

シラスの土質力学的特性とその原因

(シラス防災の研究 第一部 その6) (第一部 了)

上 田 通 夫

(受理 昭和53年5月31日)

MECHANICAL PROPERTIES OF "SHIRASU" AND THE CAUSES

Research on "SHIRASU" Disaster Prevention Part 1 No. 6
(Part 1 Finished)

Michio UEDA

The rough history of "Shirasu Study" were related in chronologic order. The matters and the persons, therefore, appear and disappear somewhat alternatively. The readers may feel troublesome, and will possibly be harassed to understand fully.

The author rearranged them in a different view. The six important individuals and the three representative organs are picked up selectively and the respective works of them are reordered.

The problems and questions about the principal matters are abbreviated in the last place.

(Part 1 Finished)

目 次

第三節 研究史の整理

§9 主要研究者の所説

9.1 松本唯一

9.2 種子田定勝

9.3 荒牧重雄

9.4 太田良平

1° 定義又は言葉の整理

2° 二次堆積軽石層 (太田指摘問題)

3° 国分層群に覆われる古期軽石流 (太田指摘問題)

4° 軽石流の流下形態 (太田指摘問題)

5° 入戸軽石流と大隅軽石流

6° 軽石流同定問題

9.5 木村大造

9.6 山内豊聰

1° 斜面安定論

2° シラスの強度特性

3° シラスの一般特性・その他

9.7 建設省

9.8 日本道路公団

9.9 鹿児島県

§10 シラスの問題点に関する諸見解

1° 阿多カルデラの位置

2° 火山層序

3° 火砕流堆積機構

4° 二次堆積軽石層

5° 固結現象

6° 縦裂け

7° 安定解析

8° 土工法

第三節 研究史の整理

略史と言ひ条、時を逐うての叙述だから、人と事項とが年代順に出入交錯する。繁簡必ずしも当を得ない。なおまた、便宜見過した文献や、記述時未見の報文類が当然存在し、追加せられる。そこで、風通しを図って、シラス研究史を二面より整理し、一見明白ならしめようと思う。即ち、主要な研究者ごとに、全期間を纏めて所説の進展変化を追い、その研究のもとすえを通し、他方、シラスの問題点に関する諸見解の変遷を要約して、現状認識を一層簡明ならしめよう。

§9 主要研究者の所説

9.1 松本唯一

シラスと俗称する火山灰地帯が、南九州に広く存在し、その岩相又は鉱物組成の特徴に依って、いろいろ

に呼ばれて来たが、噴出源に就いては明かな所説がない、といい、桜島を南縁とする、鹿児島湾頭の旧火山カルデラを想定して、始良火山と名づけたのが、まず以ってシラス研究の起点というべく、昭和8年のこと。同論文に付記し、池田湖の西方よりし、東の方大隅辻嶽に至り、池田湖・鰻池・池底・山川港等の小カルデラ群を含む、長径25杆の大カルデラに言及した。揖宿泥熔岩の噴出は、始良のそれより新しくはあるまい。二年後、揖宿火山の輪郭²⁴⁶⁾を論じて、泥熔岩類の分布が、ほぼ薩摩半島南部を覆い、大隅西南海岸沿いに伸びることを、具体的に述べた。昭和13年の「揖宿火山概説」では、南薩鬼門平から大隅辻嶽山稜を西と東の壁と限定し、泥熔岩が鹿児島・伊集院を結ぶ線以南各地に分布するが、大隅側では、大根占附近の小範囲を除き、始良・高山・串良・鹿屋等に確実に露頭を見ないのは、始良火山の灰砂・浮石層に被覆せられたのであろう、とした。翌年は、揖宿カルデラ存在の確証を挙げ、その泥熔岩の分布を、詳細に追跡している。薩摩半島は地質学的に、(1)主体たる中生層地域、(2)西南部旧火山地域、(3)東南部旧火山地域、(4)揖宿火山「カルデラ」の四地域に分つを便宜とし、カルデラの存する東南部地域より始める。種子尾山より三巢岳に連なる分水嶺の東側では、泥熔岩は、概して谷の低所に現れ、北へ下って観音崎で海面下に没する。西側では高所に泥熔岩を見、三巢山西北方の谷沿い、海拔520mの分水嶺に達する。南方は、馬渡川より西して岩戸山に至る間、連続する泥熔岩台地で、北方は、高さ200mより漸く南に低く、20~30mの断崖で海に落ちる。台地は岩戸・下山岳等で一度絶えつつ、余脈は大浦の河谷に沿い、西、笠沙に至る。北へ向っては、知覧・川辺・加世田を経て吹上浜に尽きる。泥熔岩流は、それよりなお諸所の谷を高所迄埋めて延び、北限饅頭石(薩摩松元)に至る。鹿児島湾西岸は、分水嶺が海に迫るので幅が狭いが、海岸沿いに北走し、谷間には深く穿入する。

大隅半島では、大根占・田代町等に発達する根占泥熔岩台地と伊座敷東方の泥熔岩流とが、大隅花崗岩で隔てられ乍ら、共に揖宿カルデラに由来する同一生成物である。かくて、東西の両半島に亘る分布図を提示した。

知覧・川辺区域では、揖宿泥熔岩上に、厚く始良火山噴出物を載せ、宮崎県夏吉(鹿児島県夏井?一上田註)の海岸では、始良火山浮石層が、下に泥熔岩寧ろ集塊岩に近いものを敷いている。両つながら、揖宿火

山より始良火山が新しい、という証左である。また、薩南三巢山の西北方においては、泥熔岩流が、海拔500m前後の峠を越えて流走した、と意味深い指摘を行なっている。

実はこれに先立つ一年、モスコウの国際地質学会議で、鹿児島湾の成因²⁴⁷⁾・九州の四大カルデラ・阿蘇火山帯²⁴⁸⁾について講演したが、昭和18年、それらを取纏めて結構した“The Four Gigantic Caldera Volcanoes of Kyushu”は、関連主論文で、著名の力作である。元来、シラスを直接の対象としたものではなく、火山学上の研究であって、従来、瀬戸内火山帯の西端に阿蘇があるとしているけれども、実は阿蘇より南する始良・阿多・鬼界の四大旧火山カルデラが存在し、相連って霧島火山帯に属する。鹿児島湾は、平行断層間の地質構造的成因に依る陥落地帯で、それに沿って霧島・桜島・開聞等の火山群が噴出した、とせられてきたが、これとて、湾奥の始良、湾口の阿多と、二大カルデラの誕生に伴ない、中間も亦落窪んだのだと、謂うところの阿蘇火山帯に関する、種々の旧知見を正すことを、要旨とした。

四大火山カルデラは、規模・地形学的形態・岩石学上の性質・出現年代よりして、同型と判断する。外輪山熔岩の噴出期は、まず以って前期洪積世であろう、と。阿蘇より始めて、各カルデラにつきその外輪山、火口原、中央火口丘、熔岩の様相ならびに分布区域、一部層序等を叙述しているが、今はわが本来の関心事シラスの周辺に、筆を限定しよう。ここで、阿蘇は論述の圏外に去るが、その熔岩が球磨川溪谷に沿って流れ、胸川流域の大塚迄達する、と人吉盆地の阿蘇熔岩南限を指示している。

俗称シラスで覆われた広大な火山灰台地が、鹿児島湾奥を廻り、海に面しては急峻な崖を形造り、分水嶺を外へ越えると、緩傾斜平易な姿の裾を曳きつつ、遠く西は九州西岸、東は都城、東南志布志湾に達する。これらの台地は、緩く堆積した、厚さ100mを越える火山灰や火山礫で蔽われ、所々深く開析せられて、場合により悪地を形成する。上記環状の崖は、隼人海岸近く、浅所に突出する四箇の小島と共に、旧始良カルデラ外輪山で、桜島西端袴腰の懸崖は、欠落した南縁の一部に当る。桜島自体は独立火山でなく、始良カルデラ火山の、中央火口丘群の複合火山で、その熔岩は、霧島・開聞・硫黄岳等の新期火山、並びに阿蘇中央火口丘群と同様式である。従って、カルデラ外輪山外方へ拡がる大量の火山灰類を、桜島や霧島に結ぶことを

誤りと判ずる、小藤文次郎博士の見解は正しい。著者は、明白にシラスの流出源を確定した。その分布については、南方海中を除く三方向毎に、厚みある調査を、簡潔に叙述している。

阿多カルデラと改めて命名した場所は、これまで掛宿火山と呼んで来た、鹿児島湾口附近薩摩半島側のそれと、大隅半島辻嶽を東の限界とする、肝属カルデラの二つが連り、中括れ東西に長い一箇のカルデラと化したものである。池田湖北方鬼門平より、朝日岳・赤石平を結んで開闔岳を含み、その外側をほぼ西南へと走る、目覚ましい一連の懸崖は、鹿児島湾の軸に平行せず、且つ僅かに外方に弓を張って彎曲している。その地勢は、内に険しく外へなだらかで、火山カルデラの外輪山であり、在来説の所謂鹿児島湾地溝の断層ではない、として、外輪山・火口原・火口丘等を詳説する。対岸の大隅半島では、辻嶽を南西へ、海岸線に大凡平行する如く連なる崖が、やはり海を抱く形で軽く孤を描く。その泥熔岩の大塊は、辻嶽北東縁の峠 630 m の高所に発見せられ、泥熔岩流は一度にこの高さ迄蔽った、と推定して間違いない。

著者は、広域に亘る火山灰類を、初め漠然と、鹿児島湾地溝に沿う裂罅噴出物と考えていたが、真相は上の如く明かになった。

このカルデラにつき、その後の追加事項が一、二ある。文献²⁴⁹⁾には、池田火山碎屑岩の記載があり、太田良平が、層序試案で池田軽石流を挙げるのが、この翌年になる。同年松本は、赤水岳を構成する物質は、落下碎屑物が多く、本来の阿多熔岩ではないとし、赤水岳・魚見岳上層・知林ヶ島は、新しい内阿多カルデラの噴出物と考える旨、旧知見の一部を訂正した。

環霧島擬カルデラの地質²⁵⁰⁾は、シラスに関係が薄いので省略する。

大隅中部地方の巡検報告があるが、前節で述べたので繰返さない。松本の研究の本領はカルデラ火山であり、シラス研究への一大寄与は、その噴出源を結論したことである。

9.2 種子田定勝

シラスが、如何なる形式の火山生成物であるかを、解明したのは種子田定勝で、研究史上見落すことの出来ぬ人である。彼が、始良郡濱之市附近の、基質中に堇青石を含む灰石について報告²⁵¹⁾したのは、昭和25年のこと。この岩石は、鹿児島湾北部周縁地域の灰石類中の上位に属するが、噴出口付近で冷却凝固したも

ので、遠距離を移動したものでないと考え、山口鎌次の分析した灰石類と比較して、他の礦物組成はよく近似し、共に桜島熔岩とは異なり、阿蘇火山系に類似するとして、堇青石の成因を論じ、岩漿固結の末期に残漿から晶出し、或る種の揮発性成分の働きに、関係ありと解する。彼のシラス類との接触の端緒は、此の頃からであろう。27年には、川内川中流域のシラスの地質・岩石上の調査を行い、地質図・説明書等²⁵²⁾を作製している。基底部泥熔岩類の上に、区域外に噴出口を持つ灰色泥熔岩・古川内川礫層が載り、自然ダムを形成した。氾濫のために上部成層二次シラスが生じた、と思われる。シラスの粒度分析の結果、風力・水力の影響を受けない堆積物で、熱雲によるのではないかと、重要な指摘がある。ベークライトを用い原組織のまま硬化させて検鏡すると、泥熔岩と区別し難い。

主要論文は、Geological and Petrological Studies on the "Shirasu" in South Kyushu, Japan Part I~VII で、二部に大別して見ることが出来る。I と II は、シラスが、熱雲式に噴出した軽石流であることの実証論、III~VII は、その見解に立脚して、鹿児島県下各地、一部宮崎県に亘る調査記録である。Part V は宮地六美の執筆で、報文¹⁰⁵⁾の内容に彫琢を加えた。人吉地域の所見である。この地の四枚の火山碎屑岩と、他地域の関連層とを加筆している。鮮新-洪積世の安山岩上に、灰色熔結凝灰岩 I が載り、それは、種子田の宮之城・樋脇地域の中層灰石に繋るだろう。直上の熔結凝灰岩 II は、宮崎県下高原の灰石 I に、つまり萩の元軽石流に。I・II とも加久藤カルデラの噴出だろう。更に黒色阿蘇熔岩と始良シラスの二層が重って、沖積層に蔽われる。Part VII は文献¹⁰¹⁾とほぼ同内容。

灰石即ち泥熔岩を、松本唯一は鹿児島湾から、裂罅噴出したと考えるに対し、山口鎌次は少くとも一部は侵入岩床であると述べた。著者は、灰石の大部分は、熱雲の如き変則的火山噴出物に由来すると考える。活動の中心は二、三箇所、直接噴出口は少なくあるまい。加之、噴出は、鮮新-更新世の間に繰返したであろう。シラス層の厚さは、下部地層の不規則性に支配せられ、泥熔岩を敷く時は薄く、単独なら厚い。上層に、二次生成物と見える軽石、礫・粘土の表面ローム堆積以前の、成層混合物を被る。シラス自体は、凡そ成層せず、下底は 1m 未満の砂・粘土・礫層に変化することあり。

さて、シラス外見上の特徴といえば。

(1) シラス中の軽石片は、外来片岩も同様に、量・形状共に不規則に変化し、分級作用を認めない。注目すべきは、水平方向の粒径変化がなく、時として軽石のレンズ状集積を見ることだ。

(2) シラスの基質は、軽石集積部と非集積部で差がない。堆積層中いずこでも。

(3) 軽石は、微細な気泡を有し、或いは繊維質ガラスで構成せられ、化学組成は、灰石中山口礫次の分析による、複輝石斜長石英粗面岩と同一である。

(4) 類質灰石碎屑物及び外来物質が、シラス中そこここに分布し、炭化植物の残存も亦、稀れに見出される。

古藤博士のガラス質熔岩、松本博士の二大火山カルデラ泥熔岩を、山口博士は、風成物ではなく火山物質の水成堆積だとし、海底噴出だと言ったことがある。

シラス層に関する前述の諸事実は、噴出口より高く抛出せられた、水底堆積層だとするには、具合がよくない。著者は、ベークライト固定法で、野外自然状態のシラス薄片を作り、検鏡したのであるが、シラスと非熔結乃至弱熔結凝灰岩のガラス質組織とは、殆んど見分け難かった。ここで著者は、場所により、灰石がシラスに漸移することを想起する。

粒度分析は又、堆積機構の追究に寄与するだろう。1/16mm, 4mm 外の細粗両側を除いたシラスの粒度分布曲線は、気流によってよく篩分けられた諸例に比して、分級が極く悪く、唯だ、クレイタ湖地方の旧軽石のみ、よく対比し得る。その旧軽石は、熱雲式噴出物であると註せられる。かくて我等は、シラスも亦熱雲乃至軽石流に同ずる、と推定する。その量とエネルギーは巨大にして、顕微鏡写真や、粒径加積曲線図等を提供している。

次の報文では、先ず、構成岩片や粒子の形状を精査する。シラスは、多量の軽石・石質片・碎屑性結晶等を含む、概してゆるい火山礫凝灰岩・凝灰角礫岩・火山角礫岩で、含有軽石は、微細なものよりメートル大のものに及ぶ。

(1) 碎屑片は円磨形より尖角形まであり、前者は大、後者は細の傾向を見る。尖りの方向は、シラス層中で縦横いろいろの位置を取っている。

(2) 細粗の碎片性基質は、鏡下で無色粗鬆な凹形尖角を持ち、最微細片の形状も、電子顕微鏡で認識可能である。この特殊の形状は、軽石又は高度の気泡性ガラス熔岩の流動の結果だろう。

(3) シラス組織は一般に柔軟で、時に空隙性を減

じ硬変することがある。多少共熔結気味で水平方向への偏平岩片を含有する。

(4) いずれの堆積層も、側方へ追跡すると別層に出遭う。往々にして、細粗粒子の平行方向の混合相がある。ピーカ中に、粒径不整の火山灰群を流し込むと、ガラス面に同様の相貌が現れる。

その他、外来安山岩片のレンズ又は帯状堆積が、層中に存在すること等よりして、シラスの噴出が単一でなく、引続き数回に亘り、かつ集積条件は不整であつたらう。

多数の薄片検鏡では、組織に方向性が認められず、総べてガラス繊維、或いはアーチ構造をしており、分級は不良である。

改めて、シラス粒径全般に亘る分析を行なったところ、やはり、クレイタ湖地方の旧軽石とよく合致する。

炭化木は、シラス層中一般にある訳でなく、限られた範囲に存在する。而も、下層以外の崖中、上下各部に散在し、一定高さには並ばない。直立せず、斜めに倒れ又は横臥し、稀れに逆立ちすることがある。シラス流が、植物を薙仆した際に、熱雲で包んで炭化したことを示唆する。

実験によると、シラスが灰石に熔結するのは 920°C 程度で、従って非熔結シラスが 900°C を越えることはなかつたらう。

軽石塊より、種々の方法で粉末を作り、鏡下で観るに天然シラスと変わらない。

以上の根拠から、種子田は、シラスが熱雲式軽石流の大小が、火山斜面を遅速さまざまの早さで流下しつつ、カチ合つて粉碎せられた火砕流である、と結論した。シラス軽石流説は、まず完成したのである。

Part III, IV, VI, VII は、鹿児島市西北部、宮崎県高原地域、薩摩半島南西部、南大隅地方の現地調査で、共通に、先ず、地方の地質図を掲げて概要を述べ、灰石・シラスに注目して層序表を載せる。次に、その構造と組織、粒度・化学組成等を明かにしている。地質の地域的特徴の外は、要するにシラスの共通性を示し、総じて既述どおりであるから、上の四編を通じ、特に注目すべき事項のみ摘録する。

III の鶴田・樋脇・郡山地域の地層は、表層ローム、シラス、上・中・下三層の灰石と、その下に基盤岩がある。上・中の灰石は遠隔地の大規模噴出物の流入で、下層は局所的に広く分布した、裂罅噴出であろう。中層灰石～シラスは含有鉱物表で見ると一体で、下層とは異なる。シラス層は一方に厚さを増すことがない。

外来安山岩の集積パイプの説明が、前報より詳しくなった。粒度分布中央値の最大が、宮之城より鹿児島市へ大となる、と述べている。

IVでは、宮崎県高原地域を調べた。最下底は四万十層群で東部に存在する。灰石 I は日向前田駅の南一部に限定され厚さは不明、岩石学上の組成鉱物より、沢村の国分地区萩の元熔結凝灰岩に繋るか。噴出源を、沢村は阿多カルデラ火山と考えたが、寧ろ著者の旧霧島軽石流²⁵³⁾で、加久藤カルデラ火山に結付くと考えたい。灰石 II は、日向前田駅の南方崖に露頭し、それより駅の北と北西附近一帯に存在する、斜長石安山岩で、えびのでは5m程度熔結しない。旧霧島火山降下物に不整合に覆われる。この灰石は、旧霧島安山岩との関係をお不明で、加治木北方十三塚原底層の、熔結凝灰岩と関連するか。

灰石 III の露頭は、主に岩瀬川の岸に見える。シラスと共に、沢村の入戸軽石流及び太田の大隅軽石流に当る。シラスより生じた二次シラス、新霧島火山灰類が重なっている。

宮崎県下でシラス類似の昌明寺層は、軽石流湖成層だが、国分層群凝灰岩・二次シラスと共に、粒子はシラスより若干分級がよい。

VI は、薩摩半島の南西部、枕崎、加世田・野間岬方面。この地域では、阿多火砕流堆積物が、不整合にシラスに覆われていて、それは、一箇の典型的熔結凝灰岩である。岩石学的には、漸移する三枚の岩相を呈する。シラスは、40m厚淡灰から白色の堆積で、この分布南西限のシラスも、軽石流の特徴的粒度を示す。

VII は、根占・大根占附近を中心の調査である。基盤花崗岩・礫層上に、阿多火山火砕流物質が広く分布し、局部的に始良火山物質が載る。後者は、降下軽石が先行する熔岩・非熔結軽石流で、凡そ鹿児島湾北部に向って、広さと厚さを増す。阿多火山物質は、上下二部に分け、間に礫層を挟んでいる。下部阿多火砕流は、含軽石礫層上に在る一部熔結軽石流で、上部阿多は、降下軽石・軽石流、含軽石シルト砂礫層を一枚敷いて、一部熔結の軽石流が重なる四枚の累層である。シルト砂層は炭化木を含む。

粒度分析の結果、始良、上・下阿多三枚共軽石流の特徴を示し、上部阿多は下部阿多より細粒で、原因はSiO₂量の差にある。

種子田は、一つの問題を提供¹⁰¹⁾している。鹿児島湾北辺の軽石流類は、上が始良系で下が阿多系なのか、総べて前者に属するか。軽石ガラスの偏光率には、上

下差がないというのである。

彼には、このほかに、鹿児島市南郊で五位野火砕流堆積物を発見した報文¹⁸⁶⁾があった。五位野南1kmの海岸に、四万十累層上不整合に乗り、厚さ約20m、含有ジルコンの群色より、初～中期鮮新世に属する。

これは、荒牧重雄が、嘗て伊作火砕流と見たものではないか。彼は、五位野南方に、四万十層群の泥岩を覆い、海岸に20m位いの崖を造る、と記した。太田良平は、伊作軽石流を鮮新世*とする。

えびの地震に関連し、該地域の地質を述べて、シラスに及ぶ記述がある。それは細粒で、淘汰作用を受け稍や分級傾向がある。その粒度、構成粒子の諸性質が、この地のシラス類を、地震に対し弱体化せしめていようと述べる。

別に、二編の報文は、火砕流物質の粒子形態・粒径等に関する、岩石学的計測方法の研究で、それを、崩壊性と結ぼうとの考え方がある。崩壊に関するその思考は、土の内部摩擦角説が潜在して、若干専門外の着想を脱しない。

種子田の功績は、シラス軽石流説の確立であり、地質学的研究であって、所説は示唆に富む。工学は本領でない。

9.3 荒牧重雄

地質学関係の報文類には、荒牧重雄の引用又は参照がよく見える。元来火山地質の研究が主で、シラスは、その視野に連なる事象として登場する。昭和32年広義の熱雲現象を定義し、火口を離れたマグマの、本質物質の発生するガスが、岩石粒子とエマルジョン状態となって、地表を急速に流下するのを火砕流と呼んだ。これを分類して、規模の大小により三つとする。単位流出量の大なるものが軽石流で、陥没カルデラを生ずるが、その例中に始良・阿多カルデラを挙げた。規模の大小は粘性の大小に対応し、軽石流は、粘性小に流出量大なる場合を指し、上二例は、軽石流中又大規模な部類に属する。粘性小とは、発泡盛んというに等しい。

五年後、阿多カルデラ南縁附近に、降下火山碎屑物の熔結凝灰岩累層が存在し、熔結部中に粒度差明かな傾斜層理が見られ、火口附近急崖上の、降下堆積物である、と²⁵⁴⁾言った。この意味は、松本唯一が、その地附近の熔結凝灰岩を、旧阿多カルデラ生成物とした

* シラス地帯の火山層序 (昭和42年度試案)

ことへの批判で、同趣旨の発表はなお続く。主論文は⁹²⁾、長崎鼻・赤水岳附近の岩石・地質を具体的に検分し、火砕流と、落下火山砕屑物に基く熔結凝灰岩の区別をして、赤水岳・魚見岳の凝灰岩は、赤水火山・魚見火口の降下物に由来する、と結論している。内容詳細だが、要するに、これらが本来の阿多熔結凝灰岩ではない、との主張である。この前年荒牧は、火山学会と地質学会と二度、同主旨の講演を行っており、後の場合は、松本唯一が、同じく自説の一部を訂正したのである。批判と訂正と、いずれが先立つかを、文献上では断定し難い。

宇井忠英と、阿多カルデラ関係の共同研究が、二、三編ある。薩摩半島では、南岸から伊集院附近⁹⁵⁾迄分布し、全体一回の大噴火で生じた岩体である。熔結度が高いことは、高温を意味し、400m以上の高度差を越えて流走しているのは、火砕流の厚さが、それよりも厚かったことを示す。又急斜面の薄い岩層のある事実より、流速の大であったことが窺える。

なお、伊作と五位野の線以北には、別の熔結凝灰岩が分布する。それが伊作軽石流で、水平に近く堆積し、高所を占めるので、阿多系よりは古い。伊作・阿多・入戸火砕流堆積物の性状比較表がある。

大根占附近は、阿多カルデラ生成関連物の、堆積模式地で、研究者の必ず説明する地区である。著者も亦、層序図を掲げて詳しく述べる。第三期基盤岩上に砂礫層類を敷いて、10m厚以下の降下軽石があり、整合的に阿多火砕流が、白・褐色非熔結部、熔結部、暗褐色の非熔結部と重なり、併せて総厚80m位。その上は、始良系の白色降下軽石、非熔結部、新期火山灰土層の順となる。阿多最下部の白色非熔結火砕流の一部には、降下火砕物質を含むらしい。熔結部は二枚のCooling unit (原文による)、以下の部分は数枚の低温流出層で、火口を隔たらぬ降下軽石の薄層を挟んでいる。

始良系の降下軽石は、所謂大隅降下軽石で、層厚はゼロから30m迄変化し、噴出口は桜島位置である。降下軽石直後に入戸軽石流が襲った。

著者は、肉眼の特徴・顕微鏡の特徴・班晶紫蘇輝石の屈折率等で、阿多火砕流物質の分布を判定し、従来の研究者の結果と対比を試みた。

(1) 松本唯一が、薩摩半島の阿多泥熔岩とした中には、伊作火砕流を含んでいる。

(2) 松本は又、赤水岳・魚見岳の熔結火砕岩を、阿多泥熔岩としたが、これは局部的降下火砕物である。

(3) 鹿児島市南郊五位野附近には、伊作軽石流が現れている。太田良平が、始良軽石流とする物は、一部伊作、他は阿多火砕流堆積物であろう。

(4) 高隈山とその周辺で、太田等が始良火山旧期軽石流と記したのは、総じて阿多火砕流と思われる。

このうち、(2)に就いては、松本が、既に三年前訂正を行なっているから、指摘は適正でない。

(5) 国分北辺の重久軽石流は、鹿児島湾北部周縁の、山口鎌次の暗色灰石に相当し、層厚、班晶紫蘇輝石の屈折率、本質岩塊のガラスの化学組成等より、阿多火砕流堆積物である。平均粒径の水平分布傾向から、噴出源は南方にある。

桜島以北の阿多火砕流物質の熔結度が低く、非熔結部がよく保存せられるのは、咲花平と吉野台地東縁を結ぶ山稜が流入を制限し、火砕流上層の細粒低温部が、それを越えたからである、と。

阿多火砕流の一般の堆積相は、大局的には一枚の単位で、単一火山活動に基く。細部を見ると、局部地形に従う、flow unit (原文による)が二枚以上あり、それらのcompound cooling unitが構成せられる。非熔結部から強熔結部への急激な漸移があり、薄い層でも強く熔結するのは、堆積温度が高かったことを示す。

本質及び異質岩塊の粒径に細・粗二部分があるが、漸移するので明瞭な境界はない。この区別は、噴出の初期と後期の岩相を表現する。

阿多火砕流に関する、荒牧の最も大きな主張は、その噴出源が、松本の阿多カルデラ外、指宿東北方湾内であり、松本の推定カルデラは正確でないだろう、という点にある。まず、その推定形状は、他の日本のクラカトア型カルデラの様に、整った中央陥没型を示さない。次に、阿多火砕流中の石質岩片は、安山岩質火山岩と堆積岩類で、花崗岩類の含有は稀れである。一方、松本の阿多カルデラ西半(揖宿カルデラー上田註)内には、花崗岩を噴出した火口が多い。地下浅いところに粗粒の花崗岩体が存在し、或は、東岸南大隅の岩体まで続く可能性がある。更に、ブーゲー異常の等重力線の形は、松本のカルデラに沿わず、負の異常中心は、輪郭外の指宿東北海中にある様だ。

とは言え、火砕流噴出後に、阿多カルデラ部分が陥没した可能性はある、と理由を挙げ、大観して鹿児島湾は、volcano-tectonic depression (原文による)であることは間違いないという。

荒牧の研究は、引続き国分地域始良火山火砕流へ移る。その分は、上田の前報(その5)に大要を尽した

ので割愛する。

外に、阿多・始良両火砕流の噴出年代の資料があるが同じく上田が考察済みである。

加久藤盆地の地質に関する報文¹⁸⁸⁾も、既に要約したので再録しない。文末に地滑り災害写真が添えてある。

始良火砕流基地中の火山ガラスを分離し、冷封試験管型リアクターの水熱実験により、班晶石英と斜長石の同時晶出条件を決定して、噴火当時のマグマの温度・圧力を求めると、760~790°C、1700~1900バールである。阿多シラスに関する、種子田の温度より低い。阿多火砕流は高温で、始良軽石流は低温といわれるのは、上の資料に基くか。但し、荒牧は、高須一古江小島附近に、粗粒低温の阿多火砕流が堆積する、と記載する。又、湾北辺へ流入したものは低温である、としたことには既に触れた。

荒牧の報文類を一貫する特徴は、新説に富むことだ。もろもろの所説に対する異見・訂正、自説をも含めての改訂等が多く見られる。論文内容は稠密具体的で、議論はハッキリしている。目立つものを掲げると。

(1) 松本唯一想定のア多カルデラの輪郭は正確でなく、火砕流の噴出源は僅かにその外にあるだろう。

(2) 始良・阿多両カルデラ形成後、地殻変動は起らなかった。始良火砕流類の噴出源への逆傾斜は、層の厚い熱雲が原地表を包んで、その低地に沈静したのである。この事情は阿多火砕流も同断で、高い山稜を越えて分布するのは、その種の堆積機構による。

(3) 重久軽石流が、阿多火砕流であることは確定せられた。以後、異論を生じない。

(4) 各地の火山層序に関しては、数多くの異見、新見解の提出があるが、深入りする筋でないので省略する。

(5) 加久藤層群の見直しがある。自説中でも、加久藤火砕流は、更新世末で33,000年よりは古いとする記載と、中部更新世だとする¹⁸⁹⁾ものとある。こういうことは、化石の発見でもない限り、決定困難だろう。

荒牧の参照文献中には、種子田定勝の報文が一件も見えない。共通専門分野の研究者間で、不思議な気がする。

9.4 太田良平

この人の研究については、前節で取上げたので、重複を避けて叙述する。その後、内之浦地域²⁵⁶⁾・羽島地域²⁵⁷⁾・川内地域²⁵⁸⁾、宮崎県の野尻²⁵⁹⁾・都城地

域²⁶⁰⁾の地質研究報告と、5万分の1地質図幅が出てゐる。

自らいう如く、太田良平も、シラス研究を直接の目的としない。5万分の1地質図幅を作製し、必要上、南九州地方の火山層序を組立てているのだが、その際、シラスを避けて通る訳にゆかぬ。以上が、太田とシラスの関り合いである。公刊の図幅類は現在九編あり、地域毎に詳しいが、シラス研究の主要文献は、二つとしてよい。一⁸¹⁾は原論と見るべく、研究方針について述べている。まず言葉の整理、次に火山層序の確定、続いて、化石類からの地質時代決定と、炭化木による絶対年代の推定、更に軽石流の岩質の対比に基く同定で、一つとして欠けてよいものはない。このうち、「シラス」という言葉の意味を、「シラスとは地質時代・成因・噴出源などに関係なく単に白色砂質堆積物を指す地方的な俗語であって、その岩相が白色かつ砂質でありさえすればよい。」と、地方俗語として、現実に使用せられている内容を、一切包括する広い定義を与えた。二⁸⁶⁾は、シラスの解説と鹿児島県内各地のシラスの説明で、主著と言ってよい。5万分の1地質図幅の記述と重なる部分があるが、太田のシラス論は、概ねこの文章で知ることが出来る。結言の中で、「筆者の意見はかなり独断的であるかもしれないが、」とし、「なお議論の余地の多いことは承知している、」と言うので、立場はよく分かる。その当然として、見解は、時の経過で変ることがある。

以下、太田自身が挙げる点をも含め、我が眼に映ずる問題点を、考えることにする。その中には、既に決着した事実もあるが、本文は「研究史の整理」であるから、そこに筆の及ぶ場合もある。もとより著者は地質学の門外漢で、論理の理解以上に出でないから、守備範囲を逸脱しない建前上、質疑は許されようが、判断を差控えて臆黙せざるを得ない場合が多い。

1° 定義又は言葉の整理

太田の定義は上記の如く、趣意明瞭。この定義は、併し、実用上不便を感じることがある。工学の立場から対象を限定する場合、堆積岩と軽石流非熔結部とは、力学的性質上区別せざるを得ぬ、というのが如きである。国分層群中層下限の砂岩等は、編入せぬを妥当と考える。

2° 二次堆積軽石層 (太田指摘問題)

この存在は、現在多くの肯定者があり、シラス関係の文献上普通に見られる文字となった。一面疑問も解消していない。嘗て著者が、遠藤尚に対し、太田が降

下軽石二次堆積物の典型例とする、垂水駅裏の成層軽石崖を、「どう思うか。」と個人質問した際、「あれは、太田さんがいうのであって……、」と、気乗薄の返答が帰って来た。又、その二次堆積軽石層の“見分け方”に関し、露木利貞の見解を叩いた折、「軽石流だって流れて来るんだから、扁平な軽石塊は、横臥することが考えられますよ。」と、批判的であった。この点は、太田が、入戸軽石流の二次堆積物と見た十三塚原を、中福良軽石流なりとする人だから、当然かもしれない。

但し、二次堆積軽石層は存在する。論点は、その分布域である。

3° 国分層群に覆われる古期軽石流(太田指摘問題)

萩の元・隼人・河頭軽石流等は、国分層群に覆われている。大隅半島の百引、薩摩半島の伊作軽石流も、大口西方山地のものも、相当するであろう。鮮新世最末期の噴出物で、始良カルデラ位置近辺より、大規模な火山活動が起ったと考えられる、と太田説である。

ところで、荒牧重雄の国分地域主要地層図には、国分層群を示さないが、中山義雄の調査結果が載っている。萩の元軽石流は、荒牧により加久藤火砕流に比定せられている。

4° 軽石流の流下形態(太田指摘問題)

始良火山から、宮之城方面に進入した入戸軽石流は、さらに比高500mの山脈を越えている。人吉盆地の始良軽石流は、吉松方面より、同じく比高500mの山脈を越えたことになる。45km或いは50kmを隔てた地点で、この高さを越えた事実は興味深い、と記している。高温の阿多火砕流が、噴出口近く数百米噴騰して高地を包んだと解する、荒牧重雄・宇井忠英の説に、“低温遠距離もか”と、暗に疑問を投げ掛けたのである。このことは、始良軽石流の噴出源への逆傾斜に関する、横山勝三の研究の部で触れた。沢村孝之助・太田良平等は、軽石流の陸上這上り説を採って来た経緯がある。未だ、いずれとも解明されていない。

5° 入戸軽石流と大隅軽石流

太田良平の所論で最大の問題点は、入戸軽石流と大隅軽石流との関係であった。始良火山軽石流(旧期—入戸—上田註)の大量流出後、始良火山陥没カルデラが生じた。その後、垂水地区では、本城川等の運ぶ岩屑が、山麓に扇状地を形成する。この垂水砂礫層中に、高隈山地内の始良火山熔結凝灰岩塊が含まれる。始良火山軽石流かつ鹿児島湾陥没以後の堆積の筈だ。その砂礫上に旧期ロームが載る。後、始良カルデラから多

量の大隅降下軽石が、鹿児島県中部より東南部一帯を布覆し、山地のものは、やがて雨風で山麓に押流され再堆積した。即ち、二次堆積軽石層である。軽石降下と殆んど間を置かず、大隅軽石流が広く大隅地方を襲った。この表面も洗流されて、諸所に二次堆積軽石層を形成する。緩傾斜面の連続する笠野原台地河岸では、二次堆積軽石層あり、軽石流表面が削剝された、いわゆる二次シラスも成層併存する。始良軽石流は、本城川上流、高隈川河岸、鹿屋市街地附近等に見出されるが、二回以上の流出である。

この段階で、上田は一つの疑問を懐く。原著者は、大隅降下軽石以上の始良火山新期軽石流類は、共にカルデラの東部から吐出したであろう、と推論するのだが、広く地質図を見ると、降下軽石は、カルデラを囲み湾の南西岸にも分布するが、垂水地域図幅によると、大隅軽石流は、高隈山地の東方にのみ広く展開して、その西側大隅半島内には全く跡を止めない。太田も編纂に参加した、20万分の1鹿児島県地質図*で確認すると、湾北東部の亀割坂より東北東へ北俣・閉山田を経て、宮崎県境の宇都を結ぶ線で、西を入戸、東を大隅と、所在が截然分離する。

入戸・大隅両軽石流は同一物で、始良火山火砕流の最上層である、と荒牧重雄は指摘したのである。指宿北方今和泉火砕流に関する、太田と宇井忠英との異見は、この問題に胚胎すること、既述した。

太田は、次の様にいう。「国分⁸¹⁾附近の5枚のうち最上位にある入戸軽石流を大隅地方の大隅軽石流と考えている人があり、岩質その他よりあるいはそうかも知れない。」その後、「今回⁸⁶⁾(昭和39~41年—上田註)の調査により両者は異なるものであることがわかった。財部北方の数か所の露頭では入戸軽石流および旧期ロームの上に不整合に大隅降下軽石および同軽石流が載っている。」問題はまだ、全面解決とは行かない。分布が、局限分離せられる答は出ないから。ところで彼は、垂水・鹿屋図幅中、垂水周辺、本城川流域の始良軽石流類を、阿多軽石流とし、その下位に伊作軽石流を設ける様に改めた。すると、自然に連動して、“垂水砂礫層中に始良火山熔結凝灰岩塊を含有する”という項を、“阿多若しくは伊作熔結凝灰岩”と書替えが行われる。旧始良先カルデラと、新始良との両軽石流の概念は、この地域に関して消滅する。それ以上は踏込まないとしても。

* 昭和42年3月

結論すれば、大隅軽石流実は入戸軽石流の東・南方延長であった。太田は、都城地域の図幅で、塗色を全面改める。その調査は、木野義人と共同で昭和46～49年度に実施せられた。

6° 軽石流同定問題

太田の軽石流分類は細かくて数が非常に多く、今はかなり訂正を受けている。荒牧重雄がいう flow unit や cooling unit の考え方は、その批判的視点を示すのではないかと素人の憶測である。従って又、岩体の同定や層準決定等に、根拠不十分の場合がある。例えば、志布志附近の夏井軽石流上に、旧期ロームを隔てて凝灰岩層があり、池田降下軽石の東方延長だとする記載は、理由の問い様に困窮する。岩体の現地追跡、鏡下の観察は行われているが、光の屈折率や、造岩鉱物・化学成分の量的分析を欠くから、複雑な地層帯で、離れて露出する岩体を同定すること、さぞかし難事だろう。文献⁸⁶⁾には、鏡下多くの軽石流の、基地と斑晶鉱物の含有量を、目測で分類した参考表がある。軽石流は19で、隼人・百引・阿多、川内・新川・重久はそれぞれ同一群に入り、入戸と大隅は別群となる。

複雑に重なる大小さまざまな板を、全体を見ずに整序することの困難は察せられるが、基準とする最も確かなものを見極めて、出発するよりないだろう。

9.5 木村大造

地元の研究者として、木村大造はシラスとの接触歴が長い。昭和24年、西力造と共に田町正春の調査団に加ったのを契機とし、西との協力でシラスの研究に入る。それが研究第一期で、昭和30年代初期まで。暫く期間を置き、42年頃より、主に春山元寿との共同報文が出るようになる。彼の研究は、シラスの土質特性問題と、災害調査及び防災工法の面とに要約することを得ようか。実務の場面で、鹿児島県土木部・林務部等と密接であった。

報文類は、内容の繰返し重複等で、多少錯雑する趣があるが、実際家の力量を備えている。

第一期研究の発足は、前記豪雨被害の調査で、この時、シラス災害の要点をあらかじめ捉え⁸⁶⁾ている。要するに、水とシラスの関係ということで、災害発生の必要条件を四つ挙げてあり、当然の内容である。力学的特性について、

(1) 高い急崖を形成して垂直に近く安定する。

(2) 極めて緩勾配でも、容易に水蝕を受ける。という、二つの矛盾した性質を有するとし、原因を模

索した。“我々は初めこう考えていた、”

「シラス層の急斜面を保持し得るのは、土の内部摩擦角と凝集力の結果である。この凝集力はコロイドに依るもので、水で流失して凝集力を失い崩壊が起こるのではないか。」上田が、現場実験からシラスの固結現象を信じ始めたより、約15年早い。

本報の続編⁸⁶⁾で、粒度がよくて粒子間隙を埋めるので、安定するのに有利か、同時に又、自重で緊着強固となるだろうか、と想像しているのは、想像であって事実ではない。直接検鏡すれば容易に真相は判明する。コロイドの含有について分析の結果、さしたる量は存しない、といった別報¹¹⁾がある。

雨水の崖面附近への浸透状況を調査して、崖縁に直角の断面内に、等含水比線を表示したものがあつた。斜面の勾配は65°と90°で、斜・上面シラス地肌露出のまま。縦横方向共浸透は意外に浅く、かつ鈍い。横方向の影響範囲は、たかだか1～1.5mを出でない。特に90°の場合上面浸透のみで、崖面は、殆んど影響がない。大雨でも含水比30%未満である。傾斜すると斜・上面、殊に崖肩附近の浸透が多くなる。60°を下れば、雨水の影響が甚しく、素肌で放置できない。この調査の等含水比線の走向から、収縮による剝離崩壊ということを述べた。

更に細かく、地山シラスの浸透実験を試みる。土中に穴を穿ち、水を充たして吸込時間を測定し、吸込を待って水を注ぎ、繰返し三度した後、中心断面の浸潤範囲を調べた。又、地山にハンチ付き片持テーブルを切出して、中央部に水溜めを掘り、滴水状態を保ちつつ、下面への浸透状況と、既設諸点の時間一含水比曲線を求めた。下面の破壊状況と所要時間等を観測し、シラスが、意外に崩壊し難いものだと言っている。この実験は、三木五三郎の前例があり、謂わば追試に当たるが、破壊迄の所要時間には大差が見える。三木は鹿児島市二軒茶屋地先、木村は同唐湊で、土質のまず似たものと思われ、試験体の規模の問題に帰する。三木は大形で破壊が早く、木村は小型で遙かに遅い。前者では、シラスが過飽和の水に弱いと見え、後者は、意外に耐水性があるとの印象を与える。ほかに、類似の方法による側壁破壊観察記録があり、これも、耐水性は大だと結論できる。その理由に関しては、更に追求したい、と。

茲に一つの大きな問題が生じた。模型の規模により、大差が生ずる同型二つの実験の、いずれの結果が、実際の工事段階に妥当するか、の見極めがつかない

ことである。両原文は共に、それに触れない。いずれも一回ずつの実験で対比がないから、不可能な訳である。実験計測は、供試体と加力法との相対関係であって、固定した数値が存在するのではない。一般に“この実験はこうだった”というのは、唯それだけのもので、意味のハッキリしないところがある。

シラス地山の流水侵蝕の現場実験は、 $3^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 迄9種に勾配を変えた素掘水路を設け、 $0.015, 0.007\text{m}^3/\text{sec}$ の流量で通水し、規定時間毎に削剝土量を測定した結果、最大侵蝕力は勾配 45° の時に生ずるといふ。資料はその通りを示している。理由づけを、数学的解析に求めようとした努力は、未了で残った。

シラスと表土の、含水比変化による膨張収縮の報文がある。土質によって差があり、それが土層間の安定を害する一要素だろう。シラス自体は、縦方向には変化するが、横には殆んどそれが起らない。

春山等との共同で行われる後期の研究は、シラス災害の調査整理と対策工法が主で、えびの地震災害を含んでいる。既述の文献²¹³⁾は主著と見做してよからう。

(1) 雨に関する限り、

a) 垂直近い急勾配に切って、斜面の受水量を少なくする。その時素肌がよい。

b) 草で十分に斜面を蔽い、直接の流水と地肌を遮断する。必然適切な勾配を採る。

(2) 地震に対しては、緩やかな勾配が有利である。實際上、切取土量の問題が生ずる。

えびの地震後の、山腹復旧工事に対して、工法試案を提示した。それは、シラス肌全面被覆の階段張芝工で、(2)と(1)-b)との結合である。翌年の豪雨期に堪えた、と報告せられている²⁰⁵⁾。

木村の初期調査報告のうち、“シラス岩体の自然崩壊崖は 88° が最も多い”というは有名である。この時、崖錐では 40° である、とも言っている。

今は懐しい故人で、有力な経験工学家であった。

9.6 山内豊聡

多面貌である。昭和35年、シラスがセメントとよくなじむから、盛土の安定処理に使用できる、と発言したのが端緒で、多数の論文類が見える。斜面安定論、シラス埋土又はシラス雑り沖積土の液状化問題、シラス災害と防止法等。安定論は、インターロッキング抵抗説に拠る、滑り破壊論の前期と、引張抵抗を考えた脆性破壊論の、後期とに分かれる。此の人の報文は、前節で相当頻繁に取上げたので、筋道を通すことと、

補足を加えることで取纏める。

1° 斜面安定論

インターロッキング抵抗説は、ナマのシラス地山の斜面安定へ解決を与えないこと、繰述したので省略する。昭和44年の講演²⁶³⁾を経て、村田秀一と共同発表の翌年の報文²⁶⁶⁾で、比較的硬い、自然状態の乱さないシラス供試体の、試験を行なったのが、脆性破壊論の萌芽であった。この時、試料は固結力を持つといい、引張強度の作用ということ、強調したのである。この後二、三の予備的報文があって、有限要素法による急崖の応力解析の論文²⁶⁹⁾が出る。それは叙述済みであり、「結果について、現実の現象と仔細に対照し、考えて見度い。」と上田は書いた様に覚える。今回、読返して考えたところ、依然として、同一の言を繰返すばかりではない始末である。乞う、いま暫し。この和文がある²⁶⁴⁾。文献²⁶⁵⁾は、その続編及至進展といふべきか。地震効果を取上げた、シラス崖の応力解析で、震度0.3を使用している。斜面近所で引張応力域が広がること、応力度は崖先で著しく増大すること、勾配 45° ならば、依然引張応力域は発現しないこと、等を結論している。いふ迄もなく一連の論文だから、これも、“考えて見度い。”

2° シラスの強度特性

自然シラスのいわゆる付着力Cと、内部摩擦角 ϕ との考察がある。山内は、シラス切土は緩やかがよくと結論し、道路公団の、南九州高速道路の 45° 勾配の切土設計を支持したから、滑り破壊論を省みる必要が蘇生した。その予備資料を考えている訳である。溯って、切土の扱い方に関する思考は三転している。初期、インターロッキングで斜面安定を論じた頃は、当然斜切りが前提である。昭和44年²¹³⁾、路脇は、平場を残して急に切の方が望ましいようだ、米国に於けるレス土緩斜面の、水侵による全面崩壊写真を示した。脆性破壊論に基く有限要素法の解析で、再び緩斜面説に立戻った。

乱さないシラスの自然含水状態の強度定数²⁶⁶⁾に関する論文中、次の様に述べている。地山シラスは引張強度を持つので、自然と人工切取とを問わず、斜面の脆性的崩壊が発生して、現実の円弧滑りは起こらない。脆性破壊が、かかる斜面崩壊の要因である。ただ、従来、斜面安定も剪断破壊問題として取扱い、計算は、せん断抵抗角と見掛けの粘着力を使ってきた。自分は、引張強度も加えて検討すべきだと考える。かくて、乱さない試料の、自然含水比での圧密排気試験

を行なった。応力・ヒズミ曲線にはピークがあり、その軸差応力と残留軸差応力との差が顕著である。前者のモール包絡線は、引張強度のため τ 軸の切片が大きく、かつ側圧の増加と共に概して σ 軸に傾く。それは「破壊面でのシラス粒子の破碎によるものであると考えられる。」後者の包絡線は直線である。ピーク時の内部摩擦角 ϕ_f と、残留応力時の ϕ_r の関係では、「したがって ϕ_f と ϕ_r の差が、乱さないシラスの持つ固結効果とインターロッキング効果および表面エネルギー効果の、摩擦の成分に与えている影響であるといえる。」と、慎重に言葉は選ばれている。続いて、引張強度の見かけ粘着力への寄与問題が展開する。原文は、側圧の大小で C, ϕ を二分するが、今は筋道を通すに止めて畧述する。「 C_f と C_r の差が、シラス特有の固結効果とインターロッキングおよび表面エネルギー効果と考え、」岩石の剪断力の考え方に則り、断面に垂直応力のない時の見かけ粘着力 C_0 を、シラス資料に適用して、固結効果による成分とする。そこで、

$$C_f = C_r + C_0 \quad (9.1)$$

を導き、全粘着力は、インターロッキング効果と表面エネルギー効果 C_r と、固結効果 C_0 との和である、という。変形と応力度は相対的だから、その成分も亦変形に相対的であろう。その様相を一言すれば、 C はヒズミ初期に発揮せられ、やがて摩擦力に主役が移る。その他、引張抵抗の大なる試料では、粘着力は固結効果と見られ、その小なる物は、インターロッキング・表面エネルギー効果の成分が、効いて来る。このことは、「 C に関しては、 α （最大軸差応力時のヒズミと他の任意時点のヒズミ比、 $\alpha=1$ は応力ピーク時ということ—上田註）の小さい段階よりかなりの割合の C が發揮され、 $\alpha=1$ において100%となる。その後、 σ_c （引張強度—上田註）の大きい資料では急に、 σ_c の小さい試料では徐々に低減する。このことは、固結効果による成分は、破壊後はその効果を失うことを示している。」結論は、「固結力は一度失われると再び回復しない、瞬間破壊性の静止膠結力である。」と、上田が嘗て述べた²⁶⁷⁾のと同意である。ピークを過ぎてからは、剪断破碎面近傍は、乱れた砂になっている。

原文には、種々の問題が包蔵せられていて、簡単に尽し得ないが、深入りする余裕もないから、今はこれ位とする。引続き、強度定数に及ぼす含水比の影響に関して、報告²⁶⁸⁾がある。自然シラス中より、乱さない試料を採取して、含水状態を変え、 C, ϕ の変化とメカニズムを述べている。引張強度の最適含水比は

約12%で、自然状態より乾いたところ。 σ_c, C_f, C_r 三つながら、自然含水比を超えると、その増加に逆行して減少する。就中、 σ_c は急激に下る。 C_f の降下勾配は σ_c と殆んど一致し、 ϕ_f は σ_c に支配せられる、と。前文同様、試験は低側圧・高側圧の区分があって、原表-2で C, ϕ への影響が比較出来るが、差は著しく、特に C に対しては目覚しい。殆んど種類の試験かと思ふばかりだが、そも、低側圧と高側圧試験の意味は、何なのであろうか。本報文は、表・図・本文との間に不整合が存在し、且つ重大なミスプリントがあって、稍や杜撰な印象を受ける。

昭和45年以来、関連報文所載の公表試料採取は23箇所よりし、脆性破壊の計算基礎資料は、中でもかなり硬い、微又は弱熔結というべきものに拠っている。我々が日常崩壊の対象としているシラスは、もっと軟いのである。例えば、自然含水状態の強度定数論²⁶⁹⁾の試料、No.1~7、20~24(23欠)の11箇を、湿潤密度の指標欄で見ると、普通のシラスに近いものは2箇ある。試料番号5、22である。引張強度指標で同じく2、番号は上と一致する。引張強度は供試体形状・寸法で異なるが、我々の経験では100g/cm²以内のもので、上廻ることはまずない。間隙比も、5,22だけが1を越え、シラスは、ポーラス又は粗鬆とせられるいわれがある。かく諸指標が一致し、普通のシラスであることを示している。原図-2の $\sigma-\tau$ 包絡線の勾配でも、両者は他と区別が出来る。上の事情を無視すべきでない。

3° シラスの一般特性・その他

シラスの特性と問題点に関する文献は、解説の部に入るべきものだろうが、広く表題通りの内容を納めている。(1) 崩壊特性を水災と地震とにつき、(2) 侵蝕特性では、持続雨量と時間雨量と崩壊との関係、及び排水工設計の問題点を、(3) 強さ特性では、セン断特性構成因子論、その際に起こる粒子破碎の影響、水に弱い理由、乱さないシラスの脆性破壊の研究、(4) チュウ積シラス液化問題、(5) 有限要素法による、切土斜面の静的・地震時解析、(6) 必然的関心の生ずる、シラス地盤の動的特性等、凡そ蔽わぬところなき構文である。解説だから、研究文献類の要略である。地質部門を除き、シラス一般に関して、事項は述べ尽くされ脱漏はないのだが、取上げる研究資料は、殆んど所属グループに限られている。叙述態様は普遍的で、異見は無視する、という訳でもあるまいから、他は見落としということか。

シラス地帯の沖積土は、シラスに他の砂等を雜えた

ものが普通で、チュウ積シラスと呼び、地震時液状化の懸念があると、指摘せられている。埋立シラスにも類似現象はないかと、若干整粒した一次シラス（取崩した地山シラス—上田註）、新瀉砂の三者につき、繰返し三軸ネジリ試験の比較²⁶⁹⁾を行なった。一次シラス・埋立シラス・新瀉砂の順に、液状化し易い。砂の形と表面的性質が液状化の要因で、粒度はあまり効かないと原著者は考える。沖積シラス地盤の、地盤工学的特性について²⁷⁰⁾、過去の資料類を整理叙述したものがあつた。異なった地盤調査法の、計測値間の相互関係を、 N 値を中心に整理している。プレシオメーターのことは、さきに紹介した。 N 値は動的計測だから、静的なものとは、沖積シラスが動加力で液状化の傾向があるため、それのない土への換算値とは、相違する、という含みがある。施工例に基き、杭耐力と直接基礎の地耐力度の目安が示してある。

多彩、慧敏、変通無礙、旺盛な活動力である。

松本唯一より山内豊聡迄、以上六人を以て、個人を一応打切る。三木五三郎と田町正蕃は、研究が継続しないから別として、こう見ると、四人は火山地質関係、二人が工学関係である。後者に薄く見えるが、文献の量は、この様な割合ではない。然るに、この結果になった事情を探れば、下に帰すると思う。

「シラスに関する実質的問題が多いのは、火山地質部門で、地山シラスは工学上それほど問題がないことを、自ら映出している。」従前の、この関係が事繁く見えたのは、簡単な詰筋を読違え、手数が延びたに当る。

沖積シラスと称するものについては、シラス単独の問題に止まらず、地盤構成状態が絡んでくる。埋立土・盛土はシラスに違いないが、土質工学の常套の枠内に納まる筋である。

個人を終わってみて、機関を二、三加える方がよいかと思つた。

9.7 建設省

建設省直轄工事で、昭和27、28年に亘つて、シラスを道路材料として検討した記録があるが、全体を蔽う研究は、實質上九州地方建設局の仕事と受取つてよい。九州技術事務所を中心に、管内の国道工事事務所を含め、研究・調査・工事等の実績、見解を持っている。シラスに注目した報告類を見るのは、昭和40年頃からで、分布状態や一般性状について、記述した文書¹⁴⁹⁾を以前掲出した。啓蒙書という類のもので突込みはなく、正誤交錯するところもあるが、技術家の常

識に背かない、尋常の判断を示している。年月を経た安定盛土の、内部の締まり具合を調査した資料は、簡単だが興味を惹いた。冒頭掲載の地質図は、入戸・大隅軽石流を別物と誤っている。この文の予備資料と覚しき講演²⁷¹⁾記録があり、「崩壊箇所の地形を詳細に調べ、集水、排水、浸透水について崩壊はすべて水が原因である事を認めた。水以外の原因で崩壊した例は1件もない。」と、断定している。文献¹³⁷⁾も既出だが、法面は必ず植生等の措置をして、ガリ侵食を防止する、と書いている。

以上の諸報告は、調査初期に当り、シラスについて、整理の出来たものではない。ところで、昭和44年6、7月の豪雨災害より、事態は一変する。シラス水災の解明と安全工法の確立は、焦眉の急となった。取敢えず調査と事後処理が行われるが^{218), 272), 273)}、その経験を踏まえて、土木設計施工^{283), 274), 275)}の工夫研究に進む。箇々の報文に捉われず、その考え方を略記する。調査報告中²¹⁸⁾、「シラスは、凝集力及び摩擦力が殆んどない土粒子である。」とするのは、半面を欠落しており、水で洗われた崩壊後はその様になる、というべきだろう。唯一度の現象観察と唯一度の考察には、一般性の保証がなく、増山元三郎の“太郎の片足咳”に陥る。さて、復旧工事は、緩斜面に切り手厚い法面保護手段を取る方針にした。法面ソイルセメント被せ客土草植え、各層間なじみのため段切りを行う。又は法桙張芝併用、或いはシラスモルタル吹付等。高い切土では法尻擁壁取付け。以上は、しかし、系統的研究を経ないのだから、効果と適否の評価は下されない。ソイルセメント工法は、翌年再崩壊した。原因は、初歩的ミスとされるが、初歩的ミスが出るのは、研究が行届かないからだと批判も存する。後の三報文の内容には重複もあり、「主として道路の場合について」²⁷⁴⁾と条件が付いている。シラスを、土工事の対象として、経験的に眺める場合は、硬軟二種類に分けてよいとしつつ、多少の判定数値を用いようと試みる。数種の土質硬度計測法を比較し、使用が簡便なことを目的によく合うことで、山中式土壤硬度計を採ることとした。細いジェット水流による洗掘抵抗値は、土とかなり相関するので、補助的手段とする。二つの硬度計測法のそれぞれと、切土勾配との関係を、プロットした図が出ている。それによれば、シラス切土面の勾配は、土質に応じて区別するがよい。硬・中硬・軟と三段階に分類した。島常信のこの提案²³³⁾等については、記述済みである。それはやがて、「のり面工法の基準

案」²⁷⁵⁾の中に具体化される。本案は、切土の“土質一法勾配”の島原則的捉え方に、法面の水蝕保護を考慮し、小段切り、法肩、法尻の用心と、周辺の水処理を加えたものである。盛土法面の設計をも含んでいる。内容は、さきの災害復旧工事の線をゆくもの、と思えばよい。工事費は、在来の素朴急法切に比すれば、大変高くつくと書いている。上の盛土の法保護工には欠点があった。草が茂る前に雨が来れば、到底持たない。そこで、種子張土囊の押え工法と、ソイルセメント植生筒併用との工夫が、発表せられている²⁷⁶⁾。その他に、シラス河川堤防²⁷⁷⁾の安全実験や、熔結凝灰岩上の橋脚設置につき、繰返し水平力に対する、地耐力度の現場試験²⁷⁸⁾の記録がある。

この時期の九州地方建設局は、まず路脇・路肩の切土・盛土の合理的土工の確立に主力を注いだ、といってよい。切土については、力学的に急傾斜で自立することを認めつつ、緩勾配法面保護主義を選んだ。これは、道路公団の方針と軌を一にするもので、同じく道路だから、相影響することは物の道理であろう。

9.8 日本道路公団

九州縦貫自動車道の、加治木一鹿兒島間30kmの工事は、概ねシラス地帯なので、特性を重視して事前研究があった。その結果に基づいて、設計施工を決定するためである。勿論、高速自動車道路という、特殊条件での研究である。関連報文は数編^{279)~283)}に及ぶけれども、元来本体は同一事だから、違ったことは書いてない。図・表も繰返しがある。中心になるのは、鹿兒島市北方の吉田で実施せられた、“吉田試験土工”報告²⁷⁹⁾である。前文に記載する如く、「多種の項目について行なったが、期間の制約もあって必ずしも満足な結論は得られないものもある。」

本報告書は、概要をも含めVII項20目からなる、計画的実験であって、項目毎に目的を示し、具体的試験内容と結果を判定した、明瞭な記録で、信頼に値する正直な文書と評価する。総結論として、「シラス地帯高速道路土工設計基準(案)」が添えてある。但し、茲に簡単に要約出来る性質のものでないから、著者の注意を惹いた箇所を、摘録するに止める。

(1) シラスの硬軟を判別するに、山中式土壌硬度計が適する、というは今では異論がない。有効で簡易な点が優れている。

(2) 平面転圧に振動ローラーとタイヤローラーがよいことは、前に出たが²⁴⁰⁾、本試験結果が一部加わ

っている。他方、法面転圧機には、好適機種が見当らない。

(3) 盛土の転圧効果十分で、土は安定している。

(4) (仮設道路の排水工は、資材運搬の車輛通行により破壊されることが多く、) 豪雨に対しては、路面全体が水路となり、著しく被害を受けた。

宅地造成では早く経験済みである。

(5) 「法面勾配は切土部で、(中略)、最適な勾配の結論は得られなかった。」率直である。この種の調査研究報告類は、時に我田引水、牽強附会、帳尻合せがあり兼ねないが、流石に道路公団公明正大である。

(6) 植生による法面保護として穴工法が最適である、と述べている。それは、法が緩傾斜であることと必然に結びつく。客土で水分が保てる、地表から根が深く入る、施肥等の事後管理が行届く。

全体を通じて立派な報告である。こんな試験をしたら、しかし、随分金がかかったらうなァ。

上の解説書として読めばよいもの²⁸⁰⁾がある。表1に、あちこちのシラス性状の室内試験結果が載っており、著者等のものとは、喰違う感じもするから、もう一度、手許を確かめて置き度いと思った。シラスの硬さを判定する方法として、洗掘抵抗とN値に言及し、バラツキが大で直接設計に結びつかない、としている。山中の硬度は、この際取上げていない。図5は、洗掘抵抗が始良、阿多カルデラの中間湾内を中心に、外圍へ遠ざかる程、大より小へ移動する、整然たる等抵抗線が描いてある。これは、島常信²⁷⁵⁾の図2と同一物で、高見幸雄²⁸⁴⁾等の同趣旨の図一1とは、傾向一致しない。著者は、後者が正直であろうと判断する。前二者は、同一源よりの引用掲載で、“カルデラ近辺のシラスは硬く流末は軟くなる”との素人らしい先入見に基づいて、整理しただろう。研究資料として取上げる程のものでない。シラス斜面の崩壊は、スベリによる解析困難な場合が多いが、実態調査の結果は、直立が有利とは言いがたい、と。文献²⁸¹⁾、²⁸²⁾は類似内容で、写真に重複も見えない繰返さない。ただ、シラスの縦剝離に触れて、シラスの冷却の際に生じた、節理に沿うのだと、地質学者の説を引いている。熔結凝灰岩は垂直節理があり、弱熔結の場合にも見られるので、類推が可能だろうか。縦節理という感じは、日常経験で上田も何となく持っており、肯定し易い気持ちがある。要之、切土勾配について、数字のハッキリした根拠は見当らず、「原則として1:1.0とした。」と。或いは、山内豊稔の“45°に切れば引張応力域は生じない”

とする、有限要素法解析を援用したどうか、と想像する外はない。

一連の文献は、一次シラス、二次シラスと記してあって、軽石流か、二次堆積軽石層か、二次シラス(水成シラス)か不明で、多少概念の混同があるような気もする。

9.9 鹿兒島県

本家本元で、関心の深さと研究の必要性は、言うも更なりだが、独立のシラス研究機関がある訳ではないので、関係深い部課の技術陣と、大学等の研究者との連繫によって、事を処理して来た。土木部・林務部・企画部等が担当組織である。参加研究者は、殆んど研究社会で業績を発表し、文書類は、重複が多いので列挙しない。昭和44年、県土木部内に設けられた、シラス対策研究協議会は、広く研究者・工事経験者・実務家等を集めて研究協議の末、51年3月「シラス地帯における土木設計施工指針と運用²⁸⁴⁾」の一書を取纏めた。これを一つの代表として挙げておく。

シラス地帯の水資源は、大切な考察対象だと思うが、著者は無知なので割愛する。

地盤防災面のシラス研究機関としては、日本建築学会シラス研究委員会(仮称)(昭和38.9~40.3)、土質工学会シラス研究委員会(昭和41.10~44.5)、九州地方建設局内南九州シラス処理研究会(昭和41.7より現在に至る)等があった。

延々と愚文を綴ったが、これだけの数の研究者と、汗牛充棟の文書類の中で、参考として拙著の一葉を取上げた例外が二人いる。山内豊聰²⁹⁰⁾と筒井和三¹⁴⁹⁾である。土質工学会シラス研究会*では、少なくとも十四人の出席委員のいる席上、シラス固結破壊論が話題になった。六人が発言しているが、真ん中の上田は、終始緘黙のまま一語を出さない。当日、出席していないのだから。些細な事実として記しておく。

§10 シラスの問題点に関する諸見解

編年史と列伝と、春秋史記両つながら受容の、繰返し、捲返しノタウツ間に、最終段階の問題点は、煮詰った感あるなきや。

1° 阿多カルデラの位置

いう迄もなく、松本唯一の創見に係る阿多カルデラ

の存在を、疑う人はいない。唯、その位置が、想定区域外、僅かに北方の海中に非ざるか、と問い掛けたのは荒牧重雄で、理由として、松本のカルデラ内西半部の火口群よりは、花崗岩を噴出している。一方阿多火砕流中の石質岩片は、それを含有すること稀れだ。なお又、ブーゲー異常の等重力線の形は、松本の輪郭に沿わない。これに対し、種子田定勝は、薩摩半島中部平川海岸附近の阿多火砕流中には、花崗岩片をかなり含む、と反論する。瀬谷清の報文²⁸⁾に引用の、国土地理院原図では、ブーゲー異常等重力線は、荒牧の資料と異なり、ほぼ松本のカルデラ形に沿い、負の中心はその中にある。

2° 火山層序

諸説錯綜して分ち難い。大局観よりすれば、鮮新一更新世以前の古い火砕流類があり、人により種々の呼び方をする。伊作・百引・萩の元・川内・新川等々。このいずれが、同定せられるか明らかでない。中で、加久藤火砕流に属するものが、かなりあるだろう。それは、高温かつ大規模であった。国分層の形成を経て、約25,000~30,000年前に、阿多火砕流が、広く鹿兒島湾周辺一帯に流れた。その後、始良火山より、大隅降下軽石に続いて、大規模で最後の入戸軽石流が、広く県下及び東は宮崎県をも蔽った。20,000年より新しくはあるまい。現在シラスと呼ぶのは、大部分これである。中間に挟まれて、局所的な小火砕流類が発見されている。阿多カルデラ内では、池田湖の位置から、池田軽石流が噴出した。その年代については、新古二説がある。

阿多火砕流は、先駆的なものを別として、降下軽石を伴ない結局一枚という荒牧や、中間に異層を挟んで二枚はあるとする種子田、鹿兒島湾沿いの裂罅噴出*だという郷原保真等がいて、一定しない。種子田は又、阿多火砕流は、湾北辺には存在しないという。

3° 火砕流堆積機構

シラス上面は、水蝕以前凡そ平坦であったと考えられる。原基盤の大勢に従い、局部地形の小凹突を包み込んで堆積した。加治木・国分地域では、噴出源に逆傾斜し、一方、40~50kmの遠隔地で400~500mの山稜を起している。その堆積機構に謎がある。沢村孝之助・太田良平等は、軽石流の這上り現象と考えており、荒牧重雄・横山勝三等は、熱雲式噴出の厚さが大であれば、高処を蔽って、奔騰流走後沈静するから、山の

* 昭和44年8月19日

* 松本唯一の初期の思考と同一轍を行くものである。

背後に廻れるのだ、と解釈している。

4° 二次堆積軽石層

太田良平の提唱で、当初はあまり人口に上らなかった。現在では、文献類に普通に見受けられる言葉となった。荒牧重雄もえびの地域の調査で、存在を認めている。反面少なからぬ異論もある。太田の強調する、垂水駅裏の岩体については、横山勝三が吹抜パイプがあると反論し、十三塚原は露木利貞の別見解あり、鹿児島湾西岸五位野附近では、種子田が大部分を否定した。大規模な存在はないという方向で、諸説は一致し相に見える。後に触れる。

5° 固結現象

固結という言葉は、著者が強調したに違いない²⁶⁷⁾が、現象には、早くから人々が気付いている。三木五三郎・田町正蕃が指摘し、西力造・木村大造が明記し、山下貞二が主張した。露木利貞も書いている。現在では、建設省・道路公団みな固結力を認める。もはや、議論の餘地がなくなった。

6° 縦裂け

著者は、「シラスは引張で破壊する。」と発言したことがあり、それを、聞く人によっては誤解している様子も見えた。又、「タテに裂ける。」と言って、受け入れられなかったことも多い。その経緯は単純で、著者に十分説明の餘裕を与えず、滑り破壊論批判を頭からケガライする模様だった。“シラスが縦に裂ける”などとは、決して著者の創出でも発見でもなく、現実にナマのシラスを手掛けた実際家なら、大抵は似たり寄ったりの感覚を持っている。著者は、大して学問なぞない上、まして専門外のことに属し、ことさら異説を樹てて、何の取柄があるものか。見た通りを語る以外に、法はないのである。ところで、シラス節理論によって、縦裂けが認められ相なフンイキとなって来た。いずれ曲折はあるだろうが、部分的に肯定せられる時節が来ると思う。

7° 安定解析

今のところ、シラス切土の明哲な安定解析は出来ない。無理にやると妙なものになる。我々も、不敏乍ら人並のことは、考えも試みもするのである。建設省や公団は、如上の事実を自知している筈だ。

8° 土工法

著者は、土工事の直接経験がなく、知見も貧弱であって、事に当り、真偽・適否の程を決し兼ねる場合がある。本当は、その力がないとすべきだが、最近二、三のシラス土工指針類が出来たので、丁寧に拜見して、

研究の部で取上げて見るつもりでいる。

(第一部 了)

参 考 文 献

- 246) 松本唯一：揖宿火山の輪郭（演旨），地質学雑誌 Vol. 42 No. 501, 1935.
- 247) Tadaiti MATUMOTO: On the Formation of the Trench Bay of Kagoshima [abstr. pap. Intern. Geol. Congr. Moscow 17 (1937)], Jap. Jour. Geol. & Geogr. Vol. XIX, 1943.
- 248) do: On the so-called Aso volcanic zone, do.
- 249) Matsumoto Tadaich: The Caldera Volcanoes of Kyushu, Int. Sym. on Volc. (A sect), 1962.
- 250) 松本幡郎・松本唯一：霧島島嶼カルデラの地質（予報），地質学雑誌 Vol. 49 No. 585, 1953.
- 251) 種子田定勝：鹿児島湾周縁の董青石を含む灰石について，九大研究報告 II-2, 1950.
- 252) 同上：“シラス”の地質学的岩石学的調査，鹿児島県企画室，1953.
- 253) 同上：霧島東辺の pyroclastic flow について，地質学雑誌 第69巻 第814号，1963.
- 254) 荒牧重雄：降下火砕物質から生じた熔結凝灰岩，火山 第2集 第8巻 第1号，1963.
- 255) 荒牧重雄・宇井忠英：薩摩半島の阿多熔結凝灰岩，同上，同上.
- 256) 野沢 保・太田良平：内之浦地域の地質，地域地質 5 万分の 1 図幅研究報告，地質調査所，1967.
- 257) 太田良平：羽島地域の地質，同上，同上，1971.
- 258) 同上：川内地域の地質，同上，同上，同上.
- 259) 木野義人・太田良平：野尻地域の地質，同上，同上，1976.
- 260) 同上・同上：都城地域の地質，同上，同上，1977.
- 261) 西 力造・木村大造：シラス地帯災害調査所見，鹿児島県企画室（謄写版），1949.
- 262) 同上・同上：シラス層の特異性，鹿児島県企画室，1950.
- 263) 山内豊聰・村田秀一：乱さないシラスの静的および疲労破壊について，第24回土木学会年次学術講演会講演集 III, 1969.
- 264) 山内豊聰外：切土シラス斜面の有限要素解析と実際の崩壊におけるその意義，九大工学集報 第48巻 第3号，1975.
- 265) T. Yamanouchi・K. Gotoh: Tensile Stresses in Unsupported Slopes of a Pumice Soil, Written Dis. to 9th Int. Con. on Soil Mech. & Found. Eng. Tokyo, 1977.
- 266) 村田秀一・山内豊聰：乱さないシラスの自然含水比状態における強度定数について，九大工学集報 第49巻 第6号，1976.

- 267) 上田通夫：シラスの土質力学的特性とその原因 (その2), 鹿児島大学工学部研究報告 第3号, 1971.
- 268) 村田秀一・山内豊聰：乱さないシラスの強度定数におよぼす含水比の影響について, 九大工学集報 第50巻 第1号, 1977.
- 269) 山内豊聰外：繰返しネジリ三軸試験によるシラスの液状化について, 第11回土質工学会研究発表会講演集, 1976.
- 270) 山内豊聰外：鹿児島におけるチュウ積シラス地盤“特にその地盤工学的特性”について, 土と基礎 Vol. 24 No. 7, 1976.
- 271) 宮山 勲：シラスの調査結果概要, 九州地方建設局南九州シラス処理研究会講演会, 1967.
- 272) 藤田泰三・中山隆史：昭和44年度豪雨災害による道路の復旧工法について, 第21回管内技術研究会発表論文集, 1970.
- 273) 島 常信：“シラス”法面の災害と復旧工事, 第10回日本道路会議論文集, 1971.
- 274) 同上：“シラス地帯”土工設計施工の問題点, 第26回建設者技術研究会(共通部門), 1972.
- 275) 同上：“シラス地帯”の道路のり面工法, 施工技术 Vol. 7 No. 4, 1974.
- 276) 荒川森男・田中紀男：“シラス”法面(盛土)の植生工法について, 第21回管内技術研究発表会論文集, 1970.
- 277) 有村喜輝：肝属川シラス試験堤防についての2, 3の考察, 第20回管内技術研究発表会論文集(河川編), 1969.
- 278) 能戸 任：現場に於けるシラスの繰返し載荷試験について, 第8回土質工学会シラス研究委員会資料, 1968.
- 279) 河村忠孝：九州南部における“シラス”の試験盛土結果について, 日本道路公団 福岡支社報告書, 1971.
- 280) 持永龍一郎外：“シラス”調査と設計, 施工技术 第4巻 第6号, 1971.
- 281) 山内豊聰外：“シラス”地帯における九州縦貫自動車道の設計施工, 土木学会誌 Vol. 57 No. 6, 1972.
- 282) 原田博介・河村忠孝：“シラス”地帯での道路土工の防災対策, 施工技术 第5巻 第11号, 1972.
- 283) 谷山和則・原田博介：“シラス”地域における切土・盛土の施工例, 土と基礎 Vol. 23 No. 2, 1975.
- 284) 高見幸雄外：シラスの洗掘抵抗の意義について, 第21回管内技術研究発表会論文集(共通編), 1970.
- 290) 山内豊聰：シラス災害の諸問題, ——.