果が窺える。

平成元年度から平成3年度までの3年間に於いて、未実施地区では災害の発生があったが、実施地区で災害の発生がなかったところが25（37*3=111のうち25）市町村あった。このことから事業の効果の表れと考えられる。

表-4 農地保全事業の実施状況

管内名	事業名 市町村名	農地地面積 ha				農地保全		
		体						
		水田	畑	樹園地	計	実施済	未実施	実施率
元～3年度計		33,021	26,865	7,143	67,029	20,340	46,689	30.0
シラス	北諸県	7,764	8,093	421	16,278	8,029	8,249	49.0
	西諸県	6,199	6,742	1,058	13,999	4,007	9,992	29.0
	小計	13,963	14,835	1,479	30,277	12,036	18,241	40.0
	特殊土壌							
中部	児湯	5,086	3,057	1,151	9,294	2,455	6,839	26.0
	小計	6,362	6,011	1,744	14,117	3,406	10,711	24.0
	急傾斜	11,448	9,068	2,895	23,411	5,861	17,550	25.0
南那珂	東臼杵	3,718	1,547	1,457	6,722	1,393	5,329	21.0
	西臼杵	2,673	811	1,021	4,505	857	3,648	19.0
	小計	1,219	604	291	2,114	193	1,921	9.0
	小計	7,610	2,962	2,769	13,341	2,443	10,898	18.0

表一五 農地保全事業と災害査定状況

管内名	事業名 市町村名	平成元	～3年度発生災害の査定額(千円)		ha当たり		比率		備考
		全 体	農 地 実施済	保 全 未実施	実施済	未実施	実施済	未実施	
元年度									
計		3,098,989	442,764	2,656,225	23	56	1.0	2.4	
シラス	北諸県	864,767	208,532	656,235	27	76	1.0	2.8	
	西諸県	808,833	130,288	678,545	36	65	1.0	1.8	
	小計	1,673,600	338,820	1,334,780	29	70	1.0	2.4	
特殊土壌	中 部	618,272	80,937	537,335	33	77	1.0	2.3	
	児 湯	138,629	1,390	137,239	0	12	1.0	12.0	
	小計	756,901	82,327	674,574	14	37	1.0	2.6	
急傾斜	南郡珂	476,930	6,673	470,257	5	85	1.0	17.0	
	東白杵	155,386	14,944	140,442	19	51	1.0	2.7	
	西白杵	36,172	0	36,172	0	18	1.0	18.0	
	小計	668,488	21,617	646,871	9	63	1.0	7.0	
2年度									
計		5,619,734	806,841	4,712,893	45	99	1.0	2.2	
シラス	北諸県	1,761,091	370,632	1,390,459	46	165	1.0	3.6	
	西諸県	530,202	186,740	343,462	49	33	1.0	0.7	
	小計	2,291,293	557,372	1,733,921	47	93	1.0	2.0	
特殊土壌	中 部	1,627,435	260,057	1,367,378	106	199	1.0	1.9	
	児 湯	215,675	14,425	201,250	4	18	1.0	4.5	
	小計	1,843,110	274,482	1,568,628	47	88	1.0	1.9	
急傾斜	南郡珂	1,104,242	37,824	1,066,418	28	197	1.0	7.0	
	東白杵	331,109	32,775	298,334	40	80	1.0	2.0	
	西白杵	49,980	4,388	45,592	22	23	1.0	1.0	
	小計	1,485,331	74,987	1,410,344	32	127	1.0	4.0	
3年度									
計		1,329,990	207,272	1,122,718	10	24	1.0	2.4	
シラス	北諸県	373,775	90,247	283,528	11	34	1.0	3.1	
	西諸県	355,947	57,687	298,260	14	29	1.0	2.1	
	小計	729,722	147,934	581,788	12	31	1.0	2.6	
特殊土壌	中 部	146,128	20,285	125,843	8	18	1.0	2.3	
	児 湯	24,260	1,825	22,435	0	2	1.0	2.0	
	小計	170,388	22,110	148,278	3	8	1.0	2.7	
急傾斜	南郡珂	141,829	5,730	136,099	4	25	1.0	6.3	
	東白杵	231,050	19,149	211,901	22	58	1.0	2.6	
	西白杵	57,001	12,349	44,652	63	23	1.0	0.4	
	小計	429,880	37,228	392,652	15	36	1.0	2.4	
元～3年度									
計		10,048,713	1,556,877	8,491,836	76	181	1.0	2.4	
シラス	北諸県	2,999,633	669,411	2,330,222	83	282	1.0	3.4	
	西諸県	1,694,982	374,715	1,320,267	93	132	1.0	1.4	
	小計	4,694,615	1,044,126	3,650,489	86	200	1.0	2.3	※
特殊土壌	中 部	2,391,835	361,279	2,030,556	147	296	1.0	2.0	
	児 湯	378,564	17,640	360,924	5	33	1.0	6.6	
	小計	2,770,399	378,919	2,391,480	64	136	1.0	2.1	※
急傾斜	南郡珂	1,723,001	50,227	1,672,774	36	313	1.0	8.7	
	東白杵	717,545	66,868	650,677	78	178	1.0	2.3	
	西白杵	143,153	16,737	126,416	86	65	1.0	0.8	
	小計	2,583,699	133,832	2,449,867	54	224	1.0	4.1	※

2) 高岡町における調査事例

本町の事業実施区域と未実施区域と事業に該当しない区域を3区分して、平成2年発生（2回の台風）の農地・農業用施設災害の被害ヶ所、被害額、査定額との関係について、調査した結果について述べる。

イ. 農地面積

水田736ha 畑312ha 樹園地 716ha 全体面積 1,764ha

ロ. 実施区分

実施区域面積 410ha 未実施区域面積 361ha 該当しない面積 993ha 計 1,764ha

(1) 台風19号については、災害発生件数、被害額、査定額とも少なく、しかも農地保全事業実施区域では、災害が発生しなかった。

(2) 台風20号は発生件数、被害額、査定額とも多かった。

① 農地保全実施区域と未実施区域とを対比すれば

h a 当たり被害ヶ所数との比率は1 : 2 . 3	(0.09ヶ所/ha:0.21ヶ所/ha)
h a 当たり被害額の比率は1 : 3 . 6	(227千円/ha:817千円/ha)
h a 当たり査定額の比率は1 : 3 . 2	(149千円/ha:479千円/ha) と

なり、災害に対する保全効果があらわれていると認められる。

② 農地保全事業の対象となりえない区域、すなはち水田を中心とした比較的災害発生が少ない平地部と比較しても、

h a 当たり被害ヶ所数は0 . 11ヶ所/ha	とほとんど変わらないが
h a 当たり被害額の比率は1 : 1 . 8	(227千円/ha:471千円/ha)
h a 当たり査定額の比率は1 : 2 . 0	(149千円/ha:294千円/ha) と

なり、一例ではあるが、農地保全事業が県土の防災、保全に寄与していると思われる。

表一6 平成2年までに農地保全事業を完了した面積

地区名	事業名	着工年度	完了年度	面積 (ha)
伊勢原	シラス (県営)	S. 34	S. 36	50
小田元	"	S. 36	S. 38	51
中山東	"	S. 57	S. 62	27
中山西	"	S. 57	S. 62	69
高浜	"	S. 53	H. 24	137
仁田尾	急傾斜 (県営)	S. 47	S. 54	64
小計				398
一里山	特農 (県営)	S. 60	完了分	12
計(7)				410

*昭和60年3月31現在の農業基盤整備対策基本調査による。

表一 7 農地保全事業未実施区域

地 区 名	事 業 名	着工年度	完了年度	面積 (ha)
一 里 山	特農 (県営)	S. 60		49
長 野 原	シラス (県営)	H. 2		62
ゆすの木	"	H. 4		35
内ノ八重	"	H. 5		25
内 山 西	特農 (県営)	H. 5		51
内 山 東	"	H. 6		54
上 ノ 原	農地保全 (団)	後		15
小 計	7 地区			291
	長期計画 (要整備) にはないが保 全対象となりうる面積			70
計				361

表一 8 平成 2 年発生台風 1 9 号 (9/18-9/19) による被害額
19号台風 24時間雨量200mm 時間最大雨量26mm

対称区域	面積	被 害	被 害 額		h a 当たり		
		ヶ所数	被害額	査定額	被害ヶ所数	被害額	査定額
高岡町全体	ha 1764	ヶ所 23	百万円 64	百万円 45	0.01	千円 36	千円 26
農地保全 実施区域	410	0	0	0	0	0	0
未実施区域	361	5	4	3	0.01	11	8
上記に該当 しない区域	993	18	60	42	0.02	60	42

表一 9

平成2年発生台風20号(9/28-9/29)による被害額
20号台風 24時間雨量500mm 時間最大雨量43mm

対称区域	面積 ha	被害 ヶ所数	被害額		ha当たり		
			被害額	査定額	被害ヶ所数	被害額	査定額
高岡町全体	1764	224	856	526	0.13	千円 485	千円 298
農地保全 実施区域	410	35	93	61	0.09	227	149
未実施区域	361	75	295	173	0.21	817	479
上記に該当 しない区域	993	114	468	292	0.11	471	294

以上2事例の調査から、農地保全実施区域と未実施区域と対比した結果、1:2-3と同じ傾向を示し、防災の効果が考えられる。

2) 関連農道の効果

シラス地帯、特殊土壌地帯における農道は、一度降雨があると路面が軟らかく走行困難となる。また、大雨では侵食等の災害を受けて、維持管理に苦勞していたが、関連農道の実施により、大型機械の搬入が可能になりその効果は大きい。

特に急傾斜地帯においては、道路が少ないうゑに、降雨によって路面の侵食が増幅し易いところである。関連農道は農業用道路としてはもとより、唯一の貴重な生活道路の役割も果たし山間地における集落の生活環境に大きく寄与し、その効果については図り知れないものがある。

この他に、農地の保全は勿論であるが、支線道路の役割を果たす水兼農道、耕作道路としての平方水路も関連農道と同じように、地元農家から大変喜ばれており、その効果は大きい。

3) 事業費の効果

総事業費は表-3 のとおり、完了地区が62,906,072千円、継続地区が54,886,000千円である。継続地区のうち平成3年度までは25,030,751千円の進捗であり、昭和25年から平成3年の42年間に87,936,823千円が投資されている。これを現在の貨幣価値に換算すれば、さらに大きな金額となり、本県経済の発展に寄与していると考えられる。

また、平成3年度の農地保全について、耕地課予算(図-7参照)からみると、農地保全が全体の1/4を占め、現在においても耕地課の中心的事業として重要な位置を占めている。

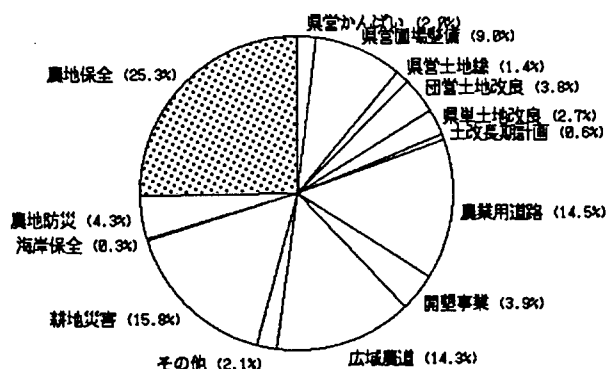


図-7 平成3年度耕地課予算

6. あとがき

本県においては、近年マルチ栽培の普及が著しく、流出量の増大、到達時間短縮等の現象が起きており、事業実施完了地区、継続地区それぞれの新たな検討が必要になろう。

また、農地保全施設の維持管理が適切に行なわれないと、施設を作ったことによりかえつて、効果どころか災害を促進させることにもなりかねない。そこで、地元農家は、施設の機能・効果を熟知してもらい、積極的に維持管理に努める必要がある。

さらに、地表水を安全に流す従来の人工的、効率的なコンクリート水路ばかりだけでなく、魚、ホタルの生息等も考慮した自然環境の保存という観点からも検討すべきだろう。

農地保全事業は面的侵食、細流侵食による圃場内の土壌流亡の防止とガリ侵食、法面崩壊を受けた農地の保全とその安全を図るだけでなく、災害防止、関連事業の利便性の発現等もあり極めて重要な事業であるので、今後とも、事業を積極的に推進したい。

最後に本文をまとめるに際し、中部農林振興局はじめ関係者の方々に御協力を戴きました、ここに感謝申し上げます。

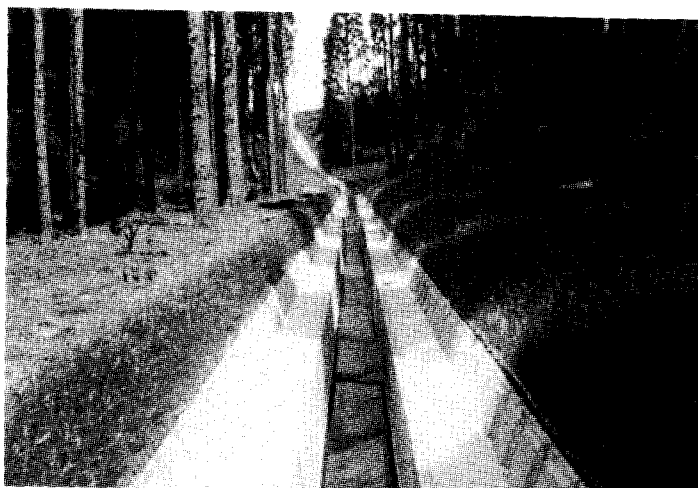


図-8 農地保全整備事業 急流工写真

参考文献

- 1) 宮崎県土地改良史編纂委員会：宮崎県土地改良史 S53-1
- 2) 宮崎県：宮崎県の気象 S34-3
- 3) 宮崎県農政水産部：宮崎21世紀農業プラン H 3-3

シラス法面における新しい植生工法

総合緑化株式会社

常 村 忠 生

1、シラスと植生

シラスの土質特性についてはすでに多くの機関や専門家により調査解析がなされ、夫々専門書や学会誌で発表されているのでここで改めてくりかえすことは差し控えたい。

昭和40年頃からシラス地帯での土工量は著しく増加したが、比例して法面の降雨災害も顕著になってきた。昭和51~52年にかけて建設省では85ヶ所の切土法面の実態調査を行い、その資料に基づいて土質工学シラス基準化委員会で、単純に指標硬度による「地山シラス判別分類に基く切土工の設計指針案」がまとめられたが、現在では、土工設計施工指針の中で、シラスの分類とその土工の標準として表-1の通り示されている。

表 1

切土のり面の勾配と保護工の標準

分類		し　　ら　　す				そ　　の　　他			
		種軟質しらす	軟質しらす	中硬質しらす		硬質しらす	溶結凝灰岩	火山灰質粘性土	軽石質
硬　　度		20以下	20~25	25~30		30~33	33以上	—	—
				植生が容易	植生が難しい				
湧水がない場合	勾配(‰)	1.0~1.5	0.8~1.2	0.8~1.2	0.5~0.8	0.5~0.8	0.5以下	1.0~1.5	1.0~1.5
	のり面 保護工	のり砕果石 (ブロック)張り コンクリート張り	植生穴工 植生マット 張　　芝	植生穴工 植生マット 張　　芝	しらす セメントモルタル 吹　　付　　け	しらす セメントモルタル 吹　　付　　け	無　　処　　理	張　　芝 植生マット 種子吹付け	のり砕果石 (ブロック)張り コンクリート張り
湧水がある場合	勾配(‰)	1.0~1.5	1.0~1.2	1.0~1.2	1.0程度	1.0程度	0.5以下	1.0~1.5	1.0~1.5
	のり面 保護工	のり砕果石張り ブロック空張り コンクリート張り 排水処理	のり砕果石張り ブロック空張り コンクリート張り 排水処理	張　　芝 ブロック張り コタクリート 張　　芝 排水処理	のり砕果石張り ブロック空張り コンクリート張り 排水処理	のり砕果石張り ブロック空張り コンクリート張り 排水処理	無処理	張　　芝 植生マット 種子吹付け 排水処理	のり砕果石張り ブロック空張り コンクリート張り 排水処理

実態調査はその後も引継がれ、58年には指針案に基づく報告がなされている。

シラス切土法面は、刈 侵食を防ぐため採用されてきた直立斜面（85° 鰹）と、植生工を併用するための小段を多く施した60°前後の斜面が主なものであったが、これらについて、調査報告書は多くの問題点があると指摘している。（表－2 参照 次頁）

一方昭和48年末 供用開始した九州自動車道（加太～田園）では、十分な排水設備を施した上で45°勾配の植生工を行った。その後えびの～高原間でも同様の基準で施工され、経過は順調で安定しているとある。

表－3

（表－3 参照）

工 種	土質 深度 (mm)	のり面 勾 配	のり面保護工の現在の状況			
			裏見島～溝辺	溝辺～えびの	えびの～高原	高原～郡城
張 芝 工	20～23	1:1.0	——	——	——	・生育良好である
	23～25	1:1.0	・生育良好であるが 雑草がかなり生えている。	——	・生育良好であるが、 一部芝が退化し雑 草が繁殖している	——
	25～28	1:1.0	——	——	・生育不良で雑草も 殆んど生えてない	——
植 生 穴 工	17～25	1:1.0	——	——	——	・生育良好である
	25～30	1:1.0	——	・生育良好である	・退化し雑草が繁殖 している	・生育良好である
	30～35	1:1.0	・湧水のある箇所は 生育良好であるが、 その他は退化し雑 草が生えている箇所 と生えてない箇所 あり	・生育良好である	——	——
	35～	1:0.8	・退化し雑草が一部 生えている。	——	——	——
のりわく工 中詰 土砂 セルタル ブロック	15～25	1:1.0	——	——	・良好である 雑草がかなりはえ ている。	・良好である。
		1:1.0	・良好である	——	——	——
		1:1.0	・一部湧水箇所では ブロックが陥没して いる箇所がある。	・良好である	・一部ブロックが陥 没している箇所が ある。	・良好である。
種子吹付工	26	1:1.0	——	——	・生育良好であり 一部雑草が生えている	——
コンクリート吹付工	35～	1:0.5	・良好である。 一部湧水あり	——	——	——

表 2 のり面詳細調査結果一覧表

のり面番号	緩み深さ (cm)	風化・ 指数 硬度 (mm)	しらす分類	災害履歴	の		
					段数	勾配	保護工
7	40~100	28 (24~30)	中硬質	44.6.30・・・崩壊 55.7.8・・・崩壊 57・・・崩壊再発	1 段	0.5	植生留壁+ネット
14	10~20	30 (29~31)	硬質	51.6.25・・・崩壊 54.7.12・・・崩壊 55~58年・・・ハクリ、ガリ	1 段	0.3	無処理
16	5~140	26 (16~17)	中硬質	ナシ	1 段	0.6	モルタル吹付け
		18	極軟質		2 段	1.0	植生
23	70~130	31	硬質	47.7.6・・・崩壊	1 段	1.0	砕+植生 植生
		26	中硬質	51・・・客土洗戻 52~58年・・・同上	2 段	1.0	
		—	—		3 段		
25	10~20	33 (32~34)	硬質	54・・・側溝の埋戻し土流失	1~4 段	1.0	張芝
		26	中硬質		5~6 段	1.0	
		17	極軟質		7~8 段	1.0	
39	20~110	34 (32~36)	熔結凝灰岩	54.6.19・・・崩壊	1 段	0.3	無処理
		17 (17~18)	極軟質	55~58・・・小崩壊	2 段	1.5	
44	10~90	25	中硬質	54.7.5・・・崩壊	1 段	0.8	砕・ブロック 植生 植生
		23	軟質	54.7.12・・・崩壊	2 段	0.8	
		29	固結スコリア (軟質?)	崩壊・ガリ・洗戻多数	3 段	0.8	
		—			4 段	0.8	
45	110~150	19 (17~21)	極軟質	55・・・植生ずり下り	1 段	0.6	植生一部砕工
		24	粘土質ローム	56~57・・・植生脱落	2 段	0.6	植生
48	30~120	30 (28~31)	中硬質	ナシ	1.2 段	0.5	擁壁モルタル吹付け
		29	中硬質		3 段	1.0	植生
84	30~60	29 (27~30)	中硬質	55.7.13・・・崩壊	1 段	0.7	植生一部モルタル

面	排水工	維持・管理	後背地	問題点	将来の見通し、対策等
被災・変状					
・表土のずり下り。 ・小崩壊跡有り。	ナ シ	普通	低下 (雑木・杉)	風化が進み、表土が少しづつ下っている。	崩壊を起す可能性有り 切直し、又はモルタル吹付け。
・ガリ侵食が進行。 ・特にハクリ崩壊有り。	ナ シ	普通	台地 (畑)	ガリ侵食が著しい。 剥離型崩壊も起こっている。	のり面は漸次劣化している。 モルタル吹付等を要す
・モルタルが劣化し、金網が現れている。 ----- ナ シ	小段に側溝 一部土砂堆積。	普通	台地 (畑)	モルタル劣化が進んでいる。 クラック・剥離多し。	現況は安定している。 将来は安再吹付けを必要としよう。
客土の洗屈多し ----- ナ シ	小段に側溝	良	台地 (畑)	客土にシラスを使用。 砕土が浮いた所有り。	のり面崩壊の恐れ有り 客土洗屈部の補修。
・活着不良。表面侵食有り。 ・一部活着不良。 ・侵食有良。 ・活着良	小段に側溝。 (土砂堆積)	悪い 土砂の除去を要す	台地 (雑木・杉)	7～8段を除き植生は困難。 表面侵食を受けている	少しづつ侵食を受けている。 側溝の管理に注意。
・表面ハクリ ・崩壊・ガリ継続	ナ シ	普通	傾斜地 (雑木)	テシヨククラックが生じ易い。 降雨時に湧水有り 崩壊・ガリ進行	不安定であり、切直し 保護工を要す。
・1～3段・・・植生脱落・ 表層滑落多発 ・4段・・・シラスの大きな崩壊・ ガリ・洗屈多く側溝破損	小段に側溝 (土砂堆積) 一部洗屈	不良	台地 (畑)	粘性土・ローム・シラスが分布。 湧水多発。 崩壊・植生脱落多発。 洗屈されている 側溝深く埋没。	側溝機能不備。 崩壊の危険有り。 側溝の維持・のり面保護を要す。
・植生脱落有り。 ・表層の小変状有り。	小段に側溝	良	台地 (畑)	シラスの緩みが深い。 植生の滑落多し。	急勾配で植生不安定。 砕土等が望まれる。
・クラック・ハクリ有り。 ナ シ	小段に側溝 (土砂堆積)	不良 土砂の除去を要す	山地 (雑木)	側溝の土砂除去。	安定。
・表土のずり下り。	のり肩側溝。 縦排水溝。(埋戻し土の洗屈)	普通	台地 (雑木)	ツルの下は植生不良。	風化進み、植生活着の不安定。 砕土等が望まれる。 又はモルタル吹付け。

以上の報告を比べると、特に水に弱いシラス法面における植生工の成否は、勾配を緩やかにする(1:1~1:1.2)ことと、排水設備を十分に設けるの二点に大きく関わっていると考えられる。

組成の大部分がガラス粒子で成るシラスは、もともと植物栄養に欠けるが、勾配が急になれば更に条件は厳しくなる。

自然状態のいわゆる地山シラスの工学的性質は決して均一なものでなく、溶結の程度や物理的性質によって微妙に変化し、植生にも影響を及ぼす。

しかし、シラスにおける法面植生の歴史はたかだか10~20年に過ぎず、すべての法面の将来について一様な予測や判断ができるとは思えない。自動車道で良好な経過を示しているとしても、もしこれが不断の維持管理の決果であるとすれば、これをただちにすべての法面にあてはめる訳には行かない。人も予算も限りがあるし、本来維持管理を要せず自立展開していくのが、植生工の目的であった筈である。

◎ 法面の環境

植生は世代更新を通じて自らの環境を整えてゆくが、それが順調に行われるかどうかはほとんど水にかゝっていると言っても過言ではない。養分があっても水がなければ吸収できない。法面で勾配が急になれば尚更水分を保ちにくく、スレスレは大きくなる。次に水スレスレに追い打ちをかけるのは温度である。同じ水分量でも温度が高くなれば(25℃以上)、代謝活動が旺盛になり、葉脈の気孔が開いて蒸散量が増える。また土中でも微生物や菌類の活動が活発になり、分解消耗が烈しい。本土や九州地域の法

面では、標高400~500m以上の山地の方が、平野や海岸部よりも植生の定着率が高い。これは、低緯度ほど難しくなり、因みに沖縄の自動車道の植生は国内でも最も貧弱である。

以上の傾向から、南九州のシラス植生は決して優しくはないと言える。

◎ 硬度の関係

指針では、軟質、中硬質ともに硬度27m/mまでを植生可能、それ以上の硬度では困難となり、ソイルメント等で密閉工とするよう推奨している。これはシラスに限らず一般土壌でも共通していることであり、特に注目すべき点はない。ただシラスは特殊土壌であり、そのための阻害要因は無視できないと思う。

すなわち、シラスの大部分は破碎したガラス片状粒子からなり、これに軽石が加わっている。ガラス片は表面が滑らかで形状が角張っているのが特徴である。地山シラスの強度は、粒子間の化学的膠着成分に依らず、インターロッキングあるいは構造効果に起因すると言われている。

このため不飽和と飽和時の強度差は極端にでる。(これは林の胴と考えられる)

次に普通砂と比べて間隙比が大きい割には透水係数が小さい。これはシラスの流路の屈曲度が高いことを示している。屈曲度が高いと、密実状態では植物根の伸長を阻害する。硬度が高いほど厳しくなることは確かで、固結シラスは既に述べたように通水も保水も難しく、そのままでは不可能かも知れない。しかし、ソイルメントでも経年劣化は免れず、いずれは再施工をせまられる。

矛盾した話のようであるが、勾配を緩やかにし、必要な手当を施せば、

硬度の問題だけで植生をあきらめる必要はないと思う。

たとえば、法切時に段切りしたり、ジェット 水で傷をつけるとか、或るいは厚層基材を吹付けて根圏域を確保するなどが考えられる。

2、多機能フィルター (Multi-Function Filter以下 M・F・F)の概要と意義

イ 製品の概念

良く成育した芝生を掘り起こすと、地下の0~10cmの土は毛細根で充滿して、いわゆるルートマット 層が見られる。土粒子は毛細根に搦まれて容易に離れない。茎葉による地被効果と毛細根の拘束作用で、地表を水が流れても簡単には侵食せず、みごとに土壌を保全している。これを地表面の構造的な仕組みとして捉えれば、物理的に毛細根様の物質でマット構造を作れば、前述の芝ルートマット と同様な機能を期待できる。

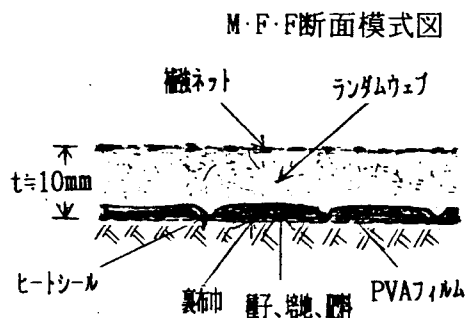
M・F・Fとは 植生前段階の侵食防止、及び土壌保全の目的で開発したものである。

ロ 素材の構造

本製品の主要な部分は毛細根に似た短い化学繊維をランダム 配向の形でマット状に不織布化したものである。繊維はポリエステル製で変質せず極めて柔らかい。

繊維マット は空隙率97~98%のフィルター構造をしており、濡れても乾いても隙間は変わらず、ランダム 配向の繊維は土壌と馴染み且つ絡みやすい。

個々の繊維の形状は 湿潤時でもたわんだり、くっつくことのないよう中空の筒状をなしている。 このランダムウェブ は目付量45gで約10m/m、30gで約5m/mの厚さを保っており、斜面に張りつければそのままフィルター層を形成する。



ハ フィルター層の機能

i 侵食防止

- ① 雨滴衝撃に対して土粒子剥離の防止。 （緩衝効果）
- ② 表面流の加速を防止し、乱流や集中流による破壊を防ぐ。
（流下力の緩和、及び均等分散効果）
- ③ 透水性が高く、飽和状態でも余剰水を土中浸透させない。
（排水効果）

すなわちフィルター層は通気通水に優れると共に、濁水を出さず、侵食をおこさない。

（付属資料 山大研究報告参照）

ランダムウェブ が地肌に張りついて一体化すれば、芝生に似た状態を保てる。ポリエステル は耐候性が良く劣化しない。繊維の結絡部分は生分解性剤で接着されており、比較的早く消滅して繊維はバラバラになるが、流失することなく土粒子と絡みあい、やがて植物根も加わって更に強い根圏域を形成する。

但し、系外からの越流水やコナ部の集中水は別で水路等の排水設備まで代替するものではない。また、このフィルターは表面水を処理するのであって、湧水等の土中水や浸透水に伴う軟弱化に対応するものではない。

ii 気象環境の緩和

- ◇ 自然界では 降雨侵食のほか様々な気象変動による営力が作用する。 冬期 寒冷地では凍結に伴う霜崩れが必ずおこる。
本M・F・Fがどの程度までの凍結深に対して耐えられるかはデータ不足で はっきりしないが、現時点では15~20cmの凍結深では安全に保たれている。
- ◇ 次に風食があるが、国内では試験地に恵まれず、有意な結果は得ていないが、今年庄内砂丘や、鳥取砂丘で現地実験を予定している。 また、砂丘地ではないが、滋賀県田上山系禿禿地で現地施用試験を実施中で、自記式の温湿度センサー を セット し測定中である。
現地は風化花崗岩の急斜面でマ土が約5cm厚程あり、スルスル滑落中のところにM・F・F を設置している。標高450m地点で比叡おろしの風をまともに受ける地形である。

- ◇ 瀬戸内は国内でも比較的寡雨で、年によっては1ヶ月以上の旱魃にしばしば見舞われる。M・F・Fの下では旱魃時には種子発芽はできないが、地面を完全に干上らすことはなく、生えた苗まで枯らすことはない。

ニ フィルター層の効果

フィルター材そのものに植物養分は含まれていないが、土粒子を不動にし、粘土分の溶脱を防止すること、又その他の気象ストレスを緩和するなどの機能は土壤保全上有益と考えられる。筆者の経験では、越冬試験中環境的には全く生える筈のない場所で、蘇苔類が高い密度でしかも短期間に発生した事例を観察している。粘土を動かさず、直接日照や強風に晒さなければ、全く無機質の瓦礫地でも生物作用が始まり、表土化が促進されている。土壌化が進めば次の段階の植生は、より確実になることは間違いない。

ホ 多機能フィルターの植生力

法面工事は原則として生物的変成作用を受けていない心土を対象とし、植物養分に欠けている。

従って現在市販中の製品としては、フィルター機能だけでなく植生用には種子・肥料を装着したもの、及び現場の土質に応じて有機無機の土壤培養資材を所要量おり込んで、夫々の緑化レベルにあわせた品揃えをしている。

更に硬度30m/m以上の固結地盤で生育基盤を兼ねる要請に対しては、フィルターそのものを基盤とする厚層充填型のものもある。

へ 従来の植生シートとの比較

一般の植生シートもシートである以上、侵食に対してそれなりの被覆効果があるのは当然として、本質的には植生目的の資材であり、シートは補助材である。M・F・Fの目的は先ず、土壤保全であり、導入植生は暫定手段と考えている。土壤保全の効果がどの程度影響するかは、長い時間を要するので、今すぐの評価はできない。又M・F・Fがどの現場でどのくらいの期間機能するかもはっきりしていないが、素材（ポリエステル）自体の物性は非分解性であり、5-10年は耐えられると予想している。（現在3年経過している。）

3、土壤保全と植生の関係

生きている植物は時間とともに変化し、競争し、消長する。耕地で作物を栽培するようにはいかず、結局植物自身の生命力に任すしかない。

植生には混播が常識ではあるが、初期の天候次第で優先種はどのようにも変わる。自然環境は、常に均衡と多様性を保つよう作用する。

植物相が単純化したり、優先種が極端に繁茂すると、生態系が崩れるので必ず均衡作用が働いて反動が起こる。たとえばクローバーが寡占すれば自家中毒で間もなく全滅するし、イネ科の特定種に偏れば病害虫の大量発生を招いて枯れる等である。

そのように言うと如何にも植物は一方的に環境に翻弄されているかのように見える。

自然の植生群落は一見偶然とも無秩序とも見えるが、厳密には自然律に則っており、そこでは刈払ったり、除草剤を撒いてもたやすことはできない。

廃棄された道路の舗装面や、コンクリートの残骸に雑草の茂っているのを見かけることがある。水さえ供給されれば、土がなくてもミがたまり、細菌や植物は生きられることを示している。自然律とはそういうものであって地上では土がもっとも水を保ちやすく、植物はそこに生きるだけのことである。

急斜地である法面は水を保ちにくいし、雨が降れば水と共に土が流れる。それも微細な粘土や養分から抜けていくので残された粗い土は痩せ衰え、植生はますます困難になるという悪循環に陥ちいる。

人工の法面で、原形通りに植生をはかるとすれば、土を動かさず、且つできるだけ水を逃がさない処置を講じるのが、人間にできる唯一残された手段と言えないであろうか？

4、まとめ

シラス法面にとって水食が致命的でありながら、一方 植生の成立には水が不可欠である。

植生で法面保護を果すとすれば、先づこの矛盾を解決しなければならない。それは 降雨時の水~~レベル~~を制御し、しかもその水を少しでも長持ちさせることが必要である。

植生に先立って十分な水管理機能（土を流さず、また過乾にもしない）を果たし、植生を抑圧する種々の環境圧を緩和できれば、安定した植生に役立つ筈である。

土壌保全資材である多機能~~フィルター~~は以上のようなねらいのもとに開発された。これまで格子枠や~~マッシュ~~土留材など様々な保護材が供せられているが、

夫々に特長欠点を抱えている。表面侵食だけを目的とするなら、M・F・Fは施工簡便で信頼度も高いと思われるが、もちろん法面の現場は多種多様であり、万能という訳にはいかないし、できるだけ多くの現場の批判や助言を仰ぎながら、今後も製品改良を続けていく積もりである。

謝辞 この度、シラス法面での現地実験の機会を与えて下さるとともに、格別の御指導と御協力を賜った宮崎大学の細山田先生を始めとし、宮崎農林ほかの関係者の方々には深く感謝申し上げます。

参考文献

- 土質工学ハンドブック(1982)—————土質工学会
しらす基準化シボリュム法被用論文集(54・12)————土質工学会
のり面保護工に関する試験調査(89・1)————九州技術事務所

台灣における急傾斜地の土壤侵食対策について

台灣・國立屏東技術學院

黃 俊德・徐 森雄

一、はしがき

台灣は紡錘型の海島であり、緯度は北の $25^{\circ} 38'$ から南の $21^{\circ} 45'$ まで、経度は西の $119^{\circ} 18'$ から東の $122^{\circ} 06'$ までにわたっている。全島の面積は 3,598,976 ha あり、南北に走る中央山脈および台東山脈により東部は山岳が海岸まで迫り峡谷が発達し、西部の地勢はやや緩やかとなっている。傾斜を持つている土地の総面積は 2,651,238ha で全域の73.7% を佔めている。

日本とおなじように、地勢急峻で降雨の多い台灣では近年急激な人口増加の壓迫に伴って傾斜地の開發利用がますます盛んになって、林野面積が減少し、逆に傾斜地の農耕地が急速に増加している。

二、台灣の傾斜地の農業利用現状

台灣と日本の傾斜地農業は多少合い似ている。すなわち、土地は傾斜度が大きくて零細に分割されている。事實には、農地として利用されている農耕用地は、圖 1 に示めしている査定基準の最大勾配 55% を越えているのが多く、當然造林するべき土地に造林していないケースが多くなっている。

平均勾配 土壌有効深さ		(2° 51.7')(8° 31.8')(16° 42')(21° 48.2')(28° 48.6')					
		5% 15% 30% 40% 55%					
		一級	二級	三級	四級	五級	六級
90 cm	甚深層	宜農牧地一級	宜農牧地二級		宜農牧地三級	宜農牧地	宜林地五級
	深層			宜農牧地三級			
	50 cm	宜農牧地二級	宜農牧地三級	の		地宜農の牧二級	
	浅層				四	地宜農の牧二級	
20 cm	甚浅層			一級	地宜農の牧二級	林母は侵地岩下食五者が嚴級は硬重宜質或	侵食は嚴重者
侵食が極めて嚴重、崩壊、地すべり、脆弱母岩裸地等、加強保育處理すべき土地は加強保育地六級地。							

圖 1 台灣における傾斜地の土地利用限度基準

近年傾斜地に栽培されている主な作物は果樹、檳榔、茶、蔬菜などがある。果樹についてはまずバナナ、柑橘、荔枝、芒果、梅、李、梨、桃、リンゴなどがある。その中に土壤侵食がもっとも課題になっているのは梨山附近のリンゴ園、梨園（温帯品種）と水蜜桃園である。おもな原因は横貫道路の開通で傾斜を問わず、できうる限り、或る時は 45 度近く迄での山林地を無理に開墾して、果樹を植え付けているので栽培面積が急速に増し、1985 年の統計では 30,251 ha に達し、嚴重な侵食を誘發している。その栽培面積はおよそ台灣全域果樹面積の 20% を 占めしている。しかしながら最近數年間では貿易自由化に伴って舶來の果物が大量輸入しているので、果樹栽培面積はだんだん減少している。もちろん、傾斜が特に大きくて、樹園地の管理が難しい土地、又は土壤侵食で地力を失って生産が良くない所が先に放任されるのは言うまでもない。惜しいのは、追い付いてくるべきの造林事業も力足りない感じがする。

一方、過去五年間、栽培面積の伸び率が最も高い作物は檳榔である。栽培面積は 1963 年での 1,175 ha から 1989 年の 33,487 ha に増大し、台灣の農業生産値においては猪（ 24.3% ）、米（ 16.3% ）、雞（ 6.9% ）、甘蔗（ 3.5% ）、卵（ 3.3% ）、という順番の後に追い付いて第六番目（ 3.1% ）の産業となった。檳榔栽培にかかる労働力や資本が他の作物に比較して少なく、逆にその収益が高いのが誘因であろう。檳榔の分布區域について、面積は屏東縣（ 33% ）、南投縣（ 20% ）、嘉義縣（ 18% ）、花蓮台東兩縣（ 16% ）の順番となっているが屏東縣を除いた他の地域はみな傾斜地に分布している。

お茶も台灣の重要な傾斜地産業である。その分布は圖 2 に示めして

いるように主として北西區、北東區と中央山地に分布している。栽培面積については北西區がもっとも多く一度24,400 ha を越えたが、栽培位置の地勢が低いため、面積がだんだん減っている、北東區も同じような傾向を持っていて 3,800 ha 位にしか残っていない。中央山地には 1981 年から栽培面積が急速に増加し7,600 haに達している。最近茶道が盛んになって高山出産のお茶が人気を集めている。それ故海拔 1000～ 1500 mの傾斜地に集中しているお茶園の水土保持問題に大きな課題を召いている。

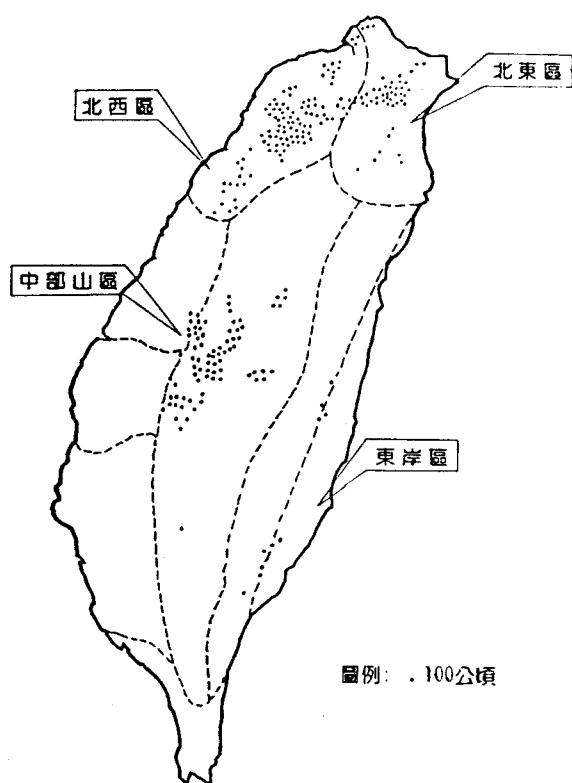


圖 2 台灣におけるお茶の分布

高冷地蔬菜の生産は主に南投縣の信義鄉、仁愛鄉及び台中縣の和平鄉に集中し、1986 年の栽培面積は 1,021 ha に達す。種類としてはキャベツ、大根、白菜、ピーマ等があげられる。栽培期は夏ごろでしかも降雨期であり、土壤侵食と環境汚染に大きく煩んでいる。容積量が一億五千萬 m^3 ある霧社ダム附近に栽培されているのでダムの土石淤積量が急激に増えている、1985年の調査では土砂淤積量は3,453萬 m^3 で、ダム最初容積量の 23% が埋没されたということである。

三、急傾斜地における土壤侵食の防止方法

以上申しました樹園地やそ菜バタケの土地所屬が國有林野では、みな掠奪式無斷開墾のため、全々保全處理が無視されて、侵食がはげしく、また厄介な社會問題になっている。土地所屬が私有地の場合では、先に土地利用の査定基準で林野地と農用地に區別し、林野地には造林を勧めているが、成績がかんばしくない。農用地では、色々な方法の保全處理を勧めている。しかし土地の傾斜が激しいので、使える保全方法も僅かで、効果も良くない。

1. 階段バタ：階段バタの歴史は古い。昔から急傾斜地を耕作しやすいようにする外、その絶好な保全効果も廣く認められている。しかし、台灣のように多雨量地區において成功と失敗の例が相ともなっているのが實情である。現場を考察しますと、果樹園に築けられた階段バタの形態は殆んど内傾斜で、その保全効果も比較的の良いようである

。その中、石垣工ノリ面の階段バタはやゝ永久性に見られるが、石垣材料が限られているので、草生ノリ面の方が多い。しかし高冷地において優秀な草生品種が見つからないので、今でもまだノリ面保護に煩んでいる階段バタが多い。

2.お茶バタケでは、殆んどが等高線に沿つて狭い(幅 1 m)階段を築いた後、茶苗を植えているので、成木になると侵食が比較的少ない。ただ苗木を植え後の數年間、地面の被覆が足りないので、矢張り激しい侵食を起している。

3.一番頭を痛んでいるのは、高冷地区のそ菜園である。外傾斜の階段バタが多く、その保全効果は全くない。數年間、連作すると、殆んどの表土が流されて、土地は放棄され、別の所に移つて行く。水平形、或いは内斜形の階段バタを勧めても、植え付け面積が大分減つてしまうので、聞き受けられない。

四、土壤侵食に関する研究

1.USLEについて

USLE式は 1965 年と 1978 年のアメリカの舊產品であり、その後、この式が不十分である理由で、一時は新しい別の預測式に方向を変えている學者が多くなつた。しかし最近では、再びこの式に關し大研究が再燃したばかりでなく、前より一層にその應用面に擴張している様である。

a. R 係數

降雨侵食指數は降雨が土壤侵食におよぼす影響の最も良い指數であると W.H. Wischemier が指摘した。台灣では著者らも、1979 年に全島

に分佈している 6ヶ所の測候所と 200ヶ所の雨量測定ステーションの降雨記録チャードにもとづいて、台灣各地の降雨侵食指數(R)を發表した。(圖 3に参考)これによると台灣各地の降雨侵食指數は西海岸地帯の約 600が最低、中央山脈の兩端では約 1000、中には 2000 を越えている所もある。アメリカにおいて、降雨侵食指數が最も多いカリビアン海沿岸各州である。それにしても、その降雨侵食指數は僅かに 550しかない、これに比べると、台灣はアメリカ南部倍以上に、降雨により土壤侵食の脅威を受けていることが甚だしいことがわかると同時に、台灣において土壤保全が必要と強く反映している。

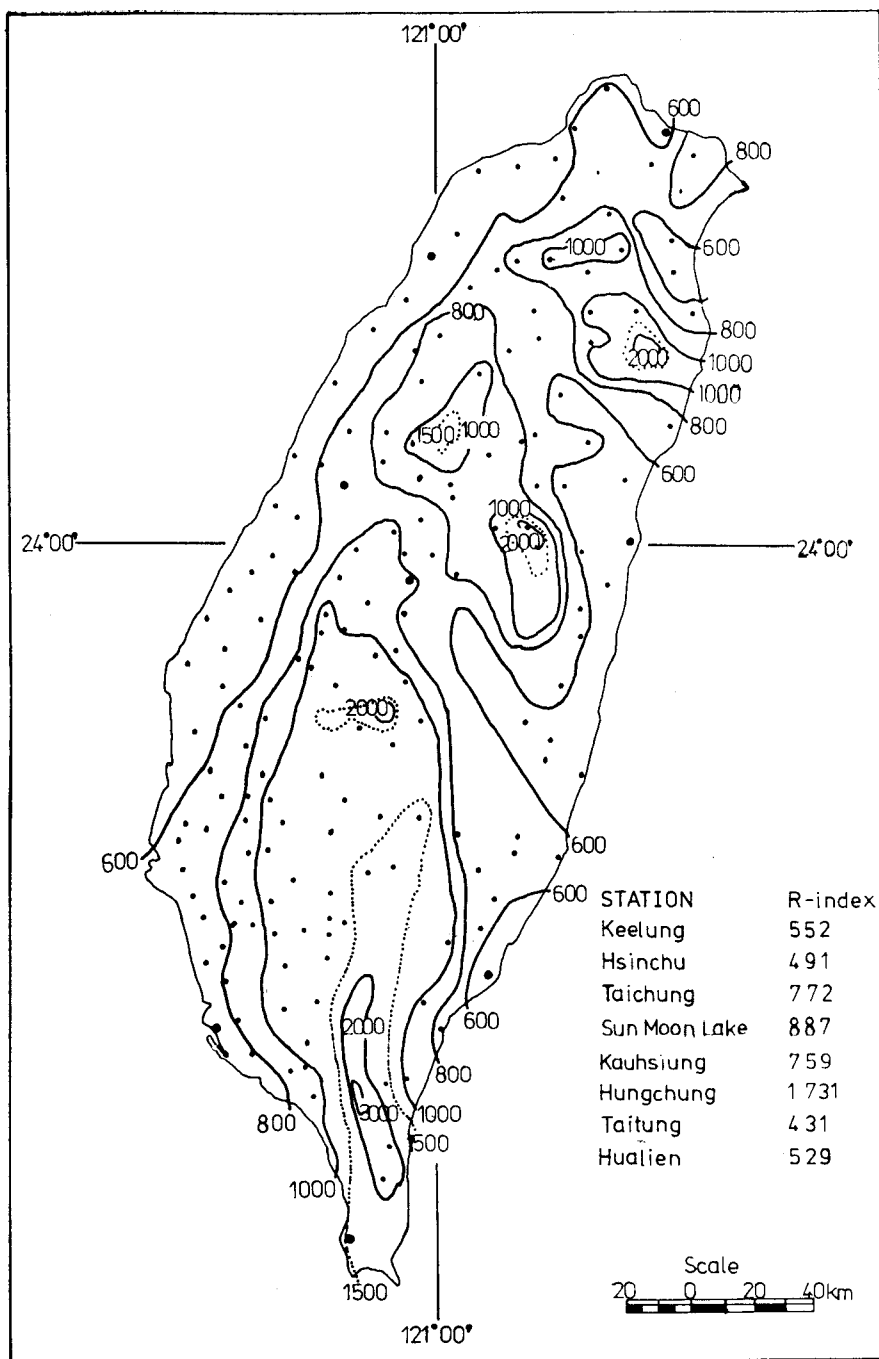


圖 3 台灣における降雨侵食指數分布

ましい。もちろん過去の野外実験で集めたデータはC、P係数を求めるが爲の実験ではないが、間接的に、幾分かそのCとP係数が求められると思う。しかしすべての作物管理係数のCと各保全方法のP係数を求め出すには、まだまだ年月が長い。

2. 急傾斜地の土壌侵食試験

今まで台湾における傾斜地の土壌侵食試験は勾配 40% 以下の緩傾斜地に氣を掛けて來た。しかしながら傾斜地農業は不正常に急傾斜地に發達しているのも事實であるし、緩傾斜地での試験データでその土壌侵食と作物の種類や作付方式又は降雨等の關係を解明するのは無理であろう、この由で私らは 1990 年の 6月に本學のキャンパスの東側急傾斜地に幅 4 m, 斜面長 22.13 m, 勾配 31° (約 60%) の試験プロットを 7ヶ所(A~G)、1990年の末に 3ヶ所(H~J)を完成した。各プロットの處理は次のとおりである。

- A. 果樹にバヒヤグラスで全面に植生する。
- B. 裸地(チェックとなる)。
- C. バヒヤグラスを全面に植生する。(果樹を植えてない)
- D. 果樹にバヒヤグラスで植生し、そして山邊溝を造る。
- E. 果樹を植えて地面はマルチも植生もしない。
- F. バヒヤグラスのベルトに果樹を中間に植付ける。
- G. バヒヤグラスのベルトの間に果樹を植付ける。
- H. Aと同様。
- I. 果樹を植えて雑草で全面植生する。
- J. 裸地(チェックとなる)。

以上10プロット(A~J)の中、G~Jの4ヶ所は去年(1991)7月の台風に破壊されて、その修繕工事は今年の正月に完成したばかりなので、去年の土壌侵食に関するデータが部分欠けたのが非常に残念でした。表(1)は試験地ができ上がった直後の1990年 7月より同年12月迄で各處理における土壌流出量である。

表 1. 1990年後半期(7月1日~12月末)の土壌流出量

降 雨 量	A	B	C	D	E	F	G
(mm)	土 壌 流 出 量 (tons / ha)						
1808.5	792.4	751.6	615.1	1018.7	819.7	1016.2	820.4

表 2. 1991年全年の土壌流出量

記録期間	降雨量	A	B	C	D	E	F	G
月日-月日	(mm)	土 壌 流 出 量 (tons / ha)						
4.07-4.30	86.0	0.96	65.29	0.00	0.00	93.84	20.18	10.18
5.07-5.22	135.0	0.00	14.84	0.00	0.00	10.72	0.00	4.84
5.27-5.31	68.5	0.00	41.58	0.00	0.00	22.27	0.00	10.03
6.20-6.27	853.0	0.00	50.47	0.00	0.00	59.88	7.41	60.74
7.09-7.11	37.5	0.00	13.94	0.00	0.00	9.06	0.00	19.15
7.14-7.22	167.5	0.00	13.06	0.00	0.00	7.03	0.00	*
7.23-7.31	472.5	0.00	61.38	0.00	0.00	52.39	0.00	*
8.04-8.19	151.5	0.00	25.12	0.00	0.00	0.00	0.00	*
8.23-8.28	52.5	0.00	23.05	0.00	0.00	0.00	0.00	*
合 計	2024.0	0.96	308.73	0.00	0.00	255.19	27.59	-

* G プロットは台風で破壊された。

b. k 係數

1989 年に全島の土壤を 280種に分類し，USDAのモノグラフに基づいて，全部土壤のK係數を出した。この結果によると，台灣各地土壤のK係數は 0.05～0.54 t/ha/y である。

c. L S 係數

L 係數の應用限界は約 120 mと言われている。急傾斜地の多い台灣では，斜面長が 120 mを越える所が稀である。故に關心を S 係數と L S 兩者の相關に重點を置いた。既に六年間の野外試験をしましたが，唯一言えるのは，元來の S 係數を求める公式 (1) と公式(2)は緩傾斜地(18% 以下)には使えるが急傾斜地には使えない。

$$S = (0.43 + 0.30S + 0.043S^2) / 6.613 \dots\dots\dots(1)$$

$$S = 65.41\sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.065 \dots\dots\dots(2)$$

ここで Sと θ は地面の勾配で各々の單位は% と度數である。

1992年より新しく野外の實驗地と室内の人工降雨裝置共に使って，S 係數および S、L 係數の相關を詳しく，正確に捕りたいと努力しています。

d. C と P 係數

作物の管理方法と保全方法で C と P 係數が決まる。前記が如く，台灣の急傾斜地農業に使われている作物の殆んどがそ菜と長期性果樹で土壤保全方法もアメリカと異っている故，自己獨特の C と P 係數が望

これらのプロットは急傾斜地を開墾して試験を設けた後，すぐにバヒアグラスを植えたが，同年7、8月頃，植生がまだ完全に地面を被覆する前に大降雨が何回も襲って來たので，何れのプロットにも，甚しい土壌流出量(615.1~1016.2tons/ha)が見られた。それに比べて，翌年(1991)，バヒアグラスが充分に生長しており，又完全に地面を被覆しているので，年間 9回降雨の土壌流出量も大幅に減っている(表 2を参考)。バヒアグラスの優れた侵食抑制効果はここで，一層確認できる。

この他，今年(1992)の初めに上記と同じサイズ(傾斜 60% ，幅4.0 m，斜面長 22.13m)で，深さ 100 cm の巨大なライシメータを 3ッ設置し，降雨水の行へ，即ち地面流出水，土壌水，地下滲出水と地表流出土量を調べる事にした。その地表は次の状況である。

K. わらのマルチング(果樹を植えない)

L. バヒアグラスの植生(全 上)

M. 裸地 (全 上)

參 考 文 獻

1. 吉良八郎・廖綿濬(1961),台灣の農地保全について,土地改良11卷1期.
2. 黃俊德(1979),台灣降雨沖蝕指數之研究,中華水土保持學報,10(1):127-144 .
3. 黃俊德・吳嘉俊(1992),台灣檳榔園經營與水土保持問題。「高爾夫球場與檳榔園對水土保持之衝擊」專題研討會論文集:30-34.
4. 康有德(1988),加強台灣山坡地資源保育利用及建立山坡地農業試驗研究体系,行政院科技顧問組委託調查研究報告, pp.86 .
5. 黃萬傳ら(1990),台灣地區檳榔產業之經濟研究,屏東農業專科學校, pp.140 .
6. 吳輝龍(1989),台灣的水土保持,科學月刊 20(2):99-102 .
7. 徐茂樟(1989),坡地保育利用,台灣省水土保持局, pp.40 .
8. 徐森雄・黃俊德(1991),屏東技術學院坡水土保持綜合示範區之規劃設置, pp.38 .
9. 陳玄(1991),氣象因子對本省茶園分佈之影響,土壤及農業氣象資源應用研討會專刊, pp.142 .
10. 台灣省政府(1979),台灣省山坡地農牧發展區初步規劃第一篇, pp.111 .
11. 萬鑫森・黃俊義(1989),台灣坡地土壤沖蝕,中華水土保持學報,20(2):1-45 .
12. 廖綿濬ら(1986),台灣水土保持二十年,中華水土保持學報,17(2):3-11.
13. 廖綿濬(1989),水土保持論叢,中華水土保持學會, pp.298 .
14. 農業復興委員會 (1969) 水土保持試驗研究彙刊第一輯 .
15. 農業復興委員會 (1970) 水土保持試驗研究彙刊第二輯 .

16. 農業復興委員會 (1978) 水土保持試驗研究彙刊第三輯 .
17. 農業發展委員會 (1983) 水土保持試驗研究彙刊第四輯 .
18. 農業委員會(1985)台灣水土保持及集水區經營研究成果摘要彙編.
19. 農業委員會(1989)1989年度水土保持及集水區經營研究成果摘要彙編.
20. 農業委員會(1991)1991年度水土保持及集水區經營研究成果摘要彙編.
21. 農業委員會(1992)1992年度水土保持及集水區經營研究成果摘要彙編.
22. M.C.Liao & H.L.Wu (1987), Soil conservation on steep land in Taiwan ,Chinese soil and water conservation society .
23. Wischmeier, W.H, and Smith, D.D. (1965) Rainfall-Erosion Losses From Cropland East of The Rocky Mountains, USDA, Agricultural Handbook No.282 .
24. Wischmeier, W.H, and Smith, D.D. (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses, Agricultural Handbook No.537, USDA.

桜島降灰の土壌および作物に及ぼす影響と対策

鹿児島県農業試験場

野 口 純 隆

はじめに

鹿児島県本土の中心に位置する桜島は、我国有数の活火山で、観光名物の一つとなっている。しかし、火山活動による住民への被害も大きく、とくに農業分野での被害は甚大で、周辺では農家の死活問題にまで発展している。

本県としては、これら農業分野に及ぼす被害を防止或いは軽減するため、行政、研究、普及の各機関が一体となった取組みを行っている。研究機関では桜島火山活動が一層活発になった昭和47年を契機に、昭和48年度から、まず、農業試験場で「野菜に対する桜島降灰対策」について研究を開始した。以後農試、果試、茶試、蚕試、畜試、養鶏試等による共同研究をはじめ、諸々の対策研究を実施してきた。そして、降灰被害のほか火山ガス被害も大きいことが明らかになってからは、火山ガス被害対策研究にも着手し、現在に至っている。

ここでは、とくに問題の大きい桜島火山降灰の被害及びその対策について、これまで得られた調査研究成果を中心に紹介する。

1. 桜島火山活動の経緯

1) 昭和以前の火山活動

(1) 文明の大噴火(1471~1476年)

応仁2年(1468年)に活動が始まり、文明3年(1471年)及び文明7年(1475年)に大量の溶岩が流出した。翌年に大爆発し、人畜に甚大な被害を与えた。

(2) 安永の大噴火(1779~1785年)

安永8年(1779年)に大爆発し、死者148名(実際にはその倍以上であったとの説が有力)の被害となった。

(3) 大正の大噴火（1914年）

大正3年（1914年）1月12日に歴史的な大噴火が起こり、死者35名、負傷者112名、全焼家屋 2,148戸、その他の大災害となった。この噴火の際に桜島と大隅半島が陸つづきになった。

2) 昭和以後の火山活動

大正の大噴火後、20余年は静穏で、昭和10年に再噴火した後、断続的な噴火活動を続けていたが、昭和21年には溶岩流を伴う大噴火を起こし、多量の溶岩が黒神、有村方面の海岸まで達した。

しばらく小康状態にあった南岳は昭和30年10月13日、突然強烈な爆発音とともに噴火し、その後世界的に類をみない長期の火山活動を現在まで続けている。とくに、昭和47年以降は激しい活動で、農作物等に大きな被害をもたらしている。

3) 最近の爆発回数

桜島は昭和30年10月13日の爆発以後、その活動が現在も続いている。最近の爆発回数は表-1に示すとおりである。とくに昭和47年から回数が増加し、昭和55年には 277回、昭和58年には 413回にも及んでいる。

表-1 桜島の爆発回数

年次	回数	年次	回数	年次	回数
昭和30年	6	昭和40年	29	昭和50年	199
31	115	41	44	51	176
32	57	42	127	52	223
33	83	43	37	53	231
34	109	44	22	54	149
35	414	45	19	55	277
36	196	46	10	56	233
37	89	47	108	57	233
38	136	48	144	58	413
39	88	49	362	59	332

(注) 鹿児島地方気象台調べ

2. 降灰量の分布とその性質

1) 降灰量とその分布

図-1に1月と8月の降灰分布量を示した。全体的には桜島を中心とした降灰分布に変わりはないが、時期によって全体の分布には大きな差異がある。1月は西～北の季節風によって大隅半島全域に分布し、8月は東～南の風で県中北部に大きく傾いた分布となっている。降灰量も当然の事ながら地域による差が大きい。図-2は年間の降灰分布量であるが、年間降灰量が 10kg/a 以下の地域は南薩地域だけで、ほぼ県本土全域が降灰地域に入るといえる。

なかでも、桜島内の降灰量はきわめて多く、 $2,000\text{kg/a}$ 以上の地域も存在する。この降灰量は反当り20t以上で、降灰の仮比重を

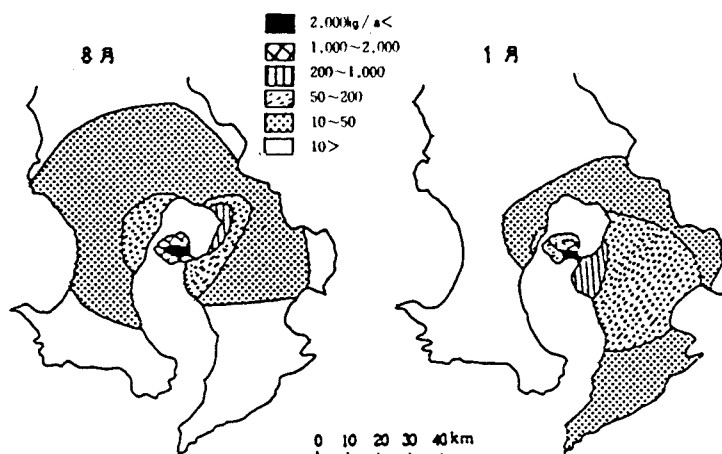


図-1 桜島降灰の時期別分布図(鹿児島農試'79～'83)

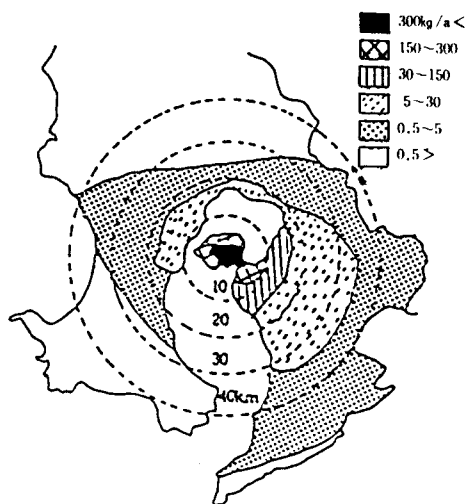


図-2 桜島降灰量の年間分布図('79～'83)

1.4として計算すると、毎年厚さ1.4cmの降灰が積もることになる。また主に、桜島の東西に分布する $50 \sim 200\text{kg/a}$ の地域でも毎年厚さ0.03～0.14cmの降灰が積もっていることになる。なお、平成3年度の年間の最高降灰量は鹿児島市園山の $77,800\text{kg/a}$ で、これは厚さ約5.6cmの積灰量となる。このように、桜島の噴火に伴う降灰量はきわめて多く、各種農産物に諸々の被害を与えている。

2) 降灰の性質（化学成分）

桜島火山灰の化学的性質は爆発（降灰）時点によって著しく異なる。また、降灰には大別（灰の色による分類）して、黒灰、白灰、赤灰があり、化学的性質もそれぞれ異なる。表-2は昭和47年から51年にかけて実施した降灰の成分分析の結果である。このなかで、とくに農作物に大きな被害を与えたのは昭和47年12月12日、51年9月7日の降灰で、その成分的な特徴は極端に酸性が強く（ $\text{pH}3\sim4$ ）、水溶性塩素（ Cl ）が $8,000\sim24,000\text{ppm}$ 、硫黄（ S ）が1.2%と高いことなどであった。なお、長年月の分析調査結果から新鮮降灰の成分は $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})\ 3\sim6$ 、水溶性塩素（ Cl ） $100\sim24,000\text{ppm}$ 、全硫黄（ S ） $0.1\sim1.2\%$ の範囲にあり、そのバラツキはきわめて大きいことも認めている。表-3は、黒灰、白灰、赤灰の化学性を調査した結果である。黒灰、白灰は成分的には略々同一であるとみられるが、赤灰は前2者に比べて pH が低く、硫黄、塩素含量が高い傾向にあり、作物に対する影響は赤灰が最も大きいことが明らかになっている。

表-2 桜島火山降灰の化学性

採取時期	採集場所	PH	水 溶 性		T-S
		H_2O	Cl	SO_4	
47.10.21	桜島町西道	3.0	mm	%	%
49. 6.13~30	輝 北 町	5.1	24.000	1.4	0.14
6.18	鹿児島市黒神	4.7	167		0.52
6.25~26	〃 高免	4.9	200		0.48
6.30	〃 〃	4.5	367		0.17
7. 3	〃 吉野	4.3	696		0.17
7.9~10	〃 高免	4.2	25		0.31
7.17	〃 〃	4.4	735		0.20
7.18~19	〃 黒神	4.8	400		0.23
7.29	〃 高免	4.5	601		0.20
8.15	〃 黒神	4.0	1.233		
50. 7. 4	〃 高免	4.3			0.50
〃	〃 〃	4.2			
51. 4.27	〃 〃	4.0			
5. 2	〃 黒神	4.5			
5.16		4.3			
9. 7		4.0	8.100		1.18

表-3 各種灰の化学成分

区 分	採取月日	採取場所	PH H ₂ O	T-S %	水溶性 C l ppm
赤 灰	49. 6.30	高 免	4.70	0.25	404
	50. 7. 4	〃	4.95	0.31	242
	51. 5.31	持 木	4.75	0.29	128
		西 道	4.69	0.29	206
白 灰	51. 5.16	黒 神	5.39	0.02	128
黒 灰	52. 5.13	西 道	5.23	0.04	198
		高 免	5.77	0.04	0

3. 桜島降灰の影響・被害

1) 周辺農業への影響

昭和47年から桜島火山活動は一段と活発になり、周辺農業に甚大な影響をもたらしている。表-4は桜島町における1戸当たり生産農業所得とその県内順位の推移である。県内96市町村のなかで、昭和46年度はトップの位置を占めていたが、昭和47年からの活発な火山活動によって農作物の被害が増大し、55～57年には88～90位を低迷するようになった。

表-4 桜島町における1戸当たり生産農業所得の推移 (単位: 千円)

区 分 \ 年 次	43年	46年	47年	50年	52年	55年	57年
1戸当たり生産農業所得(桜島町)	305	566	357	220	357	248	265
〃 (県平均)	225	236	343	674	781	797	787
桜島町の県内順位	4	1	16	88	81	90	88

2) 土壤に及ぼす影響

桜島降灰は全体的にpHが低く、塩素、硫黄等を多く含む。これらは土壤の酸性化に直接関与し、降灰地域の土壤は明らかに酸性化の方向へ進む。表-5は平成3年の降灰量調査地点(合計58カ所、県本土)のうち降灰量が最も多かった鹿児島市園山(778t/10a)、10番目に多かった桜島町二俣(25.5t/10a)、20番目に多かった鹿児島市吉野町(6.4t/

10a) の3 調査地点の降灰量（赤灰）を深さ15cmの作土に混合したときのPHの変化を追跡調査したものである。黒ボク土壤、シラス土壤とも酸性化が明かである。

表-5 降灰（赤灰）の土壤PHに及ぼす影響

土 壤 \ 降灰量	無 降 灰	降灰 77.8t/10a (鹿児島市園山)	降灰 25.5t/10a (桜島町二俣)	降灰 6.4t/10a (鹿児島市吉野)
黒 ボ ク 土 壤	5.9	5.9	5.8	5.7
シ ラ ス 土 壤	5.3	5.1	5.0	4.9

3) 農作物・家畜等の被害

(1)野 菜 類

表-6 に示すように野菜の種類によって被害に差がある。葉に降灰が付着しにくいエンドウ、キャベツ、ハナヤサイ、ニラ、ニンニク、ラッキョウ、ネギ、サトイモなどの被害は比較的小さいが、大多数の野菜で大きな被害を受ける。降灰被害を受けた野菜の葉身部分の症状は白色小斑、白～褐色ケロイド症、脱色白色、葉柄のくびれ、黄化、落葉、枯死など様々である。

スイカ、カボチャ、ハナヤサイ、パレイショなどは茎葉に被害が見られなくても生育が悪くなる。灰の付着で品質の著しく低下する野菜にハナヤサイ、ブロッコリーなどがある。また、イチゴは花蕾及び果面を汚し、商品性が著しく低下する（表-7）。要するに、野菜類の被害は生育、収量から品質まで諸々の面で被害を受ける。

(2)果 樹 類

降灰による被害は小雨時の降灰によるものが最も大きい。直接的な被害症状としては葉や果実のヤケ、落葉、落果などが主で、症状発生の頻度、被害面積等ともこの種のものが最も多い。

間接的な被害症状としては収穫時の灰粒子の擦過傷による果皮障害、その後の腐敗等がある。また、降灰による同化能力の低下（表-8）、農薬散布、その他農作業が困難になることなども直接的被害に劣らず甚大

表-6 降灰による野菜の被害程度

降灰 月日 野 菜	50 9 28	10 10 14	10 10 31	51 5 5	5 5 26	被害の 軽いの 比較	降灰 月日 野 菜	50 9 28	10 10 14	10 10 31	51 5 5	5 5 26	被害の 軽いの 比較
	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜	野 菜
ウメイツイイナナナンブウスケウンギ	無	微	微	中	中	○	ラクウゴトスノカンヤンメンラモギス	微	微	微	中	多	○
ドマサベササツ	微	微	微	中	中	○	ニキマ	微	微	微	中	多	○
ンラクヤナトイマ	微	微	微	中	中	○	ニツキマ	微	微	微	中	多	○
エソハキハサタコミタカダカホフレシゴニワ	微	微	微	中	中	○	ニライトナビバスメカトエイオサネアスバラガストウモロコシ	微	微	微	中	多	○

微・少……斑点・斑紋の発生、 中・多……落葉、 甚……枯死

表-7 灰の付着による商品性低下（乾いた灰の場合）

種 類 名	被 害 状 況	被害程度	保 護 対 策
キ ャ ベ ツ	外葉、葉柄部に付着、結球部分は正常	少	出蓄直前の被覆
ハナヤサイ	花蕾は少量の灰でも付着、水洗効果なし	大	被覆による保護
ブロッコリー	花蕾に付着し、水洗しても落ちない	大	被覆による保護
エ ン ド ウ	花、ガクに被害、変色する	中	被覆による保護
イ チ ゴ	果面に付着、水洗すると商品性なし	大	被覆による保護
レ タ ス	結球葉内に灰が入る。水洗効果あり	中	被覆による保護
ナ ス	ガクに付着し、変色する	中	被覆による保護
ト マ ト	根は直接的被害はない	中	被覆による保護
ダ イ コ ン	灰が付着しにくい	無	被覆による保護
ネ ギ	果実には付着しにくい	微	被覆による保護
ス イ カ	芋に対する付着はない	少	被覆による保護
カ ボ チ ャ		少	被覆による保護
サ ト イ モ		無	被覆による保護

表-8 降灰がカンキツの見かけの同化量に与える影響

	g/m ² /h	(対比)
50年9月10日		
降 灰 葉	0.573	(55)
無 降 灰 葉	1.036	(100)
51年7月28日		
降 灰 葉	0.653	(71)
無 降 灰 葉	0.919	(100)

である。

(3)茶 樹

降灰量と摘採葉の灰付着量は年次、気象条件等で異なり、一定の関係は認められない。摘採葉の灰付着量0.87のとき製茶浸出液の灰沈澱量は、評点1.0（わずかにみられる程度）であったが、14.41g/kgのときは評点6.0（かなり多くみつけれられる程度）で、灰付着量の増加に伴い灰沈澱量も増加することが明らかであった。これは商品価値に大きく影響する（図-3）。このことから摘採葉kg当り1～2gの灰付着量でも洗浄除去後に製茶すべきであると結論している。

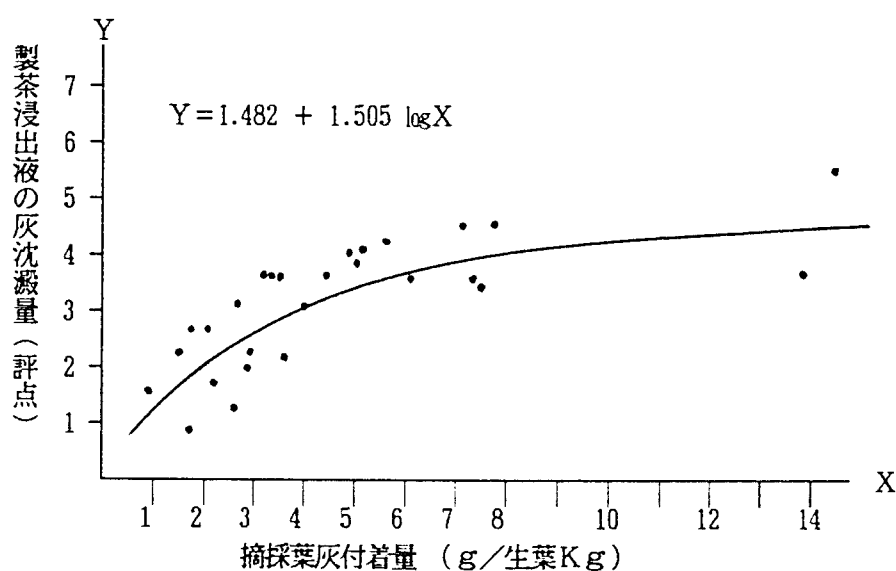


図-3 摘採葉灰付着量と製茶浸出液の灰沈澱量

(4) 養 蚕

桑 樹 : 5～8月の生育の旺盛な時期の降灰量が多いと生理的障害で桑樹の伸長が鈍り、収量が低下するとともに収穫後のしおれも早くなる(表-9)。

蚕 : 蚕への影響は灰の粒子による物理的影響が大きい。灰付着桑を稚蚕期に給与すると、蚕の生育が不揃いとなり、死亡率が高まる(表-10)。壮蚕期に給与すると繭が小型になる。また、灰付着量が桑の重量比10%以上のものを給与すると死亡率が異常になるなど諸々の被害が発生している。

表-9 積灰桑の収穫量及び伸長調査(昭和51年)

蚕 期	試 験 区	降灰回数	降灰の程度	収 穫 量 (10株)	最 長 枝 条 長
春	積灰除去区	12 回	少～多	19,726g	59 cm
	積 灰 区			16,193	61
初秋	積灰除去区	6	少	3,858	109
	積 灰 区			2,778	95
晩秋	積灰除去区	3	少	5,792	122
	積 灰 区			4,996	112

表-10 稚蚕期の降灰桑給与の影響

試 験 区	給与桑の 灰付着割合(最多)	1～2 令 日数	全 令 日 数	眠蚕体重(100頭当)			減繭歩合		繭重
				2眠	3眠	4眠	1～2 令	1～5 令	
1～2令期灰着桑葉 をそのまま給与	% 5.0	日時 6.09	日時 25.04	g 2.33	g 14.57	g 76.14	% 1.1	% 10.6	g 2.04
1～2令期灰無着 桑葉給与	0	6.09	25.04	4.15	21.97	105.24	0.5	2.1	2.21

(5)飼料作物

被害は飼料作物の種類によって異なるが、全体的には発芽時の被害が大きい。トウモロコシは葉が白変し、ソルガムは赤紫色から黄褐色へ、テオシントは黄色へ変色し、生育も悪くなる。被害の大きい飼料作物はトウモロコシ、ソルガムなどで、被害の比較的小さいのはイタリアンライグラス、ネピアグラスなどである。

(6)畜産

降灰地域の肉用繁殖牛は血液中の総タンパクが高く、アルブミン／グロブミン比が低い。また、マグネシウムも低い。しかし、繁殖成績への影響は認めていない。

イタリアンライグラス50kgに降灰3kgを混合付着させたものを給与すると、乳牛の乾物摂取量が低下し乳量も低下する。しかし、体重・乳質・血液性状等への影響はない。これを84日間に亘って長期給与すると、体重、乳量、乳質等に影響する。

4)被害防止・軽減対策

(1)土壌

降灰1トン当り苦土石灰7.6kg（降灰中の塩素、硫黄等の酸根を中和するために要する石灰量）を施用し、土壌の酸性化を防止する。苦土石灰は粉状のものより継続性の高い粗砕した粒状のものをを用いる。また、降灰1トン当りバーク堆肥70kg施用し、降灰による土壌のち密化を防ぐとともに、養分の補給を行う。

(2)野菜類

多くの野菜で被覆効果が高い（表-11）。被覆時期は降灰の多い時期に限定するのが効率的である。全期間被覆は遮光によって減収する。被覆資材は防塵加工した塩化ビニール、ポリエチレンフィルムが優れる（表-12）。

ハウス栽培では硬質プラスチック板ハウスが効率的であり、敷わら、かん水等で地温低下を行うことによって、盛夏期でも降灰被害なしのホ

ウレンソウのハウス栽培が可能である。また、硬質プラスチック板ハウス上に積もった灰の除去法としては大きい水滴でたたく散水が望ましく、器材としてはハローガンなどが有効である（表-13）。

表-11 フィルムの種類と大根の生育（株当り）

被服資材の種類	葉 数	葉 重	根 重	根 重 無 被 覆 比
	cm	g	g	%
ポ リ エ チ レ ン	67.0	2,231	2,650	858
有孔ポリエチレン	69.4	2,434	2,650	858
防 塵 加 工 塩 ビ	73.3	3,001	2,978	964
塩ビ有孔（2 cm）	49.0	1,133	970	314
“ （5 cm）	60.6	1,422	1,375	445
カンレイシャ（1重）	42.1	1,106	778	252
“ （2重）	45.5	1,101	634	205
無 被 服	32.6	455	309	100

注）被覆期間：全期間 調査：収穫期

表-12 被覆資材の質的变化

種類 \ 項目	色	透明度	強 度	灰の落ち易さ
ポリエチレン	変色なし	明るい	変化なし	易
防塵加工塩ビ	“	“	“	“
塩 ビ	茶 褐 色	暗 い	ボロボロになる	難
カンレイシャ	“	“	硬質化する	難 ~ 易

表-13 散水器具と除灰効果

散水器具 \ 項 目	水圧 kg/cm ²	吐出量又は散水量	除去までの時間
スプリンクラー	2.9	6.1 mm/h	30分以上
ハローガン 90°	2.6	57.9 mm/h	約 4分
“ 90°	2.6	80.5	“
“ 180°	2.6	35.3	約 5分
“ 180°	2.6	40.5	“
“ 360°	2.0	25.8	約 12分

注）除去された状態はフィルム上に火山灰の粒子が認められなくなった時を示す。

(3)果 樹

樹体の降灰を除去するにはスプリンクラーによる2mm以上の散水で可能である。樹体・果実の降灰被害防止に薬剤（炭カル、酸化ケイソ、パラフィン含有剤など）の効果はない。果樹もビニール等による被覆によって被害を回避できる。被覆資材は野菜の場合と同様に防塵加工した塩化ビニールがよい。被覆栽培しても生育には支障ないが、早生温州、大橘、伊予柑などで露地栽培の場合より糖度がやや低く、熟期もやや遅れる。

(4)茶 樹

生葉洗浄機の改良：

H式及びD式洗浄脱水機を一部改良し普及に移した。本洗浄機による除灰率は下記のとおりである。

灰付着量	1.6～ 4.5g／生葉kg	………	降灰率	79～92%
〃	15.0～19.9 / 〃	………	〃	88～99%
〃	45.0 / 〃	………	〃	88～97%
(洗浄葉の付着水量 ……… 10%増)				

茶園用自走型吸引除灰機の試作：

茶園で摘菜前に除灰する自走式の吸引除灰機を試作した。本機の除灰性能は約83%で完全な除灰は出来なかったが、灰付着量の多い場合（生葉1kg当り12.7g）は本除灰機と前述の洗浄機の併用で効果があがる。

(5)養 蚕

立木での除灰はスプリンクラーよりも動力噴霧機による方法が効果的である（表-14）。収穫した桑の除灰は洗浄殺虫剤または中性洗剤0.1%添加の水洗いが効果的である。

灰付着桑を給与する際に成長促進剤、栄養剤、中和剤などを直接散布して与えても効果はないので除灰桑給与が必須条件となる。貯蔵桑、灰付着桑、除灰桑等の混合給与はこれらを交互給与するときより影響が大きいので避ける。

稚蚕人工飼料で稚蚕期の降灰被害は完全に解消できる。稚蚕人工飼料育蚕は桑葉育蚕より壮蚕期の降灰被害に対する抵抗性（灰付着桑を給与したときの抵抗性）が大きい。

表-14 桑の立木水洗による除灰効果

項目 方法	積灰量	残灰量	除灰量	除灰率
スプリンクラー	8.46mg/102cm ²	2.37mg/102cm ²	6.09mg/102cm ²	72%
動 噴	7.33mg/88cm ²	0.88mg/88cm ²	6.45mg/88cm ²	88

(6)畜産・飼料作物

灰付着飼料作物は低水分化によるサイレージで、ほとんどの灰を除去できる。また、トウモロコシ、ソルガム、イタリアンのサイレージの品質にも影響はない。搾乳牛に対する灰付着の青刈給与では採食時に付着灰が脱落し、牛の灰摂取量は灰付着量の38%で、体重、乳量、乳質、血液性状等への異常は認めていない。要するに、畜産における飼料作物を通じた降灰被害はサイレージ化等でほぼ防止できる。

おわりに

桜島の噴火による被害は、当初降灰によるものとされてきたが、最近ではガスによる被害も大きいことが判ってきた。ガス被害は、ガスの「通り道」だけに局所的に多発し、その程度は降灰被害よりも甚大で、被覆栽培等でも防止できないなど、問題は深刻である。ガス被害とその防止対策については別の機会を得て紹介したい。

土石流の発生とその対策

宮崎大学農学部

谷口義信

1. はじめに

近世日本の歴史上で土石流または火砕流などによりこの地上から完全に消えた悲運の集落がいくつかある。たとえば天正13年の帰雲城や天明3年の鎌原村などである。ここでは土石流・火砕流の発生とその対策について、これを特に災害史の面から検討してみたいと思う。

2. 災害史からみた土石流・火砕流

2. 1 近世日本における災害

日本の3大崩壊の1つと言われるものに大谷崩れがある。これは安倍川源流部の山梨県との県境に発生した大規模崩壊であるが、これに関しては最近の研究でこの崩壊が宝永4年(1707)に発生したものであることがわかっている。そしてこの崩壊の直接の原因となったのはM8.4の地震であったと言われている。このとき崩壊した土石(1億3,000万 m^3)は土石流の形で流下し、7km下流の孫佐島にまでわたって谷を深く埋めつくしたことがこれまでの調査でわかっている¹⁾。

つぎに天明3年の浅間大噴火に伴う鎌原村の埋没があるが、これはその規模も大きいことで、日本のポンペイとも言われている。天明3年(1783)4月4日浅間山は大鳴動とともに噴煙を上げ、各地に火山灰を降らせた。5月、6月と爆発は激しさを増し、ついに7月6日、7日、8日の3日間はこの世のものとも思えない大爆発が起こった。噴火と同時に流れ出た溶岩流(1億3,000万 m^3)は北側の斜面を滑り落ち、あっという間に火口から15km北にあった鎌原村を埋めつくし、さらに流れ下って利根川支流の吾妻川まで流れ落ちていった。一般に言われている鎌原火砕流(1,000万 m^3 ~ 100万 m^3)と言うのがこれである。

このときの様子は「浅間焼大變記」、「信濃国浅間嶽之記」、「無量院住職手記」などに詳しく記されている。それらによるとこの火砕流はそのまま北へ突っ走り、現在吾妻線の万座鹿沢駅上の崖から吾妻川に流れ落ち、川をせき止めて大きなダムを作るが、それがやがて決壊して吾妻川兩岸の地域、さらに利根川の合流地域周辺にまで被害を及ぼす。群馬県史によると、被害総数55村、死者1,624人、流失家屋1,151戸、田畑泥入被害5,055石となっている。このとき幕府から派遣された根岸九郎左衛門(勘定吟味役)の被害状況報告が残されているが、その一部を抜粋したものは以下のようなものである。

前橋より少し北、利根川沿いの総社町は、この被害の最末端部に近いところに位置するが、その町の名主の手記によると、「7月8日午後1時くらいに利根川に黒色の泥水が押し寄せてきた。水中から煙が立ち上り、家屋や丸太、その他雑多なものが流れて来、その間には人馬が泥水に浮沈するのが見えた。中には家の屋根や大木の類に取り付き、岸の人に手を合わせて、助けてくれと泣き叫ぶ者もあったが、見る間に水中より火石焼砂が燃え立って、それらの人に突き当たり、目前でたちまちのうちに溺死する有様は、実に仏教で言う地獄と言うものもこれほどひどくはないだろうと思われる」と記している。

このとき人馬の死体はさらに利根川を流れ下り、正午頃には前橋の現県庁裏あたり、それから1時間ほど後の午後1時頃には烏川との合流点（現玉村町）を通り、その多くが銚子から流れ出た。しかしその一部は境（現境町）のところから江戸川に流れ込んだようで、それが市川御番所の手前にある中洲（毘沙門洲）に打ち上げられた。その数がよほどのものであったらしく、幸田有順は目撃者談として、「以前浅間焼候節、この洲わずかの洲にこれあり候ところ、人馬ことごとく流れ来てこの洲にかかり、かくのごとき大なる洲と相成り申し候」（親子草）と記している。それを憐れとして下小岩村の有志が供養したのが、現在東京都江戸川区東小岩2丁目の善養寺にある「天明三年浅間山横死者供養碑」である。これは小岩の村民が横死者の13回忌にあたる寛政7年（1795）に、墓所の上に建てたもので、現在東京都の文化財になっている。このように鎌原火砕流が大きな被害を与えたのは、それが非常に大規模であったこと、またそれが一挙に吾妻川に流れ込んでこれをせき止めてそれが決壊したと言うこともあるが、その他に吾妻川は兩岸に吾妻溪谷と総称される切り立った断崖をもった深い谷間を縫うように流れ下る日本でも有数の溪谷で、そのところどころに小さな枝谷が流れ込んで、このあたりに僅かばかりの水田を含む耕地が開けた典型的な溪谷地形で、したがって川の狭窄部や屈曲部に土砂・流水がたまると、この部分はたちまち逆水現象によって湛水が満ちあふれ、やがて何らかの原因でこのダムが決壊すると、今度は吸い出し効果のためそこにあった人や人家もろとも激流の中にあつという間に引き出されると言う吾妻川独特の河川特性があったため大きな被害が生じたと言われている²⁾。古文書からの推定によると、このときの天然ダムのせき上げはおよそ100mであったろうと言われている³⁾。

近世わが国の歴史上の最も悲惨な自然災害の記録として残されているものが、島原大変として語り継がれてきている眉山大崩壊（4億8,000万 m^3 ）である。島原大変の原因の1つとなった前山の大崩壊は寛政4年4月1日の酉の刻頃に起こったと言われている。3月1日の地震に伴って小崩壊が始まり、3月9日には楠平でかなり大規模な地すべりが発生し、その後も続く群発地震のたびに部分的な崩壊が繰り返されていた。終末的な大崩壊は4月1日の申頃から始まった前後2回の地震であり、大鳴動を伴っていた。「守山庄屋寛政日記」によれば、「島原村の上の原の者で、刈り取った菜種を収納する小屋の番人が、突然の地震に恐れて小屋の中で震えていたが、四ツ半（午後11時）頃少し静かになったので外に這い出してみると、驚いたことに海中15町～16町（約1.5km）まで押し出されていて、翌2日に漸く救助された」と言うことである。この話は運動が地すべりの押し出し、ないしはビンガム的な流動によって土塊が海中に運ばれ、奇跡的に助かったことを示すものではないかとして、運動機構の解明に対して興味深い問題を提起しているように思われる。眉山の大崩壊についてはこれまで3つの大きな説が出されている。そのうち2つは明治時代から激しい論争が繰り返されているもので、それは火山爆発説と地震崩壊説である。しかし前者では決定的な証拠を欠き、後者は前者の根拠薄弱をもってその論拠としているところにその真の根拠たり得ない弱点がある。理科年表では地震の規模をM6.4とされているが、20km離れた対岸や50km離れた長崎では特に大きな地震動を感じなかったとの古記録があることから、そのように大きな地震であったかどうか疑わしいと言う疑問も投げかけられ、地震説にも決定的な証拠は乏しい。もう1つの説は最近クローズアップされてきたもので、熱水増大説と液状化説である。1964年の新潟地震により、土砂が水を含んだと

きこれに震動が与えられると、液状化の起こることが明らかになった。眉山でも滑落崖から地下水の多量噴出があったとの古記録から、太田は眉山岩体の局部的砂状圧砕部分が地震動により液状化し、岩盤強度の低下を起こしてすべりを誘発し、水を多量に含んだ土砂は土石流となり、ベルトコンベヤの働きをして流れ山を運んだのではないかとされている。その後松代地震における温泉水と地すべりに関する研究が進み、熱水増大説へと発展している。これらの結果から太田は眉山崩壊を以下のように総括している⁴⁾。

- ①眉山岩体は全体的に亀裂の発達が著しく、かつ局部的に圧砕されて砂状化していることから、脆弱で大崩壊の素因を備えている。
- ②隣接する普賢岳へのマグマの上昇に伴ったマグマ発散物供給量の激増と地下水の気化は、同一熱水系列にある眉山山体内の熱水（温泉水）圧＝間隙水圧と地下水位を異常に高めた。その結果、岩盤強度は漸次低下するとともに、山体の重量増加と膨張により、力学的安定性は著しく低下した。
- ③他方頻発した地震群による岩盤疲労（疲労亀裂）の進行は、脆弱な岩体をさらに劣化させた。
- ④このような不安定な状態に達していたとき、中～小規模の直下型浅発地震が発生したため、地すべりに対する安全率は瞬間的に激減して大崩壊を惹起し、岩屑流を誘発した。
- ⑤この地震発生時には、地下水面下の砂状圧砕部分は液状、ないしは半液状化した可能性がある。地下水に満たされたすべり面では、水とこの砂状圧砕岩、および新たに生産された岩屑との水－個体混合相は、時間の経過とともに上面拘束からの解放にともない、土石流化した可能性がある。

さらに近世の歴史上でもう1つの大きな災害としてあげられるのが立山連峰の鳶崩れであろう。これは安政5年（1858）に起こったもので、安政5年2月26日午後4時に大地震（M6.8～6.9）があり、そのとき大鳶、小鳶が崩れて湯川をせき止めた。このときの崩壊土石量は2億7,000万 m^3 ～4億1,000万 m^3 とされている。その水が3月10日にはいっぱいになって一挙に流れ出て、富山市を中心とした常西方面に溢水した。さらに4月26日には2度目の氾濫が今度は常東方面を襲った。この直前の2月22日信州方面でも地震があったらしいが、これも跡津川断層の連鎖によるものであるとされている。2回の泥流による被害は、草高が約2万6,000石、被害を受けた村148村、流れた家および潰れた家1,613戸、流れた土蔵846棟、溺死者140人、馬9頭となっている⁵⁾。

2. 2 明治以降における災害

明治以降の典型的な土石流災害の例としてよくあげられるのが大正15年（1926）の十勝岳の土石流（火山泥流）である。これは大正15年5月24日十勝岳の爆発に伴って、十勝岳連峰の西北面を流れる富良野川、および美瑛川に発生した大火山泥流であり、このときの被害は富良野川流域で死者・行方不明者137人、負傷者19人、罹災戸数396戸、耕地埋没流失871ha、美瑛川流域で死者・行方不明者7人、罹り災戸数86戸、耕地埋没流失316haに達し、流出土砂量は580万 m^3 であったとされている。この土石流はこれまでの記録の中では

世界最高のスピードをもつ土石流として、他に類をみない非常に特異なものであり、平均 40 m/sec (144 km/h) が記録されている。資料によると大正15年5月24日12時11分、十勝岳で第1回目の爆発があった。爆発地点は中央火口丘の西側山頂から約800m下方、すなわち標高1,300mと1,400mの間と言われている。この爆発で噴出したガスおよび崩壊物によって積雪が融かされて泥流となったが、その勢力は弱く、丸谷温泉の一部を破壊して、畠山温泉で停止したと言われている。その後小規模の爆発があったが、最終的には午後4時18分最大規模の爆発があり、この第2回目の爆発によって発生した火山泥流は十勝岳西北の山腹を一挙に流下し、その主流は富良野川を流れ下り、富良野川左岸の標高1,000m付近にあった硫黄鉱山の元山事務所を一瞬にしてのみつくし、爆発後約25分で火口から約20km下流の富良野平野に達し、歴史に残る大災害をもたらしたものである。またこのときもう1つの流れは北に方向を転じて美瑛川流域に流入し、畠山温泉を完全に破壊してから、美瑛川の広い河床を流下して美瑛市街にまで達している⁶⁾。このようにこの泥流は災害規模の大きいのももちろんであるが、その流速が著しく大きいのが最も大きな特徴である。これは火山泥流特有の高流動性によると考えられる。

最近の土石流災害の著名なものとしては、昭和57年7月24日の長崎災害がある。これは時間雨量187mmという日本観測史上類を見ない集中豪雨であったことと、もう1つには近年居住空間が山裾にまで拡大したために起こるところの典型的な都市型の災害であり、土石流による死者が116人に達すると言う近年稀にみる痛ましい災害であった。特に鳴滝川では24人の死者を出す大惨事となった。昭和57年長崎地方は5月から雨が少なく、平年より7日遅い6月13日梅雨入りをしたものの、梅雨前線は漸く7月10日頃から北上を始めた。7月23日黄海南西部の低気圧が東進するに伴って、九州南海上まで南下していた梅雨前線は次第に北上し、この低気圧に伴う強い雨雲は15時に九州北西に接近し、平戸では16時から17時に84mmを観測した。このような状況下、長崎海洋気象台では県本土に対し、15時25分に発表されていた大雨・洪水注意報を16時50分に大雨・洪水警報に切り替えて発表した。この強雨群はゆっくり南下し、つぎの最も強い強雨域は18時から19時まで長浦岳で153mmをもたらした。日本記録の第2位として直ちにラジオ放送された。このころには福岡レーダ・エコーでは、高度16kmに達する積乱雲の発達が見られ、大村湾南部から長崎市北部にかけて19時から20時に150mm以上の豪雨をもたらした。後日このとき長与町役場の週巻雨量計が時間雨量187mmを記録していることがわかり、これは日本観測史上第1位の降雨記録となった⁷⁾⁸⁾。

もう1つは長野県西部地震による伝上川の土石流である。昭和59年9月14日8時48分に長野県木曾郡王滝村御岳山南麓を震源としてM6.8の内陸部としてはかなり大きな地震が発生した。この地震のために御岳山の山腹およびその周辺にわたって大規模な斜面崩壊と、それに伴う岩屑なだれ、土石流が発生し、29人の人命が失われた。このときの崩壊土量は3,400万 m^3 と言われ、これが岩屑なだれから土石流となって、伝上川から濁川を流れ下り、その途中にあった濁川温泉は旅館経営者の一家4人もろとも一瞬にして跡形もなく消えてしまった。さらに土石流は柳ヶ瀬地区をのみこみ、約10km下流の王滝川流域の水ヶ瀬地区に達し、15人の人命を奪った。これは巨大崩壊から発生した土石流の最近の典型であり、

大きな土砂量によって特徴づけられる。この土石流は当初想像を絶するような速度をもっていたといわれていたが、その後の情報の収集とともに調査が進み、現在では約 20 km/sec 程度であったと言われている⁹⁾¹⁰⁾。

さらに平成2年7月2日熊本県一の宮町で土石流が発生し、11人の人命が奪われた。この災害の特徴は土石流とともに多量の流木が発生したことである。熊本県阿蘇地方に6月30日から降り出した雨は一時小康状態となったが、再び活発となり、7月2日未明から12時にかけて同地方は局地的な豪雨に見舞われた。すなわち2日午前9時～10時71mmの雨量を記録した。さらに午前10時～11時が64mm、11時～12時までが53mmで、3時間の連続雨量は177mm、降り初めから12時までの総雨量は327mmに達する豪雨となった。この豪雨のため午前9時25分頃から町の中心部で古恵川の氾濫が起こり始め、9時45分頃古恵川松原橋が流木で閉塞し¹¹⁾、そのため大規模な氾濫が起こったものと思われる。このときの生産土砂量は筆者による崩壊深調査、および熊本県の山林被害面積からおよそ 196 万 m^3 と推定される。また熊本県の推定によればこのときの流木本数は28,000本 ($4,800 \text{ m}^3$) と言われている。因に十勝岳災害のときに流出した流木は約 $37,000 \text{ m}^3$ と言われ、一の宮災害よりその惨状ははるかに大きかったことが窺われる。

一の宮災害の傷跡も癒えない同年11月17日島原雲仙岳が198年ぶりに活動を開始した。噴火以前の同年7月から微動、群発地震が多発しており、11月17日九十九島、地獄跡火口から、さらに翌年平成3年2月には屏風岩火口から噴火、3月九十九島、地獄跡、屏風岩火口の3箇所から同時に噴火し、活動が激しくなった。この噴火は平成3年6月5日「平成3年雲仙岳噴火」と命名された。この噴火により膨大な量の火山灰が降り積もり、その結果平成3年5月15日土石流が発生し、続いて19日にも土石流が発生した。一方5月20日には普賢岳山頂に溶岩ドームが確認され、21日にはこれが4個に割れ、さらに24日には生長した溶岩ドームが安定を失って崩落し、午前8時8分最初の火砕流が発生した。その後も火砕流は発生を繰り返し、ついに6月3日午後4時8分、それまでで最大規模の火砕流が発生、41人の犠牲者が出た。このとき火砕流は普賢岳火口から4.3km下流の水無川と赤松谷の合流点まで達し、その速度は中田等の観測結果によると 135 km/h 、また池谷等の調査によるとこのときの土砂量は 250 万 m^3 と報告されている。しかしその後さらに大規模な火砕流が6月8日、続いて9月15日に起こった。6月8日のときの土砂量は 350 万 m^3 、9月15日のときの速度は 95 km/h 、土砂量は 400 万 m^3 と言われている¹²⁾¹³⁾。

火砕流は猛烈な破壊力と同時に高温流体であることをその大きな特徴としている。6月4日の新聞などの報道によれば、その温度は $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ であったと言われ、筆者らが平成4年3月25日水無川で測定した火砕流碎屑物の表面温度でも 107°C を得ている。こうした礫は火砕流発生地点から流出してきて、もう既に相当の時間を経過していることから考えると、火砕流発生時には相当高温であったことが窺える。

一方平成3年6月30日午後6時30分頃水無川で大規模な土石流が発生した。このときの降雨量は 64 mm/h 、流出土砂量は 46 万 m^3 と報告されている¹⁴⁾。

2.3 外国における災害

外国ではまず第一に今世紀最大と言われるプレー火山の爆発による火砕流災害がある。1902年5月8日午前7時50分頃4回の爆発とともに、サン・ピエールの美しい港町の背後にそびえる標高1,397mのプレー山（モン・ペレー）の山頂に立った噴煙柱は再び山頂部に落ち、これが一気に山腹を駆け下り、ほんの数分で人口2万8000人のサン・ピエールの町を襲い、この町は地上からほとんど一瞬のうちに拭いさられたのである。その時間は陸軍病院の時計から7時52分であることがわかっている。このときの生存者は3人、うち2人はその朝入港してきたイギリス籍客船のロライマ号の乗客、残り1人はサン・ピエールの町の地下牢に入れられていた囚人である。囚人の話によると、独房の上の明り窓から激しい勢いで一瞬高温な空気と灰が進入してきてたちまち皮膚は焼け、その痛みになうちまわったということである。また船の乗客の話によると、町全体が1つの火の塊だったし、自分達の船もものすごく燃えていたとの談が残っている。フィッシャー等の最近の研究によると、この火砕流は一旦海に出てから回り込む形で町に進入してきたのではないかとされている。またこのときの火砕流の速度は540km/h、温度は700°C～1,000°Cであったと言われ、火砕流の恐ろしさをこの数字が如実に物語っている。こうした原因として考えられるのが、一説にはプレー火山では SiO_2 の成分の含有率が非常に高く（60%～62%）、そのためマグマからのガス発散が妨げられ、爆発力が増加し、恐るべき火砕流を発生させると言われている¹⁵⁾。

また1980年5月18日午前8時27分セントヘレンズ山（米）が突然大爆発を起こし、このとき爆風、土石なだれなどが発生し、それに引続き巨大規模の高濃度泥流が発生し、火口から83km流れ下って、ここでカウリッツ川に流入し、さらにカウリッツ川を埋めつくしながら43kmにわたって流れ下り、ここでコロンビア川に流入して、このコロンビア川を埋塞して停止したと言われている。このときの土砂量は1億2,000万 m^3 と言われ¹⁶⁾、セントヘレンズ山の山体崩壊がいかに大規模で、それが明かに巨大崩壊による火山泥流であったことが窺える。もう1つの大きな火山泥流災害として知られるのが1985年11月13日に南米コロンビアの北部アンデス山脈にあるネバド・デル・ルイス火山（標高5,400m）で発生した火山爆発に伴う高温泥流（ラハール）である。このときの噴出量は勝井等の調査によると7,800万 m^3 と言われている。このラハールはアルメロ市をはじめ山麓の町を破壊・埋積し、多数の死傷者がでた。コロンビア政府発表によれば、1985年11月22日時点で死者24,740人、負傷者5,485人、崩壊家屋5,680戸、被害者総数17万人と言われている。この災害は人類がこれまでに経験した火山噴火史上4番目にランクされる大規模のものであり、今世紀では上述のプレー火山に次ぐ大きなものである。なお噴火による歴史上大災害の記録を示せば表-1のとおりである。ネバド・デル・ルイス火山噴火は、コロンビア国立地質鉱山研究所によって、1年前から異常現象がキャッチされており、特に1年前には火山活動が本格化したためハザードマップも作成され、関係機関には既に配布されていたということであったが¹⁷⁾、実際の災害の防止にはいかされなかった。

3. 火砕流・土石流の分類

3.1 火砕流

火砕流については、現在大きくは図-1に示すプレー型、スフリエール型、メラ

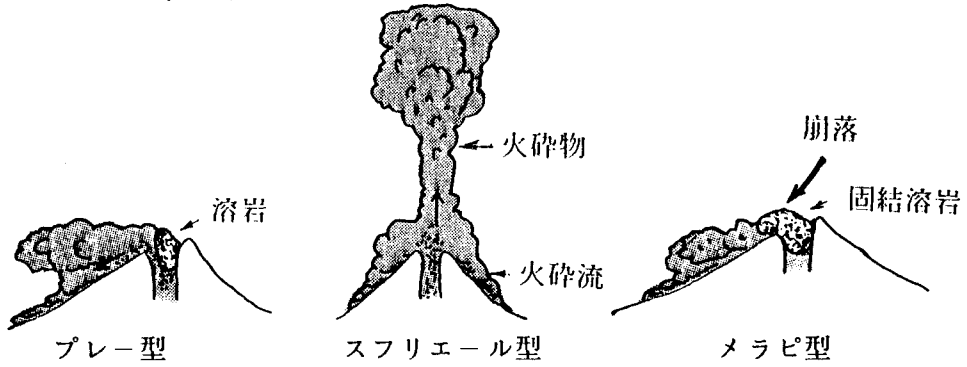


図-1 火砕流のタイプ

ピ型の3つに分類されている¹⁸⁾。プレー型とは、プレー火山に代表されるタイプの火砕流、雲仙岳はメラピ型で固結溶岩ドームの崩落によるタイプの火砕流、スフリエール型は新鮮なマグマの大爆発によって発生するタイプの火砕である。

3. 2 土石流

前述の災害史からいまこれを規模に関して分類してみると、巨大型と通常型となるであろう。ここに巨大型とはいわゆる巨大崩壊の岩石なだれから土石流に移行

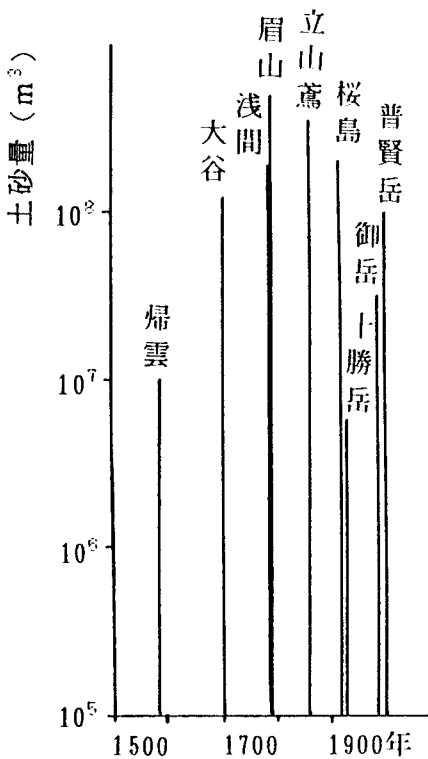


図-2 巨大崩壊発生年

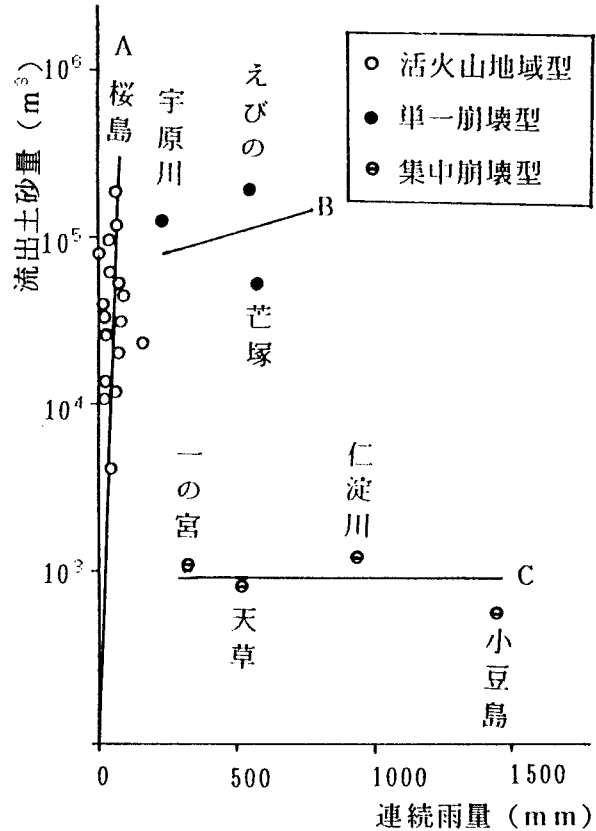


図-3 連続降雨量と流出土砂量の関係

するもので、通常型とは前述の長崎災害や、一の宮災害のように雨のみによって惹き起こされる河床堆積物の流動や山腹崩壊から土石流に移行するものである。前者が一般に $10^6 \text{ m}^3 \sim 10^7 \text{ m}^3$ 以上の容積をもっているのに対し、後者は $10^4 \text{ m}^3 \sim 10^5 \text{ m}^3$ 以下の容積で、通常 10^3 m^3 オーダのものが多い。巨大土石流についてはこれまで歴史上例が少ないことと、外力が地震・火山であるため、こうした現象の発生確率は非常に小さく、しかも火山・地震の予知・予測が困難なことから相俟って、比較的単なる歴史上の災害として受け止められてきた傾向が強い。

図-2 はこれまでわが国の歴史上の記録としてはっきり残っている巨大型の土石流¹⁹⁾を年代で配列したものである。これから判断すると、わが国ではこうした巨大型の土石流は60年～100年の時間スケールで発生する傾向のあることがわかる。今回の雲仙岳の活動がいつ終息するかは火山学的な正確なデータの裏付けをまたなければならないことは当然であるが、前回の眉山崩壊やその他日本の巨大崩壊の土砂量から推定すると、その規模はほぼ2億 m^3 となり、一方1991年の噴火活動以来の普賢岳の1年当りの溶岩生産量が5,000万 $\text{m}^3 \sim 6,000 \text{ m}^3$ であることを考慮すると、今後まだ2年～3年は続くのではなかろうかと思われる。これはあくまで歴史上の結果と現在の溶岩生産量とのバランスからみたものであり、火山学的考察に基づくものではない。

一方これに対し通常型の土石流は降雨を外力として評価するため、確率処理がし易いこと、しかもこうした降雨は比較的頻繁に起こるという性質があるため、この種の土石流の発生頻度が最も高く、いわゆる一般にいわれている土石流はこのタイプである。図-3 はこれまでのいくつかの資料から1土石流の平均土砂量を示したものである。ここに一の宮の災害などは多数の崩壊の発生（これを集中型とする）によって生じる合計土砂量を崩壊数で割って1個当りの平均土砂量として示した。図-3みるとこれらの結果は大きく3つのグループに分けられるようである。ここでグループAは降灰活動の盛んな活火山地域の土石流（火山泥流）であり、その発生頻度の高さから現在最も問題になっているものである。グループBは単一の比較的大きな崩壊（普通大規模崩壊と言われているもの）によって生ずる土石流であり、たとえば1978年の妙高土石流（30万 m^3 ）、1981年の宇原川土石流（13万 m^3 ）など、グループCは一の宮災害や²⁰⁾、仁淀川災害²¹⁾ および天草災害²²⁾ などのように集中豪雨時に山腹崩壊が集中発生して、これが土石流となるもので（集中崩壊型）。総流出土砂量は膨大なものとなるが、崩壊1個当りの平均流出土砂量はそれほど大きくはなく、高々 10^3 m^3 オーダ程度である。

4. 火砕流・土石流の発生機構

4. 1 火砕流

火砕流の発生についてはこれまでにいくつかの説が出されている。それぞれの説を示すと以下のようなものである²³⁾。

- ① 噴煙中の上昇速度がある高さで重力成分に抗しきれなくなり、方向を転じて落下し始める。それが地上に落ちるときには噴煙柱の到達高さの位置エネルギーが運動エネルギーに転化しており、斜面に沿った高速の乱流が生じる。流れの乱れ速度は高濃度の粒子群を浮遊させるのに十分な大きさをもっており、長距離にわたって流動を形成することができる。

- ② 噴火の際マグマ中に溶けこんでいるガス成分が気泡となって分離し、マグマを破碎して岩片が生産されるが、それが火口から溢れ出した後もガス噴出が継続する結果、流動物中に上向きのガス流が形成され、個々の粒子がガス流によって支えられた状態（流動層）となって粒子同士の接触摩擦角が極端に小さくなる。
- ③ 流動物が形成されたとき、その先端部や周辺部から空気を取り込み、それが高温によって急激に膨張する結果、流動物中に上向きの空気の流れが生じ、流動層が形成される。
- ④ 巨大な土砂礫の高密度の塊が地面に落下するとき、地面と土塊との間の空気が圧縮されて空気のクッションが形成される。クッション部分ではせん断抵抗が小さいため、土塊は高速度で移動する。
- ⑤ 高濃度の粒子流れにおいては、粒子同士の衝突効果によって粒子が分散し、流動が可能となる。衝突時に失われるエネルギーおよび微細粒子を浮遊させるために費やされるエネルギーが補給され続けるならば、流動は継続する。このとき乱れ強度が強いほど流体密度は大きくなるので粒子流の流動性は増大する。

早川等は火砕流の流動開始速度が次式で表されることを示した²⁴⁾。

$$U_{mf} = [(\alpha d)^2 / 200] [(\Delta \rho) g / \mu] [\lambda^3 / (1 - \lambda)] \dots\dots\dots (1)$$

ここに U_{mf} : 流動開始速度, d : 粒子の平均直径, α : 粒子の形状係数, $\Delta \rho$: 粒子とガスの密度差, μ : ガスの粘性係数, λ : 空隙率, g : 重力加速度。

火砕流はこれまでの災害の記録や、雲仙岳の熱赤外線観測結果から $800^{\circ}\text{C} \sim 1,000^{\circ}\text{C}$ にも達すると言われている。平成4年5月31日午前10時21分に発生した比較的規模の小さい火砕流でも、九州大学島原観測所の測定結果によれば 370°C となっている。こうした高温の火砕流は特に降雨で谷の地表面が湿っているときとか、水が流れているときとかはその熱のため境界面で大きな水蒸気圧を発生するはずである。その結果火砕流物質は浮遊状態となると考えられる。前述のように火砕流の運動については1つにはガス説がある。そのため従来の実験では水路底面から強制的に空気を送り込んで流動させる方法がとられている。しかし現在水路底面におけるガス圧の発生機構は明かではない。さらにまた火砕流の停止機構の解明は、今後災害防止を考える上で非常に重要な問題である。しかし当然火砕流がどのようにして停止するのか、

その実態も機構も現在不明な点が多い。水蒸気圧に注目した場合、火砕流が水路のような側面を拘束された場所から急に周囲を開放された3次元の広がりをもつ空間（オープンスペース）に出ると、ガス圧（水蒸気圧）は一挙に3次元方向に拡散すると考えられ、水路内では有効に働いた鉛直上向きの圧力（見かけの浮力）はここでは急激に減少し、その結果本来の摩擦力が強く働くようになり、急に減速が始まると考えられる。

筆者は図-4に示すような装置を用いて火砕流実験を試みた。その結果を示したの

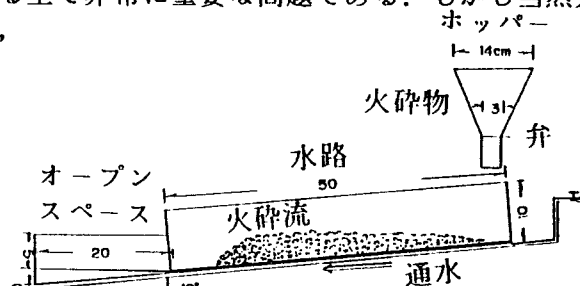


図-4 火砕流実験装置

が図-5～図-8である。ここに図-5と図-7は水路内の運動の状況を示したものであり、図-6と図-8はオープンスペース内の運動の状況を示したものである。

供給量が多いと火砕物投入直後に大きな速度となるが、投入地点から10 cm以下の下流側ではほぼ一様な等速度で運動することがわかる。このように水路に水蒸

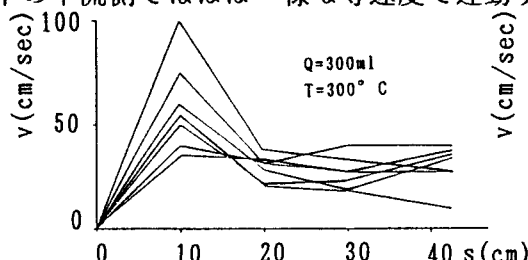


図-5 水路内の火砕流の運動

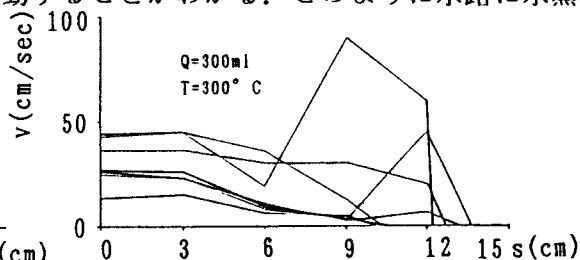


図-6 オープンスペース内の火砕流の運動

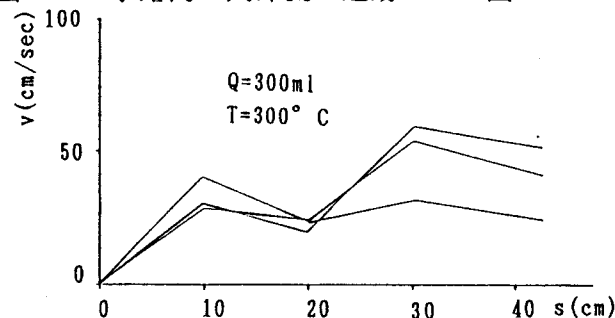


図-7 水路内の火砕流の運動

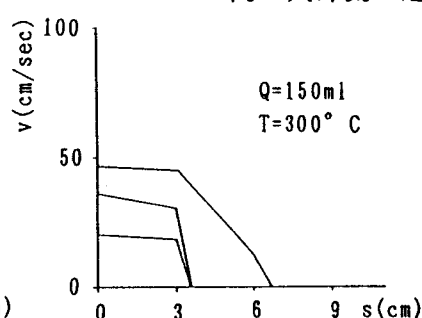


図-8 オープンスペース内の火砕流の運動

気を発生させるのに十分な水がある場合には、火砕流は非常に緩い勾配のところでもかなりの速度で流下し、かえって水路の存在が危険であることを示すものである。一方オープンスペース内に出ると、しばらくは水路出口時点の速度を維持するが、間もなく減速が始まり停止することが確かめられた。それは水路内では有効に働いた見かけの浮力がなくなり、摩擦力が大きく利いてきたためと考えられる。

雪崩のような集合運搬形態の雪の運動を論ずる場合、先端部を1個の物質（質点）と考えた運動モデルを用いることがある²⁵⁾。いまこの運動モデルを火砕流に適用してみるとつぎのようになる。

$$ma = mg(\sin \theta - \mu \cos \theta) - Kv^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに m : 質量, a : 加速度, θ : 勾配, μ : 摩擦係数, K : 抵抗係数, v : 速度, g : 重力加速度。流れが平衡状態になったときは $a = 0$ であるから式(2)より

$$\mu = \tan \theta - (Kv^2)/mg \cos \theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

いま $K = 0.0005$ として、式(2)より、本実験における μ の値を求めると、 $\mu \approx 0.17$ が得られる。これから明らかなように、こうした火砕流では普通の土砂粒子の摩擦係数に比べて見かけの μ が著しく低下することがわかる。これが火砕流が非常に緩勾配のところでも大きな速度で運動する原因の1つであると考えられる。

4. 2 土石流

4. 2. 1 巨大型土石流

巨大型土石流については前述のように歴史的イベントとしては関心が高いが、その発生機構や流動機構はあまりはっきりしていない。それは1つには発生頻度が小さく、発生からの経過時間も長く、それに関する資料が少ないのが原因していると考えられる。長野県西部地震による伝上川の土石流は最近のことであり、比較的研究が進んでいるが、必ずしもその全容が明らかにされたわけではない。

前述したように巨大型の土石流についてはその直接的原因となるのが地震・火山であり、それは降雨以外の外力によって山体の安定が失われてすべり始める現象である。ここで外力としての地震について考える。この考え方は最近眉山崩壊に対しても適用する試みがなされているように²⁶⁾、巨大崩壊を考える場合には重要視され始めているものである。それは震動によって土砂が液状化するからである。

筆者はそのような意味から震動による土砂の流動化について実験を試みてきた。その結果を示したのが図-9である。この実験では間隙水圧を考えた拘束圧は加えていないので、実際に間隙水圧が加わると、有効応力はさらに小さくなるので、流動発生限界勾配はさらに減少するであろう。

同図において自然状態

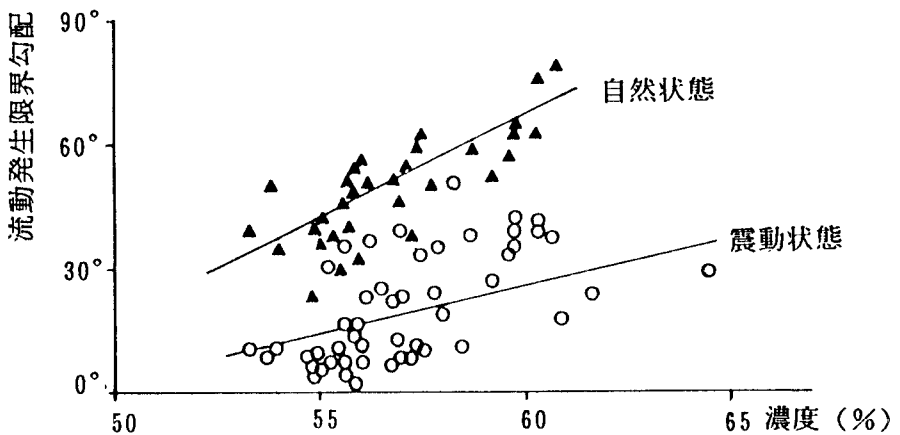


表-1 火山噴火による大災害の記録

1. タンボラ (インドネシア)	1815年	死者92,000人	大規模噴火
2. クラカトア (")	1833	" 36,417人	噴火による津波
3. モンブレ (西インド諸島)	1902	" 28,000人	火砕流
4. ベスビオ (イタリア)	1631	" 18,000人	噴火・溶岩流・泥流
5. 雲仙岳 (日本)	1792	" 15,000人	山体崩壊・津波
6. ベスビオ (イタリア)	1169	" 15,000人	噴火・溶岩流

表-2 火山泥流の等価摩擦係数

十勝岳	0.04
セントヘレンズ	0.02
ネバド・デル・ルイス	0.06

における流動発生限界勾配と震動状態における流動発生限界勾配は濃度60%付近で約30°の差がみられる。このことから明らかなように、土砂が水ではほぼ飽和状態になったとき外力として震動が加わると、そのせん断抵抗は著しく低下する。すなわち土砂粒子の見かけの摩擦係数が減少するためその流動性は著しく高くなり、大規模な流動の起こる可能性が生ずる。表-2はこれまでの巨大型土石流の等価摩擦係数を示したものであるが、特に火山泥流は小さいのが特徴であり、これはハザードマップを考える場合には非常に重要な要因となるであろう。

4. 2. 2 通常型の土石流

通常型の土石流の発生については、大きくは土質力学的方法とキネマティックウエーブ法の2つがある。前者で最もよく用いられるのが長大斜面の安定解析法である。この考え方は以下のようなものである。

いま地下水面が徐々に上昇して地表面まで達した時点で流動が発生する図-10

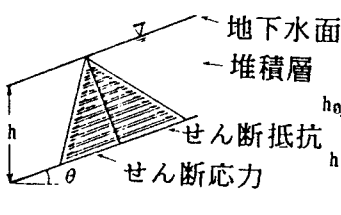


図-10 一様堆積層内の応力分布模式図

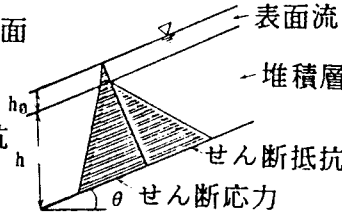


図-11 表面流がある場合の応力分布模式図

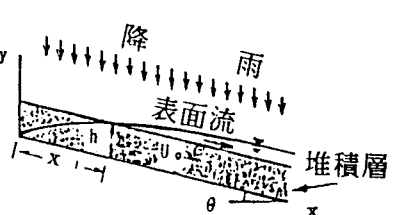


図-12 斜面における表面流の発生

に示すようなものを1つのモデルとして考えると、このときの安定条件は土砂の粘着力を小さいとしてこれを無視すればつぎのようになる。

$$\{C^*(\sigma - \rho) + \rho\} g h \sin \theta \geq \{C^*(\sigma - \rho) g h \cos \theta \tan \phi\} \quad \cdots \cdots (4)$$

ここに C^* : 土砂の堆積濃度, σ : 土砂粒子の密度, ρ : 水の密度, θ : 河床勾配, h : 堆積深, ϕ : 土砂の内部摩擦角, g : 重力加速度. 式(4)の左辺は土塊のせん断力であり, 右辺はそのせん断抵抗である. 式(4)より土石流の発生限界勾配をもとめると

$$\tan \theta \geq \left[C^*(\sigma - \rho) / \{C^*(\sigma - \rho) + \rho\} \right] \tan \phi \quad \cdots \cdots (5)$$

式(5)が図-10に示すような応力分布モデルの場合の河床堆積土砂の流動発生限界勾配である。

一方式(5)の勾配よりも小さくなると, 地下水面はさらに上昇して表面流が発生するようになる。これは模式的には図-11のように考えられる。ここでも安定条件は式(4)と同じように考えることができるであろう。したがってこのときのつり合い式はつぎのようになる。

$$\{C^*(\sigma - \rho) + \rho \{1 + (h_0/d)\}\} g h \sin \theta \geq C^*(\sigma - \rho) \cos \theta \tan \phi \quad \cdots (6)$$

ここに d : 土砂粒子の平均直径, h_0 : 表面流の水深. 式(6)より土石流発生限界勾配をもとめると

$$\tan \theta \geq \left[C^*(\sigma - \rho) / \{C^*(\sigma - \rho) + \rho \{1 + (h_0/d)\}\} \right] \tan \phi \quad \cdots (7)$$

式(7)が表面流が生じた場合の土石流発生限界勾配である²⁷⁾。

一方キネマティックウエーブ法の考え方は, 図-12に示すように斜面に降雨が

与えられたとき，斜面上の $x = 0$ ($t = 0$) から x_1 だけ離れた位置 ($t = T$) で表面流が発生するための条件をもとめるものである²⁸⁾。

$$x_1 \cos \theta R_m = U_0 h = k \sin \theta h \quad \cdots \cdots \cdots (8)$$

ここに θ : 斜面勾配, R_m : T 時間内の平均雨量強度, U_0 : 浸透流の流速, k : 透水係数, h : 堆積土砂の厚さ. 式 (8) の左辺は x_1 の区間内に供給された降雨量であり, 右辺は表面流発生地点の堆積層の断面内を通過する浸透水の流量である. 式 (8) より x_1 をもとめると

$$x_1 = (k \sin \theta) / (R_m \cos \theta) \quad \cdots \cdots \cdots (9)$$

ここで堆積層の有効空隙率を e とすれば

$$R_m \cos \theta T = eh \quad \cdots \cdots \cdots (10)$$

であるから, 降雨の供給される斜面長を l とすればこのときの表面流の発生条件はつぎのようになる.

$$R_m / k = h \tan \theta / l \quad \cdots \cdots \cdots (11)$$

一方堆積物が水で飽和したときの斜面のつり合い条件は式 (6) のように表されるから, 式 (6) と式 (11) より

$$R_m \geq K^* l^* \quad \cdots \cdots \cdots (12)$$

ただし

$$K^* = \{ k C^* (\sigma - \rho) / \{ C^* (\sigma - \rho) + \rho \} \} \tan \phi \quad \cdots \cdots \cdots (13)$$

$$l^* = h / l \quad \cdots \cdots \cdots (14)$$

これがキネマティックウェーブ法による土石流発生の考え方である. 式 (12) から明らかなようにこれは雨量強度から土石流の発生を予測するものであり, ここでは気象情報が非常に重要な要因となる.

5. 火砕流・土石流防止対策

対策にはダムや流路工のように直接土木工事によるハード対策と, 警戒避難雨量や警戒避難区域の設定などのように土木工事を伴わないソフト対策の2つがある. 戦後は特にハード対策面が重要視されてきたようである. しかし技術が未発達なときや技術は充分あっても経済的に厳しいとき, または現代の科学水準では予測できないような巨大崩壊などに対して, これまでも人間はこれらの災害から自らを護る術として避難するなどのソフトな対応をしてきたように思う. 歴史上これまでいくつかの大災害があったことは前述のとおりであるが, ここで人知でどうすることも

できない自然の脅威に対して、当時の人間がこれにどう対応してきたかをみてることは、これから起こるであろう巨大災害の防止策を考える上で重要なことではないかと思われる。技術的にも経済的にも政治的にも、現代よりもっと厳しい条件下にあった時代の眉山崩壊や、十勝岳災害のその後の経過について述べ、こうした災害に対し今後どうすべきかを考えてみたいと思う。

5. 1 大正時代以前の対策

図-13と図-14は寛延4年(1751)に発生した名立崩れ(新潟県小泊)後の村の戸数変化と戸高(生産量)変化を示したものである。²⁹⁾この図から明らかに、技術も経済力もほとんどない時代にはこうした巨大崩壊が人間社会にいかにも大きなダメージを与えるかがよくわかる。すなわち災害から150年経過しても戸数・生産量とも災害前の状態に復していない。これはこの災害によってこの小さな村が壊滅的な打撃を受けたからであろう。江戸時代においてはこう言う小村では住民だけの手でこうした大災害から立ち直ることはほとんど不可能に近いと言わざるをえない。

表-3は島原藩における眉山崩壊前と後の武士の俸禄支給と高級武士の人数を示したものであるが、そこでは大きな俸給削減が行われている。支給総額では宝暦8

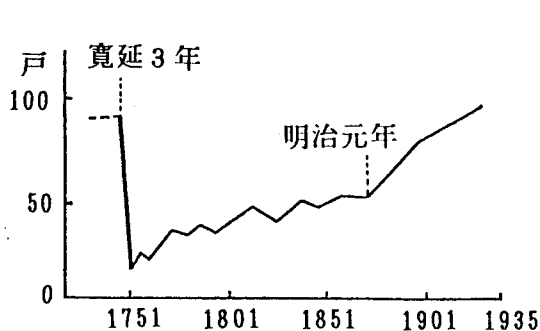


図-13 名立崩れ小泊村の戸数の変遷
表-3 島原藩における家士俸禄支給高

年	家士人数(人)	支給高(石)
享保3年(1718)	119	9,348.772
宝暦8年(1758)	125	9,081.772
寛政9年(1797)	134	8,890.772
文化2年(1805)	130	8,739.772

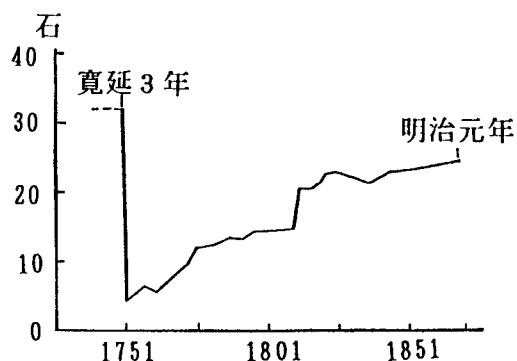


図-14 名立崩れ小泊村の石高の変遷
表-4 島原藩における総収入額

年	総収入額(石)
宝永4年(1707)	17,355
寛政11年(1799)	17,199

年と寛政9年では僅か2%の差しかないが、高級武士の人数が半分以下に減らされている。これは現代の社会では考えられないことである。それは藩が独立採算制をとる小国家であり、変災などに会えば藩独力で更正の道を考え、それを実行する以外に方法はなく、高級官僚ほど自らの俸禄を下げ、その復興を図ったことが如実に物語られている。

つぎに災害によって経済がどのような打撃を受け、またそれがどれほどの期間で回復したかを知ることは、災害復旧という面では興味深いのではなかろうかと思

い、島原藩の災害前と災害後の収入を調べて表したものが表-4である³⁰⁾。これから災害後7年で島原藩ではほぼ災害前に回復しているようである。これは約7年程度で災害復旧が終了したこと、またそれがほぼ成功したことを示すものであろう。こうした復興を成し遂げるためにとられた政策としては、前述の俸禄切下げももちろんであるが、その他櫓の専売による収益も藩財政の立て直しに大きく役立ったと言われている。大変直後の寛政6年(1794)には藩買い上げ量を従来の55万斤から250万斤と増やし、大阪商人と契約を結び藩の収入増加を図っている。さらにもう1つの経済政策として藩札の発行を行ったが、これはその後豪商を生み出す結果となり、商業資本による農業経営がなされるようになり、貧富の格差を大きくし、農民を圧迫する結果になったとも言われている。

もう1つの幾多の痛ましい悲劇を生んだ明治以降の土石流としてあげられる十勝岳災害について、その資料から検討してみたいと思う。前述のとおり十勝岳は大正15年5月24日爆発し、これによって発生した火山泥流が上富良野の町を襲ったものである。災害発生と同時に道庁、支庁当局をはじめ村理事担当者は応急の救護に没頭してきた。しかし被害の最も大きい上富良野の災害地に対しては、果して復旧できるかどうか問題となり、村は復興説派と放棄説派に2分されたと言われている。放棄説派の主な理由は被害地は硫黄および硫酸分が多量に含まれ、耕作できないばかりでなく、堆積した泥土が深く、しかも流木を混じているので、これを処理するには莫大な経費がかかり、道や村の財政では到底できないというものであり、一方復興説派は、被害を受けた水田約500町歩(500ha)と畑約300町歩(300ha)は被害戸数150戸の明治以来30年の苦心の結晶である。硫黄、硫酸などの含有物も人事を尽くせば何とかなるといえるものである。こうして村を2分した災後処理は復興説派が勝利をおさめるが、このときこれに至った経緯が記録として残されている。それによると加勢北海道土木部長は、災害直後上川支庁長、吉田村長以下11名とともに十勝岳に登りその惨状を見た。そのとき吉田村長は、「あの泥に塗られ光を失った土地こそ吾人の血と汗より成った美田であった。だが今となつては30年の努力は空しく消えた。逝ける百有余の同胞は恨みを呑んで彼の世に旅立ったであろうが、残れる多数の村民は家なく土地なきこの村に在ってどうして復興の道を講ずべきか。部長さん、——自分達は30年の苦心を今一朝にして見捨てることはできない。石に嚙りついてでもあの土地を復旧したいと思います。どうか我等の微哀を汲んで下さい。」と訴えた。そしてこの熱意に心を動かされた部長は、今まで自分の胸の中に在った迷いを吹き払って復興の断を下したと言われている。なお吉田村長は災害当日より2週間、母を失い、田圃を失い、家屋を半壊にされ、しかも母の葬式の日一度だけ自宅に帰った外は、毎日朝は未明から夜は夜更まで不眠不休の努力をした人と言われている。

しかし吉田村長の熱意に動かされて復興に踏み切ったものの、放棄説派の根強い反対・妨害運動に遮られたことが記録に残されている。それには種々あるが、要約すると、その中で今で言う村長リコールまでに発展したものが、低金利による罹災者への貸付金の問題であり、一部の人にこうした優遇措置をとるのは今で言う法の下における不平等であり、なぜこうした一部の者のみが税金の恩恵を受けなければならないのか、村長の政策そのものが間違っていると言うことであった。そしてなお興味深いことに、大学による災害調査結果の報告がなされているが、そこでは復興は見込み無しと言う結論が下されていることである。大学は純粋に学問の場であ

って、科学的なデータのみに基づいて物事の判断をすべきで、感情を入れるべきではないと言う面は確かにあるが、この十勝岳の災害を思うとき、これが果して科学の取るべき道であったかどうか疑問が残る。すなわちここでは単なる傍観者的立場を取ったのではないかと思われてならない。

つぎに具体的にとられた災後処理、復旧対策についてみてみたいと思う。その大きなものをあげると、税金の免除、河川の浚渫、灌漑溝の復旧、耕地の復旧、発芽試験などである。復旧対策の具体項目は、耕地整理組合の設立、流木の除去、復旧資金の起債、客土用地の買収、軽便軌道の敷設、運搬客土、転倒客土、泥土除去、石灰の配布、種籾の購入配布、産業資金の貸付であった。この中で興味深いのは耕地組合の設立であり、官庁としては個人ではなく団体に対して補助を行うようにしていることである。客土の基準としては泥土1尺（約30cm）以上に対して3寸厚（約9cm）とし、運搬費用のかかりすぎるところは転倒客土といって、現地の泥土の下から元の土壌を抜き取り、これを3寸厚に泥土の上に敷くこととしている。なお客土処理面積は184町1反（約184.1ha）、転倒客土処理面積は74町5反（約74.5ha）となっている。当時硫黄、硫酸がいかに多量に含まれていたかは、鼻をつく悪臭と赤茶けた沈澱物が一面に生じ、動植物は一切生育しなかったことが記録として残っていることから充分窺われる。しかしこうした逆境にも関わらず復興の努力は続けられていった。まず土を耕し洗滌し、これに石灰を反（約10a）当り20貫～50貫（75kg～190kg）を施用、雑草を反当り100貫（375kg）鋤きこんだ。しかし当初は雑草は腐らなかったと言われている。種籾は硫酸水に3日～5日浸して耐酸試験を行っている。発芽率は80%程度でよかったが、その後の発根はほとんど見られなかったということである。植え付け後には堆肥を反当り200貫（約750kg）、石灰30貫（約122kg）、15過磷酸石灰、米糠および硫酸各5貫（約19kg）を施肥となっている。災害後1年目の収穫は反当1俵（約60kg）であったと言われている。その後営々と地道な復興の努力が続けられ、昭和8年（復興6年度）で反当5俵以上の収穫を得るようになっている³¹⁾。

以上ここでは過去の災害例から3つのタイプの復旧形態をとりあげてみたが、第一の名立崩れに代表されるものは、当時の小泊村がそれほど藩政策にとって重要ではないローカルな地域であり、藩のてこ入れはなかったと思われる。したがってここでは村人にその復興の余力はなかったであろうから、災害によって村はほとんど放棄されたものと思われる。その結果災後150年経過しても人口、生産額ともほとんど回復できないままであったものと考えられる。一方島原は城下町であり、しかもキリシタン鎮圧の重要拠点という政治的側面もあっていろいろな政策がとられている。まず幕府譜代大名の入封、藩による財政的援助政策などである。第3番目の十勝岳は耕地に対する農民の愛着と農業に対する熱意。これが災害から復興させた最も大きな原動力となっている。それはたとえ復興したとしても、どれだけの投資効果があるのかという放棄説派の主張に見られるように、現代のような経済的功利主義一辺倒の考えからすれば、当然切り捨てられる運命にあったのかも知れない。しかしそのみでは片付けられないところの問題があり、結局これが大学すら見捨てた土地を災害後6年で復興に導いたのである。吉田村長と村民の情熱が現在の上富良野町を築きあげたとも言えるのではなかろうか。現代の農林業を思うときこれは大きな示唆に富んでいるような気がする。

5. 2 ハード対策

ハード対策による土石流・火山泥流の防止では、上流発生域から下流停止域にわたってその場所その場所でそれぞれの流れの特性や地形条件など、その目的にあった機能を有する工法を用いるべきである。まず発生域では外力を減少させるか、抵抗力を増大させることである。外力を減少させるにはできるだけ表流水の集中流下を防ぐことである。桜島や雲仙などで土石流・火山泥流の発生頻度が高いのは、火山灰被覆による地表面の浸透性の低下によってもたらされる表面流の集中流下である。こうしたところでは降灰活動が止むのを待って地表の緑化を図り、表流水の集中流下を防止し、また地表面の侵食に対する抵抗を増大させることである。抵抗を増大させるもう1つの方法としては、斜面の不安定堆積物をネットで被覆する網伏工、編柵工などがある。また流下域では土石流・火山泥流による大きな掃流力の低下、石礫や流木の阻止、ハイドログラフの調節を図ることであろう。

現在ハード対策に対してとられている基本的な考え方は、ダムによる直接防止と床固工・帯工による河床低下防止であろう。ダムによる直接防止にも以下のような種々の工法がある²²⁾。

①通常大型ダム、②低ダム群（階段工）、③スリットダム（コンクリート製スリットダム、鋼製スリットダム）、④ビーム式ダム、⑤枠ダム、⑥ブロック積砂防ダム、⑦林型砂防ダム、⑧濾過式砂防ダム、⑨底面水抜きスクリーンダム、⑩透過型ダム。

ここに①、②、⑤、⑥、⑧は大小の差はあるが機能的には土砂を直接止める効果を期待するものである。このうち②は直接の抑止ももちろんであるが、その主な目的は勾配の緩和による速度低下を図るものであり、⑤、⑥、⑧も直接抑止以外に土石流中の水をできるだけ早く分離することを意図したものである。また③、④、⑦、⑨、⑩は特に礫の捕捉を主目的としたものである。最近では⑨の底面水抜きスクリーンダムが桜島でも試験的に設けられるようになってきた。これは構造物が土石流の衝撃力を直接受けるのを回避し、しかも水と礫の分離を促進して流体の組成を変化させることによって土石流の停止を図ろうとするものである。

つぎに停止域においては特に氾濫を防止するため流路工、導流堤を設ける。桜島では野尻川、持木川、黒神川、長谷川など7河川の中流域で導流堤が用いられている。ここでは主流路の両側または片側に霞堤のような形で堤防を築き、主流路から氾濫しないように流れを規制し、また氾濫した流れを徐々に元の主流路の方に導き、下流の居住区域や農地に被害を及ぼさないようにしている。

5. 3 ソフト対策

現在ソフト対策として最も重要視されているのが警戒避難雨量の設定である。これは前述の式(11)、(12)の考えに基づくもので、平野等は式(11)の考えを用いて、桜島の土石流に対してその発生予測を試みている。

この考えに基づくと、もし発生の場合が定常であれば発生の下限雨量曲線と上限雨量曲線は図-15のような曲線で示され、理論的な流水の到達時間(T_c)のところで両者は一致するはずである。しかし実際には降灰と流出の繰り返しにより場は非定常であるため、両者は一致しないのが一般である。平野は桜島長谷川の1979年4月～1982年3月までの4年間72個の土石流に対して、土石流発生(72

例)と不発生(164例)について、種々の時間に対応する累加雨量の最大値をもとめてプロットし、不発生の場合の上限包絡線と発生の場合の下限包絡線を調べ、図-16のような結果を得ている。同図によると $T = 40$ 分付近で両者の差は極小になっており、流水到達時間としてはほぼ40分と考えればよいであろう。したがって40分間の雨量が7mmを超えると土石流発生の可能性が生じ、13mm以上になると必ず発生すると言うことができる³³⁾。この考え方は現在島原に対しても適用が試みられており、島原では1時間雨量が15mmを超えると火山泥流が発生すると言われている³⁴⁾。

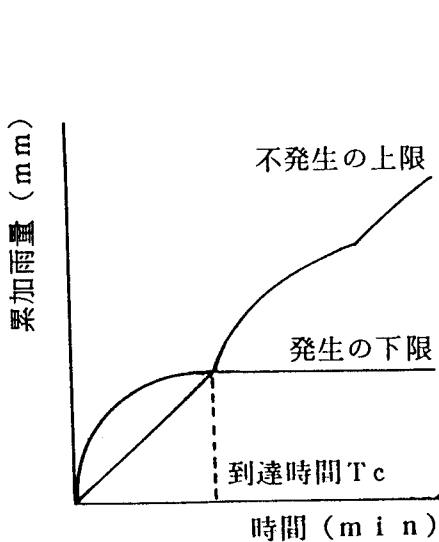


図-15 土石流不発生上限雨量曲線と発生下限雨量曲線の関係

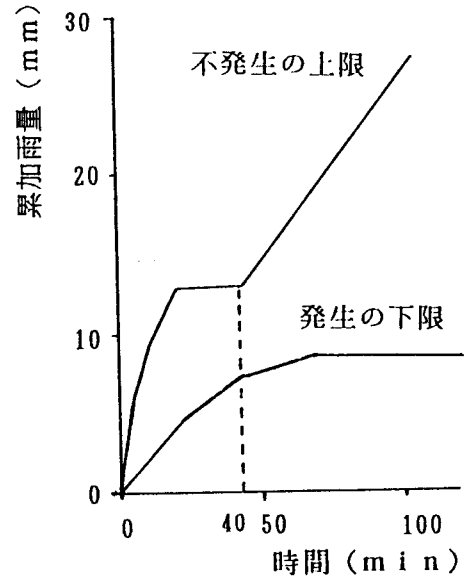


図-16 桜島長谷川にける累加雨量と土石流の発生、不発生の関係

6. おわりに

以上1つの考え方として土石流・火砕流を災害史の面から検討してきたが、その結果災害の形態には、土石規模が $10^6 \text{ m}^3 \sim 10^7 \text{ m}^3$ 以上の巨大型と $10^4 \text{ m}^3 \sim 10^5 \text{ m}^3$ 以下の通常型の2つがあり、日本では巨大型は60年～100年周期で起こっていることがわかった。そして通常型が雨のみの外力によって発生するのに対し、巨大型は地震・火山を外力とし、両者の発生機構は本質的に異なっている。

こうした火砕流・土石流に対してこれを実際に防止するには、ダムや流路工などの構造物を設けて、これを直接防止する方法(ハード対策)と、警戒避難雨量や避難誘導基準の設定等工事を伴わない方法(ソフト対策)の2つがあるが、一般的にはこれまでハード対策を補完する形でソフト対策が用いられてきた。しかし過去の歴史が示しているように、現代でも我々の科学レベルでは予測できないような巨大崩壊が起こった場合どう対応すべきかは、巨大災害の周期が60年～100年であることから充分検討しておかなければならない問題であり、こうした意味で技術的にも、経済的にも、政治的にも現代よりもっと厳しい条件下にあった時代の災害復興対策、特に名立崩れ、眉山崩壊、十勝岳火山泥流をとりあげ、当時の人々がこ

れにどう対応してきたかを検討してみた。その結果そこには3つの復興形態があることがわかった。1つは名立崩れに代表される放棄型、1つは藩の強力なてこ入れ型（武士の俸禄切下げ、商業資本の導入、専売）、さらにもう1つは農民の土に対する愛着と熱意・情熱が原動力となった復興である。今我々が厳しい条件下に置かれている現代の農林業を思うとき、特に最後に述べた復興に対する考え方は大きな示唆に富んでいるのではなかろうか。通常型の土石流に対しては現代の技術水準・経済水準でかなり対応できる段階にまで達しているであろうが、巨大土石流・火砕流に対してはハード対策だけではやはり限界があろう。そうすれば必然的にソフト対策に頼らざるをえないであろう。また災害復興をどうして図るべきかを考えるとき、これら過去の災害は我々に大きな教訓を与えてくれているのではなかろうか。

引用文献

- 1)建設省静岡河川工事事務所：安倍川砂防史，72－84，1988
- 2)大石慎三郎：天明三年浅間大噴火，48－51，角川書店，1986
- 3)矢島重美他：天明の浅間山噴火による鎌原火砕流と吾妻泥流の発生・流下の実態，平成3年度砂防学会研究発表会概要集，348－351，1991
- 4)島原市仏教会：島原大変二百回忌記念誌 たいへん，138－145，1992
- 5)建設省立山砂防工事事務所：護天崖，459－460，1975
- 6)村野義郎他：十勝岳の土石流に関する調査報告，土木研究所報告127，2－5，1965
- 7)長崎県土木部砂防室：昭和57年7月23日長崎豪雨による土砂災害，4－10，1985
- 8)長崎大学工学部土木工学科：昭和57年長崎豪雨災害の解析及び防災対策に関する研究，3－37，1985
- 9)塚本・小橋：新砂防工学，73，朝倉書店，1991
- 10)長野県木曾郡王滝村：長野県西部地震の記録 まさか王滝に，71，1986
- 11)熊本県一の宮町：一の宮災害資料，16，1990
- 12)平野宗夫：文部省科研費突発災害研究成果報告書（印刷中）
- 13)池谷・石川：平成3年雲仙岳で発生した火砕流，土石流災害，新砂防44（2），51，1991
- 14)池谷・石川：平成3年雲仙岳噴火に伴う火砕流・土石流災害，土木技術資料33－11，58，1991
- 15)金子史朗：地球大災害，170－179，古今書院，1991
- 16)勝井義雄：文部省科研費特別研究突発災害研究成果報告書，92，1986
- 17) 16)に同じ，7－24
- 18) 15)に同じ，178
- 19)信州大学自然災害研究会：昭和59年長野県西部地震による災害，34－39，1985
- 20)福重治雄：阿蘇災害概要，23回砂防学会シンポジウム講演集，33，1991
- 21)建設省四国地方建設局：仁淀川流域土砂災害対策調査報告書その2，43，1976
- 22)志水・河野：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，林業試験場報告280，71－84，1976

- 23) 荒巻重雄：文部省科研費自然災害特別研究成果報告書，25－26，1986
- 24) 23)に同じ，10
- 25) 日浦・大手・日置：土石流に関する研究Ⅴ，京都府立大学演習林報告19，29，1975
- 26) 太田一也：雲仙火山，66－77，長崎県，1984
- 27) 芦田・高橋・道上：河川の土砂災害と対策，75－77，森北出版，1983
- 28) 平野宗夫：降雨による土石流発生予測，九州の豪雨災害とハイテク予知技術講習会講義集，34－36，西部支部土木学会・九州豪雨災害研究会・九州大学自然災害科学資料室，1988
- 29) 中村慶三郎：名立崩れ，28－31，風間書房，1964
- 30) 4)に同じ，186－210
- 31) 上富良野町：上富良野町史，204－210，535－536，1960
- 32) 建設省松本砂防工事事務所：いろいろな型式の砂防ダム，技術資料No. 5，1－5，1973
- 33) 28)に同じ，36
- 34) 平野宗夫：雲仙岳の土石流とその発生予測，平成4年度砂防学会研究発表会概要集，148－149，1992

シラスを利用した新素材の開発と応用

宮崎県工業試験場 中 島 忠 夫

1. はじめに

南九州に豊富な火山灰のシラスは今から凡そ2万数千年以上前、始良カルデラを中心にした火山活動によってもたらされたものとされている¹⁾。白色の砂粒状の外観から白砂すなわち“シラス”の呼称が生れたと考えられるが、崩壊しやすい土質のために昔から自然災害の元凶とされてきた。治山治水が発達した今日でさえ、豪雨季になるとシラス台地を中心に大規模の土砂崩れが発生することも珍しくはない。度重なる災害に鑑みて国は1952年特殊土地帯災害防除振興臨時措置法を制定し、防災対策を講じている。

これに対してシラスを資源として見直し、これを積極的に活用しようとする試みが数多く行われている。富田ら²⁾はシラスをアルカリ水熱処理し、ゼオライトを合成した。諫山ら³⁾はシラスを高温処理することにより発泡させ、シラスバルーンとして知られる微細中空ガラス球状体を開発した。また野元ら⁴⁾はシラスにドロマイトを加え、耐アルカリ性に富むガラス繊維を創ることに成功した。これらの研究はシラスの大部分を占める火山ガラスの性質を巧みに利用している点で共通している。すなわちゼオライトの合成ではガラスの水熱反応性が生かされ、シラスバルーンは天然ガラス特有の発泡現象を利用しており、ガラス繊維の製造ではガラスの低温溶融を可能にしたであろう。このようにシラスに含まれるガラスはシラスの利用に関して大きな影響を及ぼし、その存在を無視することはできない。

一方、ガラスはもともと ①周期律表の多くの元素を非化学量論的に取り込み、②成形の自由度が高く、③透明でかつ化学的に安定であるなどの特徴がある。①は物性値の連続的制御を可能にするものであり、元素の組み合わせ方によっては全く新しい性質をもった材料が生まれることも考えられる。また化学量論的な制約の大きい結晶と違って不純物を幅広く取り込むことができる。②は用途に合わせて形を整えることができるので、素材の物性を表現し易い。また③の性質によって耐食性や耐熱性を有する。このようなガラスが持っている素質が今日見直され、これを積極的に活用するニューガラスへの期待が大きい。

シラスガラスをこのようなガラスの原料としてみると、鉄分の含有量が多い

ことは光学ガラスに先ず致命的である。また多量のアルミナは熔融物の粘性を高くするので成形を難しくする。従ってシラスは一般のガラス原料としてそのまま利用するには困難が伴う。これらの困難にも拘わらず、最近、シラスガラスを特殊ガラスの製造に積極的に使用することが検討されている⁵⁻⁶⁾。

著者らは $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系ガラスに液液マイクロ相分離が発生することを見出し⁷⁾、これから多孔質ガラス Shirasu Porous Glass (以下SPGと言う) と呼ばれる新素材を開発することに成功した⁸⁾。この場合、シラスガラスは SiO_2 と Al_2O_3 の供給源として見做されるばかりでなく、均質でむらの無いガラスの低温熔融を可能にした。本報ではSPGの製造方法とその性質及び用途を紹介して、未利用資源活用の一助としたい。

2. 多孔質ガラスの製造方法

SPGは図1に従って調製した。原料のシラスガラスは始良カルデラ由来のシラスの2次堆積物と考えられている加久藤層群⁹⁾から採取した。このシラスは顕微鏡観察から明らかであるが、火山ガラスの含有量が高く、1次シラスにありがちな重鉱物は極めて少ない。副原料には石灰に CaCO_3 を、ホウ酸に H_3BO_3 を使用した。

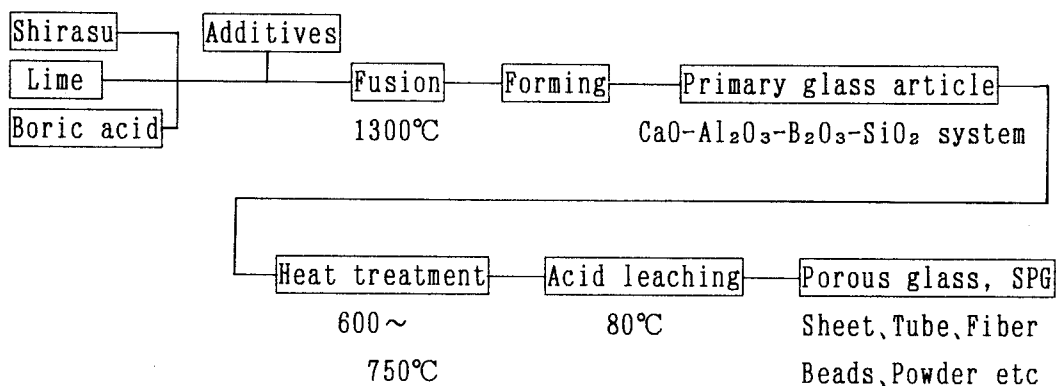


Fig.1. Preparation of Shirasu porous glass.

これらの原料を 1300 °Cで加熱し、SPGの出発物質である基礎ガラスを得る。シラスと基礎ガラスの化学組成を表1に示す。基礎ガラスは 1100 ないしは 1200°C 付近の作業温度でSPGの最終的な使用目的に合せてパイプやビーズ、繊維及び板状に成形する。これをガラスの転位点以上の温度で熱処理する

Table 1. Chemical composition of Shirasu, primary glass and SPG.

Component	Shirasu	SPG primary glass	SPG
SiO ₂	72.51	49.28	69.41 wt%
Al ₂ O ₃	13.65	9.47	12.81
Fe ₂ O ₃	2.14	1.07	0.45
CaO	1.26	17.12	2.12
MgO	0.29	0.19	0.03
Na ₂ O	3.04	4.97	4.59
K ₂ O	2.68	2.20	3.68
B ₂ O ₃	—	15.70	6.90
Ig. loss	4.54	—	—
Total	100.11	100.00	99.99

と、ガラスの組織の中でケイ酸塩に富むガラスとホウ酸塩に富むガラスの間に液液ミクロ相分離が発生する。後者のガラスは前者に比べて酸に溶解易いので、酸処理によって溶かし出され、ミクロ多孔体であるSPGが調製される。このようなSPGに類似する素材としては米国コーニング社が開発した多孔質バイコールガラス¹⁰⁾が良く知られている。この素材はガラスの分相現象を利用することで、SPGと製造工程が似通っているが、Na₂O-B₂O₃-SiO₂系ガラスを基礎ガラスにしている点で、CaO-Al₂O₃-B₂O₃-SiO₂系ガラスを用いるSPGと基本的に異なり、熱処理温度には両方で100℃以上のずれが見られ、多孔質ガラスの化学組成や性質も違っている。シラスを原料として用いる限り、Fe₂O₃などの不純物が混入することは避けられなもので、不純物の混入を望まないときはシラスをケイ砂やアルミナに代替することもある。しかし多くの場合、シラスを原料として利用するのは次の理由による。① Fe₂O₃は酸溶出の指標となる。②天然ガラスであるためガラス化反応が速く、低温でしかも短時間のうちに基礎ガラスができる。③不純物は酸処理で大部分溶出するので無視できる。④安価でしかも無尽蔵である。

CaO-Al₂O₃-B₂O₃-SiO₂系ガラスの分相域はCaO 10~20%、Al₂O₃ 5~15%、B₂O₃ 10~25% 及び SiO₂ 45~60% の範囲に存在する¹¹⁾。分相を発生させる熱処理は空冷された熔融物を600ないし750℃の範囲の温度で十数時間から数十時間加熱することによって達成される。短時間の熱処理は分相むらを生じやすいので通常得策ではないが、熔融した基礎ガラスを空冷せずにあらかじめ

加熱された窒化ホウ素製の鋳型に流し込み、熱処理を行なうと分相時間を大幅に短縮できる。いずれにしても熱処理によって生じる分相の大きさは、酸処理の結果、実際に形成される多孔体の細孔の大きさに直接反映されるので、熱処理の条件はできるだけ厳密にコントロールする必要がある。多孔質ガラスの平均細孔半径 r は熱処理の絶対温度 T と処理時間 t に対して、次の関係にあることが明らかにされている⁶⁾。

① 熱処理温度を一定にして時間を変えたとき $r = At^{1/2} - B$ (1)

② 処理時間を一定にして温度を変えたとき $\ln r = -E/2RT + C$ (2)

ただし、 E は見掛けの活性化エネルギーで約 140 kcal/mol、 R は気体定数、 A 、 B 及び C は基礎ガラスの組成によって決まる定数。

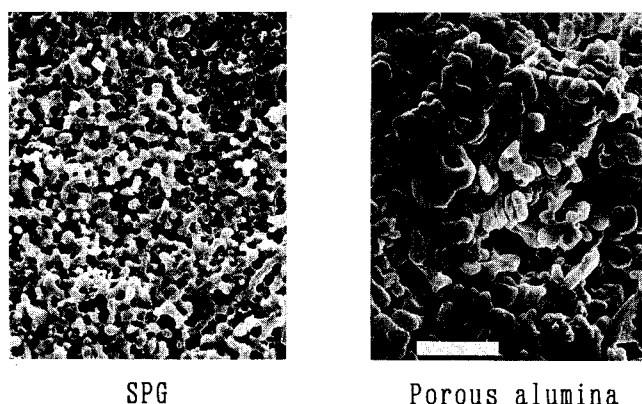


Fig.2. Electron micrographs of SPG and porous alumina.

White bar represents 10 μ m.

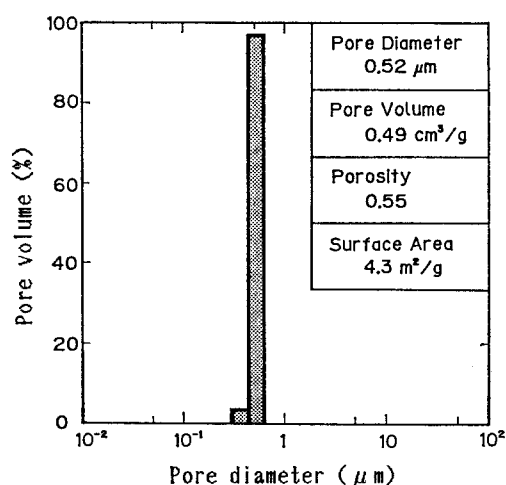


Fig.3. Pore size distribution of SPG.

SPGの化学組成は、表1に示すようにシリカの含有量はバイコールガラスほど高くはなく、むしろ Al_2O_3 や B_2O_3 の量が多い。基礎ガラスの組成と比較すると、 B_2O_3 と CaO の割合が著しく減少して、 SiO_2 と Al_2O_3 が逆に増加している。このことから相分離はアルミノケイ酸塩ガラスとカルシウムホウ酸塩ガラスの間に生じていると解釈される。しかし、SPGの場合と違って、SPGの骨格にはまだ B_2O_3 とアルカリ成分が残っており、多成分系の相変化はそれほど単純でないようである。また、カルシウムホウ酸塩相に溶解されたシリカがしばしば細孔の内部に析出し、円滑な酸溶出を妨げることがある。このようなコロイダルシリカの存在については Haller¹²⁾によって指摘され、田中ら¹³⁾が詳しく検討した。

3. 多孔質ガラスの性質

3-1 物理的性質¹⁴⁾ SPGの特徴はその独特の細孔構造にあると言っても良く、強度などの機械的な性質とも密接に関係している。多孔質アルミナと比較するために電子顕微鏡写真と水銀圧入式ポロシメーターで求めた細孔分布を図2と図3に示す。SPGの構造は多孔質アルミナのそれに比べて良く制御され、ほとんど一定の細孔が絡み合っていてできている。多孔質バイコールガラスの場合と比較すると、SPGはサブミクロンからミクロン域の大きな細孔を設計することができる特色がある。SPG成形物の種々の物理的な性質を表2に示した。

Table 2. Physical properties of SPG article.

Pore diameter	200~10,000 nm
Porosity	50~ 60 %
Pore volume	0.4~ 0.6 cm ³ /g
Specific surface area	0.2~ 8.0 m ² /g
True specific gravity	2.5 g/cm ³
Thermal expansion coefficient	60×10^{-7} /deg
Refractoriness	600 °C
Thermal shock resistance	600 °C
Compressive strength	2000~ 3000 kg/cm ²
Bending strength	710~ 840 kg/cm ²
Diametral ring compression strength	440~ 710 kg/cm ²

同表より、SPGの機械的強度は、これと同程度の気孔率を有する他のセラミックス多孔質材料よりも強い。これは細孔の分布にむらが少なく精密な細孔制御が行われるため荷重の応力集中が起こりにくいこと、セラミックスでは欠陥の多い粒界によって骨格粒子が不連続につながっているのに、ガラスは連続した網目構造から構成されていることに起因すると考えられる。

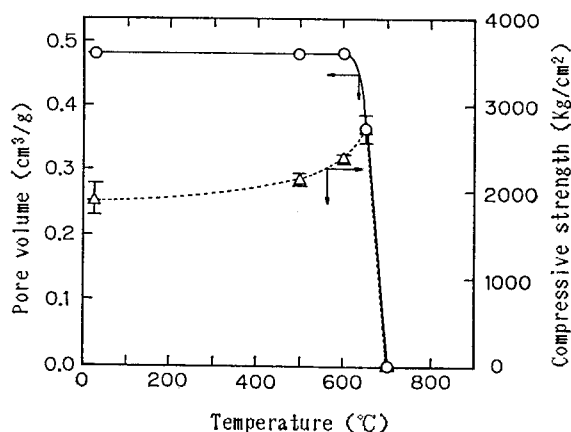


Fig.4. Thermal shocked strength and pore volume with increasing temperature.

図4はSPG成形体を種々の温度で30分加熱した後、直ちにこれを氷水中に投じて、熱衝撃を与え、材料の残存強度と細孔容積の変化を調べたものである。SPGは細孔構造が保持される650°C付近までは高い熱衝撃強度を有するが、細孔が消滅するとこれに対応して強度が急速に低下した。このことはマイクロ多孔構造が熱衝撃を緩和する効果があることを示すものである。

3-2 化学的性質 従来のPSGでは耐水性や耐アルカリ性に問題があることがしばしば指摘される。この点を改善するために、基礎ガラスにあらかじめ少量の TiO_2 や ZrO_2 を添加すること¹⁵⁾及び多孔質ガラスを $AlCl_3$ で処理すること¹⁶⁾などが試みられている。また分相法とは全く異なるゾル・ゲル法から ZrO_2 を多量に含んだ多孔質ガラスを作り、耐アルカリ性を飛躍的に向上させる試みもある¹⁷⁾。これに対してSPGは10%を超える多量の Al_2O_3 を含んでいるので、材料自体すでに耐水性や耐アルカリ性を保持していると予想される。耐水性に関する実験の結果⁸⁾ではSPGは SiO_2 の溶出が認められたもののPSGに比較してわずかな量にとどまった。 Na_2O に至ってはほとんど無視できるもので耐水性が高いことが明らかになった。アルカリに対しても同様の高い

耐性が認められた。この性質はSPGの製造で酸処理物を0.5 NのNaOH溶液に浸せきすることによって細孔に残留するコロイダルシリカを除去するため利用される。SPGの特徴をまとめて表3に示す。

Table 3. Features of SPG Material.

-
- ① Countless perforated pores to be minutely controlled.
 - ② Possibility of designing the size of the pores within the range of 1 nm to 10 μ m.
 - ③ High mechanical strength, heat resistance and insulation against heat.
 - ④ Chemical durability to almost reagents except extensive alkaline groups and hydrogen fluoride.
 - ⑤ It is unaffected by bacteria or mildew.
 - ⑥ Through chemical modification of functional group, the surface can be organized or the enzyme can be immobilized.
 - ⑦ Conveniently welding with chemically different kinds of glass.
 - ⑧ Because of possibility of forming into various shapes, material designing can be adjusted to use.
-

4. 多孔質ガラスの利用

SPGの精密に制御された無数の細孔に着目すると、高機能分離膜への用途が期待される。SPGは液体透過試験の結果から類推されるように円筒型の細孔でできているので、細孔の内部での目詰りが起こりにくく、濾材に適した構造を有する。そして、その構造は高い強度を有するため、ろ過の圧力で圧密変形することなく細孔の大きさは常に一定に保たれる。必要ならば表面化学修飾により設計が可能である。限外ろ過UFや精密ろ過MFなどの高精度ろ過分野ではすでに有機高分子系の分離膜が知られているが、SPGは耐久性や機械的強度、耐熱性及び耐薬品性の面で有機膜にはない特徴を備えているので有機膜が利用できない厳しい条件での分離膜材料として実用化が期待される。

これまでの実験からエマルションのろ過¹⁸⁾や酒類に含まれる油性成分の除去¹⁹⁾、バイオリアクターの菌体分離膜²⁰⁾、血漿分離²¹⁾及び機械切削用のクーラントオイルの再生などに効果があることが見出されている。

またSPGの表面の顕著な吸着力と精密に制御できる細孔を利用して高速液

体クロマトグラフィー HPLC の充填剤に用いられている²²⁾。この充填剤は従来のシリカゲル系のものに比べて遙かに高強度で、幅広いPH域での使用に耐えかつ分離に要する時間が短くて済むなどの特徴がある。これに対してSPGの表面に化学的な処理を施し、新たな機能を付加する試みもある。すなわち 100 μ m 前後のSPGの微小球にゼラチンを吸着させこれをグルタルアルデヒドにより架橋処理し、不溶化したものをラット胎児の肺の繊維芽細胞の増殖にマイクロキャリアとして使用したところ、従来の方法の約2倍の増殖速度が増加したのみならず繰返し使用も可能となった²³⁾。また、今田らはSPGの表面状態を詳しく調べ²⁴⁾、固定化酵素や²⁵⁾ペプチド合成用担体に応用することを検討した。著者らは最近、SPG膜を用いて、エマルションの粒子径を幅広く制御できる新しい乳化法を開発した。この方法によれば、従来、製造が困難であった粒子径の均一な単分散エマルションが容易にできるばかりでなく、ダブルエマルションのような複雑なエマルションの製造も可能で、SPGの有効な用途としてにわかに注目されるようになった。

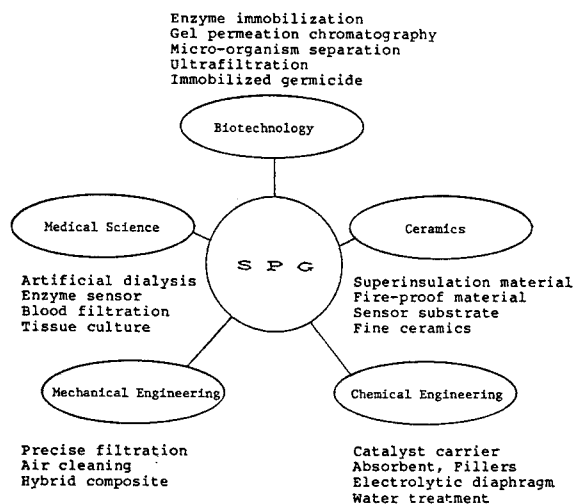


Fig.8. Expected applications of SPG.

5. むすび

著者らは南九州に豊富に存在するシラスガラスを主要な原料にして合成した $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系ガラスに安定した分相域を見だし、これをもとにして多孔質ガラスを調製した。この多孔質ガラスは従来のコーニング法のそれと異なり、シリカ含量は少なく、代わって Al_2O_3 及び B_2O_3 などがかなり含

まれ、また細孔径が比較的大きくサブミクロンからミクロン域に達するなどの特徴を有することが分った。今後の課題は多孔質ガラスの特徴を生かした新たな用途をどこまで広げられるかにかかっていると言える。

最後に、シラスはよく言われるように果たしてそれほど「特異な資源」であろうか。確かに南九州の火山灰土壤に名付けられたこの“シラス”が昔から高強度の降雨や台風の襲来の際毎に重大な災害をもたらすやっかいものであったことは間違いないが、工業資源として少しクールに眺めてみるとむしろ「ありふれた資源」と言うべきかも知れない。すなわち我が国は世界でも有数の火山国ということもあってシラスに非常によく似たガラス状火山噴出物は広く散見されるのである²⁶⁾。例えば真珠岩や黒曜石と言われる天然ガラスの産出は珍しいものではないし、火山灰状のものは東北や北海道にも広く分布する。しかしこのようにシラスが特異なものでなくてありふれたものであったにしても、シラス開発の意義が薄れるものではない。ありふれたものであれば、それだけ研究に普遍的な価値が伴うのだと信じたいものである。

文 献

- 1) 太田良平、地球科学、72, 1(1964)
- 2) K. Tomita, H. Yamashita, N. Oba, Jour. Japan Assoc. Min. Pet. Econ. Geol., 62[2], 80(1969)
- 3) 諫山幸男、セラミックス、6, 899(1971) または 日本特許、737479(1974)
- 4) 野元堅一郎ら、日本特許、633210(1973)
- 5) 恒松修二、井上耕三、松田応作、窯協、84, 278(1976)
- 6) 木村邦夫ほか、VSI 研究会ニュース、2[1], 2-3(1987)
- 7) 中島忠夫、黒木裕一、日化、1231(1981)
- 8) 中島忠夫、清水正高、セラミックス、21, 408(1986)
- 9) 宮崎県編、“宮崎県地質図説明書”、(1981), p.32
- 10) H.D.Hood and M.E.Nordberg, US Pat.2215039(1940), “コンクェカワグ”, 多孔質ハイクォリティガラス # 7930
- 11) T.Nakashima and M.Shimizu, US Pat.4657875(1987), 中島ら、特許公報 昭 62-25618
- 12) W.Haller, J. Chem. Phys., 42[2], 686(1965)
- 13) 田中博史、矢沢哲夫、江口清久、窯協、91, 384(1983)

- 14) 中島忠夫、清水正高、富山典孝、第24回窯業基礎討論会講演要旨集、2C02 (1986)
- 15) 江口清久、"ガラスの事典"、作花濟夫編、朝倉書店(1985), p.215
- 16) E.V.Ballow, M.I.Leban, T.Wydeven, Nature Phys. Sci., 229, 123(1971)
- 17) 野上正行、窯協、93[4], 195(1985)
- 18) T.Nakashima, M.Shimizu, The 1987 International Congress on Membranes and Membrane Processes, p.420(1987)
- 19) 中島忠夫、清水正高、富山典孝、宮崎県工業試験場研究報告、30, 23(1985)
- 20) 中島忠夫、清水正高、富山典孝、宮崎県工業試験場研究報告、30, 33(1985)
- 21) K.Ozawa, H.B.Kim, H.Sakurai, S.Takesawa, K.Sakai "Progress in Artificial Organs-1985", p.913, ISA0 Press, Cleveland(1986)
- 22) 高井信治、第8回機能材料と利用に関するフォーラム講演予稿、p.1(1987)
- 23) 信原一敬、細胞培養担体の製造方法、特許願、昭60-36777(1987)
- 24) 今田清久、川畑裕人、薬師寺千明、中島忠夫、清水正高、日化第50春年会講演要旨集、4F13(1985)
- 25) 川畑裕人、坂上勝伺、中島忠夫、清水正高、日化九州中国四国支部合同大会講演要旨集、1C03(1985)
- 26) 黒岩忠春、日本の科学と技術、[2], 19(1973)