

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4)

上 田 通 夫

(受理 昭和51年5月31日)

MECHANICAL PROPERTIES OF "SHIRASU" AND THE CAUSES

Research on "SHIRASU" Disaster Prevention Part I No. 4

Michio UEDA

Studies and researches have trod into the first half of the 3rd period, that is "the flowering time."

In geological, volcanological, and stratigraphic fields researches and arguments concerning volcanic strata became active. R. Ōta, S. Aramaki and other members' reports were brought forth. Their theories and opinions sometimes differ one another in various views. But in short, there existed two gigantic past volcanic calderas of Ata and Aira respectively at the mouth and at the blind head of Kagoshima Bay that were already uttered by T. Matsumoto and much pyroclastics flowed out of. The former is considered to be older than the latter. Besides, Ikeda caldera formed after and many other small past volcanos and pyroclastics were discovered one after another throughout the district. Discoverers called them after their own style. Confusion happend, the pumice flow of a researcher may possibly be that of a different discoverer and circumstances were nearly the same with their geological ages.

Optical and chemical analyses of pumice flows gave light to the chaos. The refractive index of hypersthene in Ata flows is bigger while that of volcanic glass is inverse. Quantitative distinctions of chemical substances between the above two flows were also revealed. These methods solved and corrected a part of our mistakes in field observation, yet the sight is somewhat obscure, circumstances remain not simple. S. Aramaki, S. Taneda, and Ōba et la were main persons in this branch.

In 1966, owing to the heavy rain we suffered much damage of landslides in shirasu area. Nevertheless, papers and reports concerned are found few. A brief report on common slopes offers interesting data to us and, be it natural or artificial, most of them are so sharp as in $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$.

We have two types of opinion about slope stability, of physical and chemical cause; the former explains the stability starts from granular interlocking and dilatancy of the material, the latter relates that it is due to chemical setting. The auther gives a short comment to the former.

In engineering field T. Yamanouchi showed that shirasu-like sand easily liquefied under repeated loads in triaxial compression test. Judging from this fact, bearing capacity of alluvial shirasu ground was thought to be less than general sand ground. His indication will be of much actual value.

The behavior of rain water and underground water in shirasu zone is not yet made clear. Concerning this subject, two papers are taken up in our original.

目 次

§8 シラス研究 第三期

第三期前半 (1962~1967) —開花時代—

8-1 太田良平の研究

1° 研究の概要 (1)~(11)

2° 問題点 (1)~(5)

3° 概括

8-2 その他の理学的研究

1° 荒牧重雄の研究 (1)~(6)

2° ほか諸研究

8-3 災害科学・斜面安定・工学的研究その他

1° 災害科学的研究

2° 斜面安定の研究

- 3° 工学的研究
- 4° シラス地帯の水
- 5° その他

8.4 総括

§8 シラス研究第三期 (1962年以降)

第三期前半 (1962~1967) — 開花時代 —

研究史第三期を、前後二分する。宅地造成等規制法公布後、昭和36年末よりえびの地震発生前の42年までと、爾後現在までと。地震時のシラスの性状につき、従来資料に乏しかったが、この地震によってかなりの事例に接し、報文類もやや整った。同時にこの事件をキッカケとして、シラスに対する関心が、南九州一円の局部的境界を超えて、広く他の地域に及び、研究も活発化するのので、一つの区切りとしてみたのである。

8.1 太田良平の研究

1° 研究の概要

三木五三郎・田町正善と並んで、シラス研究史上逸すべからざる人は太田良平である。種子田定勝のシラス軽石流説、湊その他の層位学的研究に引続き、シラスの何たるか、かく呼ぶ対象の妥当なる範囲を考察、成因・噴出源・地質時代・分布域・層序等を、独自の所見に基いて整理発表した。火山地質学の立場からシラスに秩序を与え、混沌に九竅を穿って理知の光の下に晒した功は大きい。以後シラスに就いて語る時は、何等か太田の見解に負うところ無くしては済まない。彼のいうところを、おおよそ要約して見ると。

(1) 「シラス」とは白砂を意味する俗語であると、先ず元来の語義を明かし、一般に白い砂質堆積物の総称なりとする。尤も、主眼は、阿多・始良両火山の噴出軽石産物に置かれている。(これが、大体災害・土質工学で問題となる範囲のシラスである—上田。)

(2) 前報で触れた最初の小文では、過去シラスと俗称せられた雑多な範囲の岩石類のうち、阿多・始良両火山の噴出物に限るが適当であろう、と述べている。即ち、それら軽石流の発泡部、その二次堆積物、始良降下軽石の二次堆積物がこれに属する。

(3) 第四紀初め頃、現在の鹿児島湾沿い加久藤盆地迄の地溝が、地殻の弱所となり、湾奥・湾口部に始良・阿多の両火山活動が生じ、多量の軽石流を噴出した。次いで始良・阿多両カルデラ、中間の陥没の順序で鹿児島湾を形成した。

(4) カルデラ形成後、旧期ローム層や礫灰岩の堆積を齎した先駆的活動を伴って、大規模の降下軽石が、南九州一円を覆った。

(5) 直後に軽石流が続き、就中カルデラ東側一帯に拡った。この非熔結部は発泡が著しく、志布志附近では基底部数メートル程度が熔結している。

(6) 山地傾斜面の降下軽石は、水と風で山麓に運ばれ微粉碎物を混じつつ再堆積した。二次堆積層である。

(7) 軽石流が素材となっても、前項に類似の再堆積層を生ずる。同じく二次堆積軽石層で、従来は(6)と共に軽石流と区別せられていなかった。崖崩れ災害の多発するのは、これら二次堆積軽石層地帯である。

(8) 以上の成因論に基き、まず大隅北部地方の層序の試案を発表⁸⁰⁾する。これは、以後の調査によって年々改訂せられる。又、シラスの識別表を作製した。

(9) 二次シラスは、上述のシラスから再び生じた印象を与える堆積物で、軽石流の表面が水で削割せられたものを主な素材とし、他の砂泥等を混ざることあり、層理を示すのが普通である。宮崎県小林・都城附近が代表的な分布地域で、鹿屋附近のシラス台地上⁸¹⁾、加治木附近その他にも存在する。

(10) 本論文では、「各地のシラス」の節を設け、垂水附近より、鹿屋・志布志以下八地区に分けて広く県下を蔽い、必要に応じて各地区を更に細分し、阿多・始良火山噴出物の詳細につき、既存の文献類を参照しつつ叙述する。筆は宮崎県のシラスに及び、大隅・入戸軽石流の東方延長であろう、と推測する。

池田軽石流の存在を指摘したのも、この文献である。阿多カルデラ内に多くの中央円頂丘が活動して、原形を損じたが、今の池田湖はその陥没カルデラで、噴出物は、湖の東方一帯に拡り今和泉まで、南は長崎鼻の児が水近くに達している。一部今和泉泥流を先行させ、降下軽石・軽石流及びそれらの二次堆積物が分布する。この付近の重ねて精しい調査が、別に行われている⁸²⁾。殆んど前後して瀬谷清が⁸³⁾、阿多カルデラ内の地下構造を知るために行なった、重力公布調査の結果では、池田湖部分は地下構成物質が減少している、つまり池田湖カルデラ説は妥当である、ということらしい。ところが、その形成年代等に就いて異論が生じた。それは指宿地方で最上層の極めて新しい火砕流(山口鎌次は、昭和13年の報文で火山碎屑物と言っているが、火砕流という言葉は太田は殆んど使用し

ない。)に関するもの、という宇井忠英説である。即ち、同地方を踏査し、かつ、火山堆積物の諸種の分析を行なった報文⁸⁴⁾の中で、太田が池田泥流と呼んだものを、今和泉火砕流として独立させ、更にそれを入戸火砕流が覆っている、その二次堆積物上に、薄い幸屋火砕流を挟み池田火砕流が乗ると述べた。幸屋火砕流堆積物中の炭化木片の年代は、 $6,400 \pm 110$ Y. B. P. と測定せられたし、又池田降下軽石直下に接する「アカホヤ降下軽石」の埋没腐植土壌試料は、松井健に依れば $4,640 \pm 80$ Y. B. P. の値を与えた。かくて池田火砕流の発生は、約4,000年前だ、と、実は見解の別れは、後述の如く入戸軽石流の年代判定に胚胎する。大隅降下軽石を中にして、太田は入戸が早いと見、荒牧・宇井は後だとする。今和泉附近で、池田軽石流の風化面上に大隅降下軽石を載せる、と前者の説ならば、今和泉火砕流二次堆積物の風化上面を、大隅降下軽石が覆う、と後者であって、覆われている風化軽石層を、池田系と見るか否とするかの差を生ずることが判る。

(11) シラス地域火山層序表は、前回の試案に多少の手を加えた。その他、始良・阿多両火山の関係では、前者の一つが後者を覆う例を挙げ、一方始良軽石流は、阿蘇熔岩とは接触せぬこと、桜島火山が始良カルデラ縁の構造線に沿って出来た新しい火山で、開閉は阿多カルデラにおける同様の火山である、という。更に、霧島・桜島の関係、始良・阿多・阿蘇と東北・北海道の諸カルデラの生成時期について述べる。シラス自体に関する部分は主として太田が執筆して、文献^{85), 86)}等は共著であるが、それ迄の見解に部分的訂正・補筆を加え、かつ次々と新しい火山層序表の試案を示し、なお問題点を提示する。その最大要点は二つ、一つは、シラス地帯の火山層序を確立することの必要性で、十人十説ともいべき現状と、掘って来る所以の指摘であり、二つは、二次堆積軽石層の存在とその実例の提示。地質時代・成因・噴出源等によって分類すれば、二十種類を超えるシラスを、地域毎に以上の要因に従って区分細説している。

その外、鹿児島県下5万分の1地質図幅と^{87)~90)}説明表に、一層詳しい叙述がある。

2° 問題点

(1) 火山層序に関し、著者は発言能力がない。関係報告類を閲読するに、太田指摘どおり矛盾する記述に出逢い、当惑することなき能わず。

(2) 二次堆積軽石層の存在は、注目すべき指摘で

ある。そのうち、降下軽石の二次堆積層は、屢々例に挙がる垂水駅裏の成層崖等で比較的異義なく肯定せられよう。最も議論の多いのは、素材が軽石流である場合で、二者は違うと言い、その見分け方を語っている。本問題については、著者にも考え方があから後述する。

(3) 太田は随所に、「地質時代・成因・噴出源を異にしなから、岩相が酷似する」シラスがある旨を、記している。地質学的見地や火山層序からは、その識別は大切な事項だろう。他面工学的立場では、崩れ易さや逆に安定性が主題となるので、「岩相の酷似」は、それらを一つのものとして扱う手掛かりとして、忽せにできないのである。ただ茲に、軽石流の非熔結部と二次堆積軽石層とは、太田の指摘どおり力学的に相違ありと思われるから、重視し度い。

(4) 降下軽石のままでは、工学畑でシラスと見做さないのが通例である。

(5) 太田はなお、軽石流が、比高500mの山の鞍部を越えて奔流する問題を記している。

3° 概 括

太田はそのほかに、鹿児島県下各地の5万分の1地質図幅と説明書を作製した。その一部は参考文献欄に掲げた^{87)~90)}。各区分毎にシラスに関しても詳細な記述がある。

シラスが軽石流であることは、種子田定勝により確定せられた。太田は語義より明らめて、通俗語としてシラスの意味するところの実体を、学術的に定義し、特に火山層序に重点を置いて整理した。眼遍く県下を蔽い、詳細かつ具体的な記述は、親しく実地を踏んだ、豊かな経験に基かずしては、企及し得ぬもの。シラスの何たるかを概説して殆んど余すなく、研究史上、他の二、三氏と共に、その功は没す可からざるところであろう。

著者は、工学的立場よりシラスの謎を窺う者で、火山地質等の部門には知見が乏しいが、必要に迫られてその成因等を学ぶに、太田の所論に啓発せられるところ甚だ大きい。何よりも、此の人は実地に詳しい、という感銘を覚えること屢々である。野外の事実をよく見ていることは、立論上の力となっている。

8.2 その他の理学的研究

1° 荒牧重雄の研究

荒牧の研究は、シラスを直接の目的とするものではないが、この地域の火山火砕流、就中その噴出源について論じ、シラス研究史に関連して看過し得ざるもの

である。

(1) 阿多カルデラ南縁赤水岳附近の熔結凝灰岩は、火口附近に堆積した降下火山砕石層の熔結産物である⁹¹⁾。

(2) 赤水鼻附近の火山堆積物には、分級のよい、熔結度を異にする、薄い単一層群よりなる成層構造が見られる。これは、上の堆積物が火砕流ではなく、小火口から空中に噴上げた火砕物質が、分級しつつ火口附近の急傾斜面に落下し、温度の高低により、熔結度を異にして堆積したものである。それは、熔結層が塑性流動することより生ずる、熔結部中の黒耀岩質レンズの偏平軸と堆積層理との斜交現象からも、推論せられる⁹²⁾。

(3) 魚見岳附近の熔結火砕岩も、局地的な火山体に属するものと考えられる。

(4) 要之、松本唯一は、赤水岳火山の熔結凝灰岩を阿多カルデラの所産としているが、実は局地的な小規模火山活動の産物であり、多くは火口附近の降下火砕堆積物である。松本もこの点を認め⁹³⁾ている。

(5) 阿多火砕流の分布一般に関する調査が、宇井忠英と共同で報告⁹⁴⁾せられている。重要な二点があり、一つは、阿多火砕流の噴出口を、松本唯一の想定する阿多カルデラ外、その稍々北方海中に推定し、第二は火山層序に関して、鹿児島湾周辺には、降下軽石、小規模な多数の、その後大きな単一流出の阿多火砕流があり、上に始良火砕流が堆積している、とするのである。太田が始良火山に属すると見たものには、阿多火砕流堆積物と読むべきものがある、等の訂正見解を示し、太田もその部分は自説を改めた⁹⁵⁾。荒牧はなお、大隅降下軽石の噴出口を、現桜島の位置と考えている。

阿多火山火砕流斑晶鉱物中の紫蘇輝石の屈折率 γ が、1.700~1.709 くらいの範囲にあり、それを一つの指標として諸所の阿多火砕流を指摘した。この方法は一般に踏襲せられ、南九州地方の火砕流噴出源を識別する有力手段となる。

荒牧の研究は、火砕流生成物に、岩石研究の基本手法たる光学や化学組成の分析を加えて、野外観察の未到点を補ったことで顕著である。元来シラスのみを対象としていないが、シラス研究史上局面の一転換を齎したというべきである。

国分附近に露出する六枚の火砕流にも言及し⁹⁵⁾、それらと阿多・始良両カルデラ生成の関係に触れている。

(6) 阿多火砕流⁹⁶⁾、始良カルデラ入戸火砕流⁹⁷⁾の生成年代を、その含有炭化木材の資料につき計測推定した。加世田市久木野南方約1 km、阿多火砕流下部の火山灰層中の試料より24,500±900、また市比野中学校裏手の入戸火砕流の崖面で採取したものより16,350±350 Y.B.P. の値を得ている。

2° ほか諸研究

記述を揃えるために、軽石流の¹⁴C絶対年代計測資料を挙げると、木越邦彦⁹⁸⁾の資料では、古江採取の始良火山降下軽石の年代を22,000±850 Y.B.P. とする。一色⁹⁹⁾等の川内市青山町牛首入戸軽石流中の炭化木試料では、23,400±800 Y.B.P. である。阿多・入戸(試料採取者太田良平)・始良火山降下軽石・入戸⁹⁷⁾の順序となる。太田は、入戸軽石流の二つの値の矛盾を指摘⁹⁵⁾しつつ、大隅降下軽石は入戸軽石流より新しい、との自説に矛盾なしとする。

岩石・地質・火山層序に関する報文類は、今や百花繚乱である。

波多江等の鹿屋5万分の1表層地質図説明書¹⁰⁰⁾は、文献⁹⁸⁾の地質図を基礎とし、同図作製者が参加して現地踏査を重ね、検討を加えたもので、シラスに関する部分は一層詳細である。纏めて要約すれば、高隈山地では、まず、花崗岩上の砂礫層を覆う、時代不明の古い熔結凝灰岩が見られる。その後阿多・始良火山の活動があり、多量の軽石流が流出した。本図幅西海岸の岩体は阿多系、高隈山地内と高隈川沿いのものは始良火山噴出物、と推定される。軽石流流出のため阿多カルデラが出現し、中間陥没して鹿児島湾を生じた。垂水扇状地の砂礫層は以後に出来たもので、古期ローンを載せている。続いて始良カルデラよりする、南九州中東部一帯に及ぶ大規模な降下軽石、その直後に軽石流が、広く大隅半島を覆った。大隅降下軽石、大隅軽石流と呼ぶ。これらが急傾斜地を大量に風水に運ばれて、周縁に再集積した二次堆積物は、軽石流と岩相酷似するために同一視して、やはりシラスと言われる。軽石流および二次堆積層のシラス台地は、高隈山東方から南方にかけて、広大な平原として緩やかに展開していたが、肝属・串良等の川に分断せられて現地形となった。なお詳しくシラス堆積推定原面・削斜面・段丘面等を、笠野原・鹿屋原台地等につき説述している。この文献、文章力が勝れていて快い。

種子田定勝¹⁰¹⁾等は、南大隅の火砕流物質につき下の様に記した。阿多・始良両火山噴出物は、この順序に重なり、前者は更に下部、上部と二分できる。その

粒度には平均粒径の差があって、上は下より著しく細かい。阿多・始良軽石ガラスの光の屈折率を比較すると前者が大で、両者識別の指標たり得るが、これは生成時の化学組成の差に起因する。なお又、組成は大隅・高隅花崗岩の特徴に夫々対応する。鹿児島湾北国分地方の軽石流類は、始良火山関係のもののみとする説と、上部は始良で下部が阿多火山に関するとの見解があるが、軽石の屈折率よりして共に始良系と判断せられる。

露木利貞・大庭昇等のシラスの岩石・鉱物化学¹⁰²⁾、¹⁰³⁾・鉱物組成と成因の研究がある。シラスを工業資源に利用する目的と、噴出源や時期等を明かにして、識別分類に役立てようとする意味とを含んでいる。通観して、(I) シラス及び密接な降下軽石の粒度・鉱物組成・化学分析を行なって、噴出源や噴出順序を整理しようとする部分と、(II) 上の資料の細解析より、シラスに関する造岩作用を説く部分とに大別することができる。後者は、化学組成上阿多シラスは大隅花崗岩類、始良シラスは高隅花崗岩類に対応する特徴ありという、種子田等¹⁰¹⁾の見解に吻合する大意はそれとして、岩石・地質学の門外漢では十分な読解力を欠き、相対して困惑することもあるし、わが本来の研究目的から稍や離れるから、(I)につき原著のいうところを略述しよう。

阿多・始良・池田の三大カルデラが認められているが、それらのシラスは同一源のマグマに由来する。構成鉱物は、火山ガラスがほぼ70~80%以上を占め、マフィック鉱物中紫蘇輝石は最も多い。普通輝石・普通角閃石を含有し、磁鉄鉱も必ず存在して、組成上、流紋岩・石英安山岩または安山岩に属する。化学成分中SiO₂が70%前後を占め、全鉄含有量は全シラス平均で3%近い。無層理シラスの粒度は、噴出源・時代に拘らずほぼ類型を等しくする。以上がシラス共通の主な性状である。

三者間の違いも亦見出され、确实顕著なものは含有紫蘇輝石の屈折率の差で、(前に荒牧の例⁹⁴⁾がある。)始良シラスでは必ず阿多シラスのよりも大である。なお先に種子田等がいう如く、火山ガラスの屈折率比較も有力で、始良シラスの方が小さい。化学組成上の個性差として、始良シラスはSiO₂に富み全鉄、MgOが乏しく、阿多シラスはSiO₂に乏しく全鉄、MgOに富み、前者は後者よりも酸性である。かくして、始良シラスと阿多シラスは、明瞭に区別され、池田シラスは両者の中間的性状を持つ。

その他、化学組成Na₂OがK₂Oに、CaOがFeOに卓越する、両火山とも軽石流は噴出初期には酸性が強い、始良シラスは噴出源よりの遠近でSiO₂量に違いがある等、微細に及ぶ。文献¹⁰³⁾を通じて、知覧町浦門とあるのは門浦のミスプリントか。

試料は、県下遍く露頭の新しい部分より採取してあり、表土直下、上層のシラス分布は、この試料分析に基いて大いに明るく期待でき、流石に地元研究者ならではの企及し難い強みを持っているのだが、採取試料は一部分析未了のままになった様で、阿多・始良シラスの分布境域等ははっきりしない。それにしても、後者の分布域は広い。

人吉盆地の熔結凝灰岩は、阿蘇火山に由来するという松本唯一の旧説と、加久藤カルデラ噴出物なりとする見解の矛盾は既述したが、郷原⁹⁸⁾はそれに関連し、新时期阿蘇熔岩と始良シラスとは、球磨川を挟んで北と南にあって後者が新しく、また阿蘇熔岩上には始良シラスではないシラスが載っており、それは阿蘇系のものだという。ところで、田村実¹⁰⁴⁾等は、人吉盆地に玻璃質・軽石質・黒色。三種の凝灰岩があり、球磨川北岸村山台地では、黒色凝灰岩上にシラスが重なる露頭がある、と指摘する。ただ三種の凝灰岩中、最後者は前二者と分布を異にして、これのみ阿蘇熔岩に外見類似するとし、上部のシラスは始良火山と関係あるのかもしれない、と書いて来由の判断を避けている。シラス様堆積物が人吉地区で広く分布することは知られているが、岩相・粒度・構成鉱物の比較より、それは始良シラスと判断してよからうし、かつ黒色阿蘇熔結凝灰岩上に諸所で載っているから、両者の層序は明らかになる、とは宮地六美の説¹⁰⁵⁾である。鉱物成分の光学的性質を、他の資料^{94),103)}と対照すれば、紫蘇輝石の屈折率等より、始良シラスであることが認められるのである。

黒色阿蘇熔結凝灰岩は、球磨川南岸に延びているし、シラスを被っている村山台地は北側だから、川を挟んで北と南に阿蘇・始良の熔岩類が区分せられている訳でないこと分明。ただ、この盆地を、両火山火砕流の凡その接触点と判断して妨げなきか。本報は、シラス様堆積物は上下二層に大別せられ、上層は二次シラスだという。著者は何度か実見したが、そういう場所もある。

鹿児島湾口附近に阿多火山、湾奥に始良火山があり、降下軽石や軽石流を噴出して陥没カルデラとなり、その後も噴出物を見た。前者の生成物は湾の南部

沿いに、後者のそれは大凡湾北部から広く大隅地方を覆って堆積している、と従来解されて来たが、郷原等³⁰⁾は、阿多熔結凝灰岩類は湾を回って一帯に分布し、従来数枚あるとせられたうち、最上層の一枚のみ、始良火山関係のものと解した。かつ、阿多系の熔結凝灰岩類の噴出口は一ヶ所ではなく、鹿児島湾に沿う罅裂だ、と。阿多火山の噴出口は湾口部海中で、火山活動は連続一回だとする荒牧とは見解が異なる。種子田も、阿多火砕流は上下二枚ありという。始良軽石流は数枚を数えるとするのは、太田等であった。

顯みれば、山口鎌次は、昭和12,3年頃、鹿児島湾周縁の灰石や軽石類の光学・化学分析を行なって、岩質と分布を調べた^{106)~113)}。再読すると、紫蘇輝石の屈折率等より、阿多熔結凝灰岩と認められる岩体が、鹿児島市北郊辺より湾奥部にかけて、小露頭ながら遍く散在するのである。即ち、同火山系生成物の分布が、湾口附近に比較的局限される、ということは疑問の據だ。

さて、火山層序は上の如く見解出入して、端倪すべからざるものがある。試みに既見一文献¹⁰⁸⁾の解説を挙げれば、「阿多シラスは、火山層序学的に、沢村(1956)の重久軽石流、郷原ほか(1961)の阿多熔結凝灰岩(または古期シラス)、太田(1964b)、太田ほか(1965)の大隅軽石流、荒牧(1963)の重久火砕流、荒牧ほか(1966)の阿多火砕流、種子田ほか(1966)の阿多軽石流に相当する。また始良シラスは、沢村(1956)の入戸軽石流、郷原ほか(1961)の始良熔結凝灰岩(または新期シラス)、太田(1964a, b, 1966)、太田ほか(1965)の始良軽石流、荒牧(1963)、荒牧ほか(1966)の入戸火砕流、種子田ほか(1966)の始良軽石流に相当する。」と。何ぞその錯落せる。乞う、一刀両断して我が蒙を啓け。

因みに、諸家の火山層序の見解の一部を掲げる。(表1~5)。

中村一明等¹¹⁴⁾は、火山の噴火と堆積物の性質について述べている。この中には、殊に堆積物に関して、シラス研究上示唆を受けるところがある。

顕微鏡下の観察で、シラスの組織に方向性を発見した、という報文¹¹⁵⁾がある。シラス中に円筒サンブラーを圧入し、そのまま接着剤を注加し、毎分3,000回転4時間遠心分離機にかけて浸透させる。放置三、四日、固結後取出して作成した薄片を鏡下で観るに、鉛直・水平断面の鉱物配列が異なる。箇々縦方向に平行して並んでいる。シラスが噴出口から抛い出せられ、大

表1 大隅半島における層序

第	沖積世	黒色火山灰層 (含軽石層)
	洪積世	新期ローム層 { 上部ローム層 中部ローム層 下部ローム層
笠野原砂礫層		
二次シラス層 (砂泥互層)		
始良熔結凝灰岩類 (新期シラス)		
四	紀	古期ローム層
		垂水礫層
		阿多熔結凝灰岩類 (古期シラス)
新第三紀	紀	大根占砂礫層
		皆倉層

[郷原保真・小森長生：いわゆる“シラス”・“灰石”について (I) 1962] より

氣中を落下する際に、結晶が最小空気抵抗を受ける位置を取るからだろう。さてまた、現地堆積シラスの、透水性・残留空気量・貫入抵抗・剪断抵抗を、鉛直・水平の二方向について測定すると、透水性のみ鉛直方向が大で、他の三者は総べてその逆である。これらも前記の鉱物配列に原因するだろう、と述べている。

毎分3,000回転4時間の遠心加力で接着剤を注入すると、5~10% 試料が短縮するが、これは空隙量の減少に起因し、鉱物配列を攪さない、という見解は疑問である。空隙量が減少することは、実質物の相対的変位に外ならないから、組織へ影響することは間違いない。短縮はしても攪乱はない、というには中間論理が落ちている。透水性が鉛直に大で水平に小だとは、西等も指摘した¹⁰⁾が、CH₃の浸透には関係しないだろう。シラスが、空中抛出物でなく軽石流堆積物であることは、種子田以来の定論になっている。力学的性質では、鉛直方向の圧縮力が水平方向より大なることを、著者等も現在のところ確認肯定する。本文の記載は、論理の不足や理路不鮮明が残って、なお検討を要する感がある。

8.3 災害科学・斜面安定・工学的研究その他

三項目に必ずしも境界線を引き得ず、分類は便宜的なもの、時に出入を免れぬ。火山層序・地質学の研究分野を一瞥し了って、この世界に立戻ると、言語不如意の外国旅行より、久々に我が家に足を踏入れた安堵

表2 鹿児島湾周辺地域の火砕流堆積物の対比

¹⁴ C年代×10 ⁴ 年 B. P.	薩摩半島	国分一牛根地域	大隅半島
	池田 幸屋		
1.63	入戸	入戸	入戸
	今和泉	妻屋 上之段 岩戸 川内	
2.45	阿多	阿多(重久)	阿多
	伊作	浮津 新川 百引 二川	大根占

表3 伊作・阿多・入戸火砕流堆積物の比較

	伊作
分布面積 km ²	> 180
厚さ	15m 以上の場合が多い
体積 km ³	> 4
本質岩塊	輪郭がはっきりせず、比較的少量、再結晶していて淡灰色
異質岩塊	径3~4cm, 角ばった暗色細粒堆積岩が特徴的 火山岩はない
熔結の程度	弱~中, 変化少ない
斑晶鉱物	斜長石 > 普通輝石 ≈ シソ輝石 > 不透明鉱物
基地	(ガラス質~) 結晶質ガラス片は比較的粗粒, 淡褐色

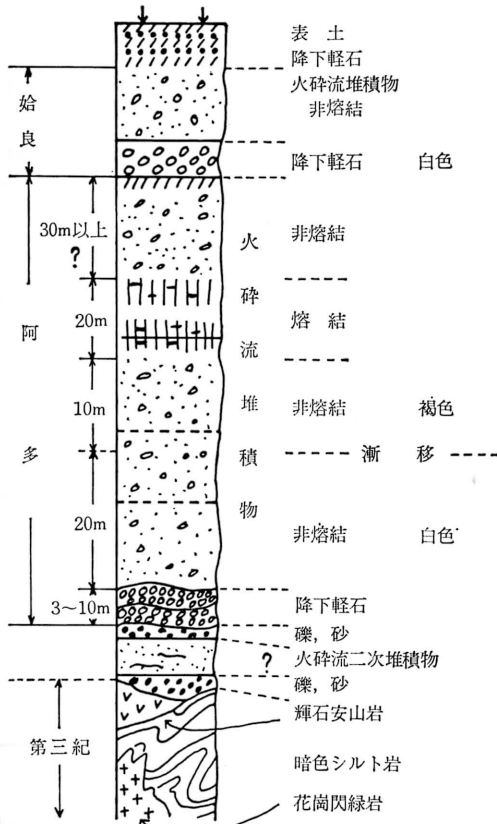


図1 大根占付近の模式的層序

阿多	入戸
3000	4000
2~20m の場合が多い。谷を埋め上面は急傾斜する場合が多い	10~50m の場合が多い 最大 80cm 以上, 上面は平坦
30~50	150
径 10~20cm のレンズが多い (最大径 2m 以上). 比較的少量 再結晶している場合は灰色, ガラス質の場合は黒色	5~20cm の淡灰色の軽石塊が多い, 比較的少量 管状気孔多く, 厚板状の軽石塊も多い
火山岩と堆積岩とほぼ同量, 径 2~3cm 花崗岩塊はきわめて稀	火山岩と堆積岩とほぼ同量 径 2~3cm
強, 変化きわめて大	非熔結~弱
斜長石 > 普通輝石 ≈ 不透明鉱物 > シソ輝石. 稀に緑色, 普通角閃石	斜長石 > 石英 > シソ輝石 > 不透明鉱物 ≈ 普通輝石
ガラス質~結晶質 ガラス質は比較的細粒, 黒~灰褐~赤褐色の変化大	ガラス質 ガラス片は比較的粗粒, 無色(白色)~暗灰色

[荒牧重雄・宇井忠英：阿多火砕流と阿多カルデラ 1966] より

表4 シラス地帯の火山層序 (昭和42年度試案)

地域	薩摩半島	鹿児島市付近	鹿児島湾北部	大隅半島	
地質時代					
現世	コラ層 開聞岳	蒲生層	燃島貝層 *ボラ層(燃島シラス層) 黒色火山灰層	黒色火山灰層 開聞降下軽石	
更新世	第4期	ローム層 *2次堆積軽石層	新期ローム層 亀割層 *2次堆積軽石層 *大隅降下軽石	新期ローム層 *2次堆積軽石層 *大隅軽石流 *大隅降下軽石 *根占軽石流 *志布志凝灰岩	
	氷期	(阿多・始良両カルデラの形成, 次いで両カルデラ中間部の陥落)			
	新期		始良 { *入戸軽石流 *蒲生軽石流 *岩戸軽石流 *大泊軽石流 *吉野軽石流 *阿多軽石流	始良 { *入戸軽石流 *岩戸軽石流 *重久軽石流 *新川軽石流 *川内軽石流	始良 { 夏井軽石流 *浮津軽石流 *阿多軽石流 *降下軽石の2次堆積層 *阿多降下軽石
世	第3間氷期	浜砂礫層		大根占(夏井)砂礫層	
	第3氷期				
	第2間氷期				
	第2氷期		*竜ガ水層		
	第1間氷期		安山岩床 *国分層群上部層 (河頭貝層)	安山岩床 *国分層群上部層 (吉田貝層)	
	第1氷期		*国分層群 { 中部層 下部層	*国分層群 { 中部層 下部層	
新第三紀	鮮新世	*伊作軽石流	*河頭軽石流	*萩の元(隼人)軽石流 *百引軽石流	
	中新世	安山岩 安山岩 安山岩	安山岩	*加治木層 大野原層 安山岩 安山岩	
基盤	入野層 石英安山岩 流紋岩 時代未詳層群	時代未詳層群	時代未詳層群	日南層群 時代未詳層群	

〔太田良平：シラスの地質学的分類 1967〕より

*シラスと呼ばれたことのある堆積物

を覚える。物皆親しく、怡然として相迎う。

1° 災害科学的研究

昭和41年7月豪雨により発生した大規模なシラス災害を中心とした報告を、彦坂良次¹¹⁶⁾等が行なっている。シラス崩壊を、現場の状況によって分け、該当

する写真を示しつつ、降雨特性にも触れて、原因を考察した。総じて、今迄に報告議論せられた範囲のものであるが、例示写真が適切で興味を惹くと思う。上の降雨特性は、同じシンポジウムで石黒政儀¹¹⁹⁾が発表した。実測雨量—時刻ヒストグラムを理論曲線化した

表5 南九州第四系対比表

沖積世	洪積世	世	鮮新世	中生代			
六根占 (荒牧, 1966*) 降下軽石 火砕流堆積物 降下軽石 入戸	大根占 (郷原, 1962) 黒色火山灰層 新期ローム層 鹿屋シラス 降下軽石層	大隅半島 (種子田, 1966) ローム層 軽石流堆積物 (一部熔結) 降下軽石 軽石流堆積物 降下軽石 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多	久加 (宮地, 1967) 新期霧島火山岩 および拋出物層 礫層 シラス 白色降下軽石 礫層 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多	人吉 (宮地, 1966) 沖積ローム 新期礫層 シラス 始良 黒色阿蘇熔結凝灰岩 礫層 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多	吉人 (田村, 1962) 新期洪積層および二次シラス シラス シラス 黒色礫灰岩 礫層 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多	高野 (宮地, 1965) 新期霧島火山岩 および火山拋出物層 二次シラス シラス 始良 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多	小林〜宮崎間 (成瀬, 1966) 黒色スコリア火山灰層 ローム質火山灰層 軽石質砂礫層 新期軽石流堆積物 ("シラス"・"灰石") 褐色スコリア火山灰層 段丘礫層 久木野層 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多 阿多

* 原著を筆者の考えを入れて、隣接地域と対比した。
 ** これについては検討していない。
 *** 阿多噴出物と対比出来る (宮地, 種子田, 1967)

Pf: non-welded pumice flow deposit
 Wt: welded tuff

〔種子田定勝：土質工学会シラス研究委員会資料1967〕より

もので、昭和11年7月7～9日間の鹿児島県下の実例が示されている。曲線形は二、三年前からの継続研究^{117),118)}である。降雨状態のグラフで、崩壊と直結する筋はない。彦坂の崩壊例とこの降雨特性との関係が、必然か偶然かは明瞭でないのである。

シラスの安定問題につき、茲に一つの間掛けが行われた。上田通夫等¹²⁰⁾は、極めて初歩的で素朴な体験から、天然の地山シラスを「単純な土ではない」と思うようになった。詳細は、研究報告の部で尽くすであろうが、端的に言えば、それは弱い乍ら粒々膠着乃至固結しており、粒子間の自由移動が、本来妨げられている。シラスは一種の軟弱岩である。土の単純な剪断破壊論はそのまま通用せず、実際破壊の初発機構は「裂け」だ、というのである。この見解は当分受け入れられなかった。就中、シラスの化学的固結論は疎外せられた。上の見解を回って一応の隠微な論争が起った、というのが事実に近い。我々は、なるべく簡素な、併し確かな手段で、事実関係を明かにしてゆこうと考えた。地山シラスを、40～50倍程度に顕微鏡で拡大観察すれば、実態が容易に分かるのである。これに微量の水を与えると、忽ち粒子は相互移動し、視野は変貌する。シラスの地肌構造と対水特性は、それで十分認識出来る^{120),121)}。同時に、固結物質は水溶性であること、当然シラスが水に弱い理由、共に無理なく説明せられる。以上が私説の要約である。事は直接災害論ではないが、固結は安定性に、対水非力性は侵蝕崩壊に繋がるので、ここに入れて置く。

2° 斜面安定の研究

地山シラスが、100米以上の鉛直に近い断崖を形造って安定することは、周知の事実で争う余地はない。シラスの土質力学的研究を最初に手掛けた三木五三郎は、粘着力が小で、内部摩擦力が何等かの理由で大なるからだろう、との意を仄めかした。自己の研究が、臨時且つ倉卒の間に成ることの、自覚があったのである。後続の研究者達は、その「何等かの理由」を発見したいと思った。この思考線上に、粒子間のインターロッキング・ダイレイタンシーによる付加剪断力抵抗説が登場する。余談だが、三木博士の現地調査・研究試料調整に直接協力せられた、故木村大造博士がかく直話せられた。「先生の室内試料分は、取崩したシラスですから、現地とは異うのです。」

取崩したシラス素材の排水剪断試験を実施し、観察結果を公式で整理して、粒子のインターロッキング・ダイレイタンシー効果が、全抵抗強度に寄与する状態

を論じた春山元寿等¹²³⁾の文献がある。供試体の初期空隙比の条件で異なる点はあるが、シラスの様なカド張った粗面粒子では、前者の寄与率が常に優越する。大意に於いて等しい別文献¹²⁴⁾があり、シラス素材の剪断抵抗の中に現われる見掛け粘着力は、粒子のインターロッキングに起源する、と述べている。文中、「土質力学におけるダイレイタンシーは粒子のインターロッキングとの関係から考えるべきもの」と言っているのは正しい。鋼球素材の、一は表面を滑らかに、他は酸化で荒らし、カド張った形状で表面滑らかな珪砂と、比較上丸味ある粒形で表面に凹凸ある砂、以上四種の粒状物質を使って、形状や表面性質が、剪断抵抗に及ぼす影響を見出そうとした実験¹²⁵⁾がある。特異粒子の集合体として、乱したシラスについても記述している。表面状態の荒いほどダイレイタンシーは大で、同時に剪断抵抗角に、影響大である。粒子形はインターロッキングに関係し、それは見掛け粘着力として表れる等、前文と共通の結論である。シラスの剪断強さ特性は、その尖鋭・粗糲な粒子形状と表面性質に基く。

藤本広等の論文¹²⁶⁾も、同巧異曲というべきか。乱したシラスの排水三軸剪断試験を、豊浦砂・大淀川砂と比較実施すると、シラス砂のみ見掛けの粘着力が現れる。これは、「シラスに細粒子が多いために、容積の増加に伴う飽和度の低下に起因する間ゲキ水の毛管張力の程度が他の2試料より大きくなるからではないか。」というが、事実上の理解困難を感じる。内部摩擦角が大となるのは、粒子のカミ合い程度の問題だろう、とは理に叶っていると思う。非排水試験の粘着力も、正のダイレイタンシーによる空隙負圧効果だという。本文は、論理の運びに無理なしとせず、想像的説明が多い。気付いた事柄のうち、二点だけいうならば、この原試料は二次(水成)シラスであろうこと、又原図-5に拠ると、非排水試験で、12～38%範囲の含水比変化と粘着力・内部摩擦角の関係が示してあるが、後者があまり含水の影響を受けぬ一方、前者は0.75→0.3kg/cm²とキレイに直線降下していることの意味と。次の論文¹²⁷⁾は、論旨の重点を少し移して、見掛け粘着力に関するインターロッキング効果を重視したものである。豊浦砂と比較試験の結果、正ダイレイタンシーに基く負圧は、大したことでなかった。ターロンの剪断抵抗式中に現われる粘着力の中味は、インターロッキング効果の方が、ダイレイタンシー効果より多量だろう。春山等の見解に結果は近づいた訳で

ある。藤本等¹²⁸⁾はなお、これら乱したシラスの剪断強度常数を、実際にシラス砂斜面に適用する際の問題を提起している。即ち、排水三軸試験の最大軸差応力から、ダイレイタンシー効果分を差引いてモール円を描けば、斜面計算が安全側だとするのは、間違いがある。内部摩擦力は減っても、粘着力が増して、安定自立高さが却って大となる場合があると、モデル計算例を示す。上の様な見解を総括再展望し、試料の種類を増して実験を進めた報文¹²⁹⁾では、ダイレイタンシーの負圧効果は、豊浦砂に比べても小さい事実を述べ、結局、シラスの非排水試験の粘着力 C_u は、半ば以上をインターロッキングに負うと、明言するに至った。

以上もろもろのレポート類は、総べて取崩したシラス砂に関し、未攪乱試料は与らない。従って、俄かに現場斜面の問題には発展しない筋のものと思えた。

ところで、その種の資料から、ナマのシラス崖安定論を演繹する説¹³⁰⁾が出た。締固めたシラス攪乱粒子物質の三軸試験結果から、モール円群を描くと、破壊包絡線は、軸差応力が伸びる(横座標の増大)に従い横軸側へ近づいて来る(原図-3)。切線を引けば、側圧増と共に寝る訳だから、破壊規準をクーロン流に、

$$S = C + \sigma \tan \phi \quad (7.2\text{-再出})$$

と書けば、 C が増し ϕ が減ずる。さて、次の手法で、シラス崖の安定性が確めてある。まず、シラスの粒子比重・間隙比・含水比に応ずる密度を、現実に則って与える。次に崖高を10~40m迄六階級を仮設して、対応する堆積圧を夫々計算する。原図-3から C_i 、 ϕ_i は求められる(原表-2)。これを使用して既存公式より、自立高さ H_c やその補正值 H'_c を算定する。90°以下80°迄の急勾配崖について、共に原図-6(a)、(b)に図示されている。 $H'_c/H > 1$ で安定である。自然地盤ではもっと条件が有利としてよい。以上が要約だが、読了、原著者に向って、下の二点を糺さざるを得ないのを許されたい。

第一 取崩した、数字モデル通りの条件で締固めシラスの高台を造り、鉛直崖40米を切取って、それがホントに安定すると思われませんか。

第二 図-(6)では、仮設高さ H (横軸)と計算安定高さ H'_c (縦軸)のグラフは、総べて上に凹の右上り曲線、つまり「仮設高さが増すほど安全率 H'_c/H は大となる。急崖は高い程安全だ。」という奇妙なパラドックスが生ずるが、宜しいか。

本論文は、根本誤謬を含んでいる。

春山等は、文献¹³¹⁾中で初めて、シラスが固結して

いる事実を肯定した。この文献は、直接および三軸非排水剪断試験に関するもので、主張は従前どおりだが、結論の中に、自然状態のシラスでは、乱したシラスの見掛粘着力に加うるに、「固結効果が作用している。」と述べている。

これ迄の着想とは全く異った種類のシラス強度研究が、この時期に始まった。昭和36年「宅地造成等規制法」が施行せられたが、シラス地帯に適用するに際し、法の規定する「土の技術規準」が、従来の経験とも亦現実とも合わず、寧ろ相反する内容なるが為めに、行政当事者は矛盾に苦しむこととなった。地方的特殊環境下の特性土壌への知識も配慮も、全国法規には盛られていなかった。鹿児島県当局は何分とも、現実に適する取扱技術の根拠と合理的規準を見出して、適法にそれに拠り災害を防止したいと考え、まず住宅課を中心として実動に移った。当時まだ未攪乱シラス試料の採取が出来なかったので、現地実験を試みたのである。専門委員会(仮称日本建築学会シラス研究委員会)を特設し、直接剪断試験等を実施した報告書が、三編^{132)~134)}出ている。内容は同一実験だから、文言に繁簡の差があるのみで元来異なるところはない。河原田¹³⁴⁾等は、実験による剪断抵抗係数値と、一軸圧縮試験の破壊角より算出した値とを比較対照し、かつインターロッキング効果を、実験の見掛け値から除いて、

$$S = 0.17 + \sigma \tan 33^\circ 20' \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (7.2)''$$

を得、同時にダイレイタンシーにも触れて、議論している。上田通夫・河原田礼次郎・立川正夫・難波直彦の協同作業で、試験内容は、直接剪断・一軸圧縮・引張・コンクリートとの間の摩擦抵抗の四種類である。これらの試験は、端的な実用目的を満すにあったから、20cm角平方とか直径15cmの円形等の寸法を用いたので、加力・反力機構としてかなり大きな手製装置に依った。詳細を別記するとして、結果は下記の如きものであった。

(1) 剪断抵抗：常套的クーロン式に従えば

$$S = 0.2 + \sigma \tan 42^\circ 29' \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (7.2)'$$

(2) 圧縮強度：平均強度で

$$\sigma_c = 0.94 \text{ kg/cm}^2$$

(3) 引張強度：平均強度で

$$\sigma_t = 0.067 \text{ kg/cm}^2$$

(4) 対コンクリート摩擦角：接触コンクリート面の性質が、

滑面で35°、粗面なら40°くらい。

このうち(4)の値は、擁壁底等の実用計算に使える。

圧縮強度は、三木五三郎¹³⁵⁾の「0.4kg/cm²」という見解は小である様に思えた。(3)の引張強度については、続行資料等を併せ考察すると、弱い場合は20g/cm²程度の例があり、高々100g/cm²を越えることはない。平均的に40～50kg/cm²程度かと、考えている。寧ろ見逃すべからざるは、シラスは確かに引張強度を持つという事実で、通常の土には全く見ない現象であり、本実験で初めて発見せられて、地山シラスが固結している証明となった。ダイレイタンシーヤインターロッキングでは、引張抵抗は発現しない。天然シラスの安定論が、取崩したシラス砂の実験で解明出来ない根拠である。木村博士の前掲の言葉は、時期の上ではこれより後のことだが、事実は一貫している。斜面安定論で、上田の思考が、従来の研究者達とは、全く別の視点と路線を選ぶようになるのは、かかるキッカケよりする。

だが総べてが済んだ訳ではなかった。(7.2)'式のC、φは、ごく有触れた土のものと同大差なく、前に仮用したフランスの式

$$Hc = \frac{4C}{\gamma} \cdot \frac{\sin \beta \cdot \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \quad (7.1\text{-再出})$$

で算出される安定高さは、現実を説明し得ないのである。我々は、改めてこの謎を解かなければならない。以後数年間、類似の主実験並びに補足試験を繰返すことになる。その理由を約めると二つ。一は、実験結果に一般性が保証せられるか、つまり実験の厚みは十分か、という問題で、二は、現地のシラスは、粒度・軽石含有量・硬軟その他品質変動を伴うだろうから、諸要因の影響、その程度を見出そう、との意図を含む。併せて、試験法の粗さ等が検討を受け、やがて試験全体の意味が問われる筈である。一回の試験結果に、論理のみ精緻な解析を加え、真偽不分の仮説を積上げること、戒慎を要すると信ずるが故に。翌年は場所を変えた実験報告^{135)~136)}が出る。通観して前回の結果と問題になる差は見出せないが、このシラスは固結力が弱い、と思えぬでもない。引張強度は0.019kg/cm²で、剪断抵抗粘着力も稍や低い。

シラス屋の勾配調査表が載っている文¹³⁷⁾がある。自然・人工を通じ、70°～85°が圧倒的に多いのが興味を惹く。

3° 工学的研究

主として、シラス盛土・類似点を持つ地盤関係の研究調査資料がこの分類に入ると思う。周知の如く、自然のシラス地山と取崩した場合とでは、集合体の性状

を異にし、切土と盛土の力学的特性はまるで違う。後者は、「土」としての常識的取扱いでよいから、便宜ここに収めることにした。

谷雄平の文¹³⁸⁾は、亀割バイパス工事の、シラス締固め調査報告と現場意見である。地山、取崩し土、輾圧締固め土の密度変化率を、締固め方法との関連に於いて記載し、実際上有効な価値ある内容を盛っている。シラス土が締まり憎いものであることは、工事経験者の共通認識だが、本報告にもそれが出ている。「道路土工指針」の指示内容が、最大乾燥密度或いは締固め方法・締め固め度の規定等、共に現実適用困難なことを指摘して、取崩してもやはりシラスは特殊土であると知れる。文中「排水を充分考慮して施工すれば、シラスは道路盛土材料としては使いやすい土質と言えます。」と述べているのは、注目に値する。我々も前に、「取扱いを誤らなければそう不良なものではない。」と書いて置いた。珍らしい報告¹³⁹⁾がある。青森県営二ノ倉アースダム築造土に、シラスを使う為めの、室内試験と現地盛土試験に関するもので、十和田軽石流だろうと思う。輾圧密度が一般土に比べて非常に小さい、と前の記事と共通である。施工方針とし、(1)堤内流線が堤体斜面上に出来ない様に、(2)下流斜面は粘土質等で雨水侵蝕を防ぎ、(3)締固め密度を均等かつ大にすること、によって目的に堪える。本報告は内容に関して、谷の報告によく似、つまりシラスの特徴を正しく把握している。細部につき、殊に重要新鮮な二事項を含んでいる。透水係数を(1.2～9.1)×10⁻⁵としたことで、従来シラスの透水係数は10⁻³～10⁻⁴のオーダーとされて来たが、それに対し或る問題を感じていた。この報告の数値が、より意味のあるものではないかと思う。次に、限界動水勾配を求め0.4内外としたことで、著者にとり従来未聞の研究である。シラスの対動水非耐力性を考える際の貴重な資料と言いたい。

シラスの土圧に関して、一、二挙げる。藤本広¹⁴⁰⁾等は、剪断抵抗のその如く、土圧にもシラス土の特性があらうと予想した。三軸圧縮試験による土圧係数を推算し、一方高さ150cmの模型可動壁の土圧実験を行なった。推算は、二人の学者の既存方式を比較しているが、かなり差が見え大きい方がよからうとしている。可動壁は、平行移動・上下各一端回転の三条件で行われ、土深さの対応変位と土圧実測結果が、ナマで図示されている。著者等が、高さ3mのカラ積ブロック擁壁で、盛土と切土斜面の実大実験をしたのが、纏

めて¹⁴¹⁾公表されている。研究の部で詳しくするが、盛土の静止土圧係数は0.31であった、藤本推算の小さな方の値に近い。本実験で興味を覚えたのは、盛土は土で切土は固体だとすべき現象が、擁壁の変形で対照的に見られたこと、免圧構造としてのカラ積み壁の、巧妙な機能が浮き出たことである。

沖積シラスの地震時の支持力を、問題視した研究が¹⁴²⁾ある。乱したシラス供試体に、除荷時の拘束圧と等価の含水比を与え、非排水繰返荷重を加えて三軸圧縮する。ヒズミ増加は、約5%を限度として、急速に上昇し、破壊する。限界点以前より間隙水圧が増し、そこで丁度除荷時の拘束圧に等しくなる。なお載荷時の水圧は続いて急増し、供試体は殆んど瞬間に液化する。一般の砂では相対密度が50~60%あれば、ヒズミ進行はなく安定を保とうとするが、シラスは80~90%でも間隙水圧はなお上って、逆に液化する。普通の砂と違い、十分に締固めても動荷重に対して安定し難い。さて鹿児島市内の沖積シラス層では、標準貫入試験のN値は、プレシオメータ等による静荷重試験の支持力より、比較上小さい。これは、繰返荷重三軸破壊の事情に通ずるもので、つまり、沖積シラス地盤は、平素の支持力は大でも地震時には危険でないか、と示唆するものである。山内等の本報告は、鹿児島市街地の建築物基礎地盤に関して考うべき指摘であろう。

程度、素材によるが、シラスの風化物は、健康な地山シラスの特徴を大いに喪失し、崩土に似てくる。梶原光久等は風化シラスの安定に関¹⁴³⁾して語る。取扱われているのは、串良地方の粘土化の進んだ風化二次(水成)シラスである。それは、原表-1の、土粒子比重・自然含水比を見れば分かるし、塑性限界が示されているので、なお確認せられる。通常のシラスは塑性化しないものだからである。此の不安定な土を、消石灰の添加量4~7%で安定処理すれば、養生日数4日くらいで一軸強度が著しく増大する。等量のセメントよりは有効である。

シラス法面の保護法が、一問題として登場する。前述鹿児島県住宅課の初年度の活動は、此の問題より入った。切土・盛土の試験現場を定め、切土について七、盛土には三種の、植生又は被覆物質による保護力比較試験を実行¹⁴⁴⁾した。植生については生育状態の観察を当然伴っている。経時短期で結論を導くに至っていない。路わきシラス崖の保護効果の調査資料¹⁴⁵⁾がある。主として宮崎県下を調べている。箇々の平面

・断面・写真等を揃えて原票が提供せられている。此の種の調査資料は、この外にも、又これからも色々と見られるようになる。文末に、締固めシラスへの室内注水試験資料が添付してある。

4° シラス地帯の水

「シラス地帯の多量の雨水は、一帯どこへ行ってやるのだろう。」という太田良平の疑問を承けて、著者も亦、貧困な頭脳を痛めたものだった。さきに鹿児島県の実施した、「シラス台地地表水流出量調査」報告書³⁷⁾で、例えば紫原台地では、40mmの雨は流出量ゼロというのだが、地上滞留とは考え難い。疑問符は消えていない。

「鹿児島県の地下水概況¹⁴⁶⁾」は、県下主要地域の水資源調査報告書名である。県下一般の不透水性層は、第四紀以前の堆積層及び火成岩類で、上を厚く軽石流類に覆われており、他の地方とは異なった地下水理条件を示す。地下水の賦存状態をA~Dの四型に分類し、それらに属する十四地区区分を行い、各地区毎に地質概況図・柱状図・主要井戸位置図・取水状況等を添えた各論がある。読む方に基礎知識がないので咬み難いが、実用上有効な調査だと思ふ。

シラス層の保水機能を中心に、水文学的に特性を究明しようとした研究報告¹⁴⁷⁾がある。攪乱条件の少ない代表的シラス台地笠野原で、古井戸の水位変化を継続観測し、降雨分布と肝属川の流量観測資料等とをツキ合わせて、シラス地帯の流出率・地下水位変動と地下水浸降速度・台地よりの地下流出量・地下水流動速度を試算した。その年間流出率は一般河川より多く、9年平均87%強である。井戸水面の上下は降雨より遅れ、深さによって異なる。即ち、1m浸降所要時間が、時間のズレと深さから求められ、平均4.7m/日、 2.46×10^{-4} cm/secで、室内実験の透水係数のオーダーと違わない。但し、上層表土・中間降下軽石層をコミにした概略値である。地下流出量についての計算例を示して、湯水期の地下流出量割合は高くなる。

地下恒温層の調査結果¹⁴⁸⁾、笠野原シラス台地では、一般より遙かに深いと分った。その理由と覚しきものを四箇条挙げてあるが、著者には判断能力がない。

5° その他

文献はいくらでもある^{149)~151)}。これらはシラスの紹介書又は啓蒙的技術書というべき類で、シラス全般の概要を述べたもの、専門の研究文献というには当たらないが、挙げておく。矢野義男¹⁵¹⁾には、実際家として確かな経験と見識の注目すべき発言がある。切土面

の崩壊について、他の何人もかく迄確言しない点を、言い切っている。シラスが直に崩れるという、簡明な事実である。¹⁵²⁾ の、一部は既述の文献と同一内容で、大部分はシラス資源として利用しようという意図で、防災とは無縁である。

8.4 総 括

昭和29年以来、種子田定勝のシラス軽石流説は定論化した。当然、まず火山層序を確立せよという、太田良平の要請がシラス研究上の急務となった。彼のように野外踏査による観察に熟した人々や、地質学・火山学・岩石鉱物学等の視野から、真相を窺おうとする研究者が相競い、研究社会の資財は頓に豊富になった。事は多面に亘り、外を照すと共に内を看なくてはなるまいから、正に喜ぶべき現象であったろう。斑晶紫蘇輝石の屈折率は、阿多・始良両火山の噴出物を的確に分別し得るし、この分析事実により、野外所見も訂正せられる。従来不明のまま残った人吉地方のシラスに就いても、北と南に球磨川を挟んで、新阿蘇系熔結凝灰岩とシラス状堆積物が存在するといっていたが⁹⁸⁾、前者の上に後者が直接する場所が、南北両岸で指摘せられ、それも分析によると始良シラスであった。人吉界隈の部分層序は明らかになった。だが、南九州シラス地帯の火山地層を広く整序するとなると、さほど容易ではないのである。

局部細説に拘泥すれば議論は進まないの、この時期迄に筋道が立った、大局を記述することにする。

凡そ鹿児島湾口付近に阿多火山、湾奥辺に始良の、二大火山が存在し、大約過去三万年以内にこの順序に爆発して、大量の降下軽石・軽石流・熔結凝灰岩類を噴出した。後二者は同質のもので熔結の有無の差のみ。二大火山は内容物が流出したのでカルデラ化した。後、阿多カルデラ中央円頂丘より池田軽石流を噴出して、池田カルデラが生じた。ただし、その生成年代には異論がある。爾後、始良カルデラの降下軽石や軽石流の噴出を見たようである。明瞭なのは、上記の阿多・始良両火山活動はこの時間的順序に従い、阿多熔岩類が、始良熔岩類に覆われて存することである。

太田は阿多火山カルデラ形成の前駆軽石流は一枚といい、荒牧重雄も、阿多火砕流は連続一度の流出だとする。郷原保真等は、従来鹿児島湾口付近に限定されるところと思われた阿多熔結凝灰岩類(古期シラス)は、広く湾周辺に分布し、始良熔結凝灰岩類(新期シラス)と覆われており、それまで数枚の始良熔結凝灰岩類と

して鑑別したものは、最上層の一枚のみ然りとする。そのあたり諸家の議論百出で、結論は未だし。確かなことは、最上層を覆う始良シラスの分布面積が広大で、阿多シラスの露頭の少ないことである。

それより先、つまり阿多・始良・池田の三大火山カルデラ生成前にも、古い軽石流・熔結凝灰岩類が諸所に堆積しているが、今ここにシラスと呼ぶものの中には、まず稀れにしか入って来ない。防災の見地よりは、無視しても支障は少ないのである。

なお、三大カルデラ以外の噴出源に由来する小軽石流が、多数存在する。

天然軽石流の非熔結部のほかに、急峻な山地に大量降下した軽石や、軽石流が滑落・移動し、辺縁部にその二次堆積層を生じ、軽石流と岩相酷似するために、よく混同せられる。而も、これらは本来の軽石流よりは崩壊し易い、というのが太田良平の特色ある見解で、かつて積極的支持者は少なかったが、近頃はそう記載した文書が多い。著者は肯定する。彼は、シラス実働面の先駆的研究者として、価値ある業績を残しているに拘わらず、研究社会が与える評価は不十分かもしれぬ。

昭和41年は、梅雨末期に集中豪雨が襲い、鹿児島・宮崎両県に亘り、シラス地帯の崩壊・土砂流出の災害が大きかった。死傷者数十名に及んだのである。その割には、災害調査報告は少ない。降雨特性曲線と、災害発生を見合わせて報じた例が見えるが、ハッキリした関係解明と迄は行かない。一方、シラスが緩く堆積していること、水に非常に弱い組織の固結物であること等を、実物の顕微鏡観察で指摘する報文が著われ、シラス固結安定論のハシリである。

当時斜面安定の研究は、専ら乱したシラス試料について行われ、クーロン式に現れる、砂に似合わぬ粘着力の解釈を回って、インターロッキング論やダイレイタンシー効果が、盛んに説かれる。論理は精しい。しかし、此の種の議論は、クーロン式の C 、 ϕ を作動要素に分解しようとするだけで、剪断全抵抗係数は依然 C 、 ϕ だから、それを用いて算出する安定崖は、勾配も高さも増す訳はない。100mを越える実在崖の安定証明には、別段寄与するところがない。インターロッキングやダイレイタンシー効果の主張は、高い直崖の証明に対しては、論理学でいう「論点相違の誤」を犯していることになる。

全く異質の研究が、寧ろ素人の着想から始まった。ナマのシラス強度を見出そうとする、大きな寸法を用

いた現位置の試験である。それは「法規の施行」に当たって生じた、行政面の卑近且つ素朴な苦痛に動機があって、実動も亦通俗的であったが、この研究関係者の一派から、シラス破壊論についての、異説が生れることになる。

工学的分野では、沖積シラスの支持力が、地震動に対して特に弱いであろう、という推定が、乱したシラスの繰返し荷重試験から得られた。ヒズミの進行が止まらなくなり、間隙水圧が継続増加して、或る限界に達するや瞬間液化する、というのである。本論は経験的感覚ともよく調和し、人を納得させるものがある。この時期迄の数多い山内豊聰のシラス研究業績中、最も重い価値を持つと思う。谷雄平の、工事現場の取崩したシラスの、締固めに関する実技報告は有意義である。我が国では、実際の明快な議論を好まぬのか、又は避けるのか、複雑な理路を引ずり回す難解性が、研究に着き纏う傾向なきに非ずで、頭の粗雑な者は閉口する。

シラス地帯の地下水について、雨水浸降速度・地下流出量・地下流速を水文学的に観測推論したものがあつた。地下恒温層は、笠原台地で極めて深く、シラス土質の特殊性に基くだろうという。

以上、研究第三期前半を研究開花時代と名づけて、一通り眺めた。この頃から、鹿児島市内では、宅地造成や海岸埋立の大規模工事が行われ、やがて、土砂流出等の工事災害に悩まされることとなる。昭和42年はこうして幕を閉じる。思いきや、年明けて程もなく、シラスの名を改めて天下に轟かす、えびの地震が、その出番を待兼ねていようとは。

参 考 文 献

- 80) シラス資料No.1：シラスについて，鹿児島県企画部開発課，1964.
- 81) 太田良平：シラス研究序説，地球科学，1964.
- 82) 同上：鹿児島県指宿地方地質調査報告，地質調査所月報 第17巻 第3号，1966.
- 83) 瀬谷清：鹿児島県指宿地熱地帯の重力分布ならびにその地下構造について，同上.
- 84) 宇井忠英：鹿児島県指宿地方の地質，地質学雑誌 第73巻 第10号，1967.
- 85) 太田良平・竹崎徳男：シラスに関する諸問題，地質学雑誌，1966.
- 86) 太田良平外：シラスの地質学的分類，鹿児島県企画部，1967.
- 87) 太田良平：5万分の1地質図幅説明書垂水，地質調査所，1964.
- 88) 太田良平・河内洋佑：同上鹿屋，同上，1965.
- 89) 太田良平・木野義人：同上志布志，同上，1965.
- 90) 太田良平：加治木地域の地質，地域地質研究報告 5万分の1図幅，1967.
- 91) 荒牧重雄：阿多カルデラ赤水岳の岩石，地質学雑誌 第69巻 第814号，1963.
- 92) 同上：鹿児島県赤水岳の地質と熔結火砕岩，同上 第70巻 第830号，1964.
- 93) 松本唯一・松本陸士：阿多カルデラの再検討，同上 第69巻 第814号，1963.
- 94) 荒牧重雄・宇井忠英：阿多火砕流と阿多カルデラ，同上 第72巻 第7号，1966.
- 95) 荒牧重雄：鹿児島県国分付近の始良火砕流堆積物，同上 第71巻 第838号，1965.
- 96) 同上・宇井忠英：阿多火砕流の¹⁴C年代，地球科学 No.80，1965.
- 97) 同上：始良カルデラ入戸火砕流の¹⁴C年代，同上.
- 98) 郷原保真：九州地方の Tephrochronology，第四紀研究 第3巻 第1～2号，1963.
- 99) 一色直記外：放射性元素¹⁴Cによる年代測定，地質ニュース No.133，1965.
- 100) 波多江信広外：鹿屋，1：50,000表層地質図説明書，1964.
- 101) 種子田定義・入佐純治：南大隅地方の始良・阿多 Pyroclastics について，九州大学島原火山温泉研究報告 2号，1966.
- 102) 露木利貞外：シラスの岩石および鉱物化学的研究，鹿児島県未開発資源企業化対策協議会「調査研究報告3」，1967.
- 103) 大庭昇外：シラスの鉱物組成，化学組成および成因について，岩石鉱物鉱床学会誌 第85巻 第4号，1967.
- 104) 田村実外：人吉盆地西部の地質概報，熊本大学教育学部紀要 第10号，1962.
- 105) 宮地六美：熊本県人吉盆地のシラス様堆積物，九州大学教養部地学研究報告 No.13，1966.
- 30) 既報（その2）分 郷原保真・小森長生：いわゆる“シラス”・“灰石”について（I）資源科学研究所業績，第1033，1962.
- 106) 山口謙次：北部鹿児島湾近郊に於ける灰石の岩石学的研究，地質学雑誌 第40巻 第477号，1933.
- 107) 同上：北部鹿児島湾の周縁地域に於ける灰石類の岩石学的研究（其の1），同上 第44巻 第527号，1937.
- 108) 同上：同上（其の2），同上 第45巻 第533号，1938.
- 109) 同上：同上（其の3），同上 第45巻 第534号，同上.
- 110) 同上：同上（其の4），同上 同上 第535号，1938.
- 111) 同上：鹿児島湾の周縁地域に於ける軽石類の岩石学的研究（其の1），同上 第45巻 第540号，

- 1938.
- 112) 同上：同上 (其の2)，同上 第541号，1938.
- 113) 同上：同上 (其の3)，同上 第542号，1938.
- 114) 中村一明 外：火山の噴火と堆積物の性質，第四紀研究 第3巻 第1～2号，1963.
- 115) 大庭昇 外：自然状態におけるシラスの顕微鏡的観察 岩石鉱物鉱床学会誌 第47巻 第3号，1962.
- 10) 既報 (その1)分 西力造・木村大造：シラス地帯研究 (第1報) 鹿児島大学農学部学術報告第1号，1952.
- 116) 彦坂良次・藤本広：シラス層災害の問題点について，第3回災害科学シンポジウム論文集，1966.
- 117) 石黒政儀：総合降雨曲線とその数値について，土木学会第18回年次学術講演会概要，1963.
- 118) 同上：ハイエトグラフに関する二，三の考察，同上第19回学術講演会概要，1964.
- 119) 同上：南九州地方41年7月災害の降雨特性について，第3回災害科学総合シンポジウム，1966.
- 120) 上田通夫 外：シラスは果して土か，鹿児島大学工学部研究報告 第7号，1967.
- 121) 上田通夫・長野紀俊：顕微鏡下の「シラス」，日本建築学会論文報告集 号外，同上.
- 122) 上田通夫：「シラス」は固着している，第4回災害科学総合シンポジウム，同上.
- 123) 春山元寿・山内豊聡：乱したシラスの排水セン断特性について，土と基礎 Vol.14. No.8, 1966.
- 124) 同上：シラスのような砂質土のインターロッキングについて，第1回土木工学研究発表会講演集，1966.
- 125) 山内豊聡・春山元寿：砂のセン断強さに対する粒子形状の影響について，九大工学集報，1967.
- 126) 藤本広：シラスのセン断特性について，土と基礎 Vol.13 No.2, 1965.
- 127) 藤本広 外：乱したシラスセン断特性について，土木学会西部支部研究発表会講演概要，1966.
- 128) 藤本広 外：砂質土の三軸圧縮試験値の取扱い方について，同上，同上.
- 129) 藤本広 外：粒子形状を考慮に入れた砂のダイレイタンシー効果について，第1回土質工学研究発表会論文集，1966.
- 130) 春山元寿・山内豊聡：土粒子のインターロッキングを考慮した“シラス層”の直立斜面の安定について，九大工学集報，1967.
- 131) 春山元寿・山内豊聡：シラスのセン断特性について，土木学会西部支部研究発表会論文集，1966.
- 132) 日本建築学会シラス研究委員会 (仮称)：宅地造成事業に伴う土質の調査研究，冒頭報告書，1965.
- 133) 上田通夫：現位置試験による「シラス」の強度，日本建築学会論文報告集 号外，1965.
- 134) 阿部雅雄 外：シラスの物理的・力学的性質に関する研究 (第3報) 原位置強度試験，鹿児島大学農学部学術報告 No.16, 1966.
- 15) 既報 (その2)分 三木五三郎：白砂台地の土質力学的特性と崩壊対策，シラス地帯調査報告並びに関係資料第二集，鹿児島県企画室，1950.
- 135) 上田通夫 外：現位置試験による“シラス”の強度 (続)，日本建築学会九州支部研究報告 第15号，1966.
- 136) 同上：現位置試験による“シラス”の強度，日本建築学会論文報告集 号外，1966.
- 137) 蔵田正夫・谷雄平：シラス崖現況調査報告，九州地建久留米事務所資料，1967.
- 138) 谷雄平：シラスの締固め度及び変化率について，第17回九州地方建設局 技術研究会論文，1966.
- 139) 城本定宏 外：ダム材料としてのシラスについて，農業土木学会誌 Vol.34 No.3, 1966.
- 140) 藤本広 外：シラスの土圧に関する研究，第2回土質工学研究発表会講演集，1967.
- 141) 土質工学会：特殊地盤における盛土及び切土の法面崩壊現象並びに擁壁に関する研究，1967.
- 142) 山内豊聡 外：繰返し荷重を受けるシラスのような砂の間ゲキ水圧について，第22回土木学会年次学術講演会講演概要 III, 1967.
- 143) 梶原光久・岡田紀朗：風化シラスの安定に関する研究，第21回土木学会年次学術講演会講演概要 IV, 1966.
- 144) 日本建築学会シラス研究委員会，「宅地造成事業に伴う土質の調査研究」報告書，1964.
- 145) 白坂一富：シラスの法面処理について，九州地建久留米技術事務所，1966.
- 146) 鹿児島県企画調査室，鹿児島県の地下水概況，1963.
- 37) 既報 (その3)分.
- 147) 阿部雅雄・河原田礼次郎：シラス地帯の地下水特性に関する研究，鹿児島大学農学部学術報告 第15号，1964.
- 148) 阿部雅雄 外：同上，同上 第17号，1966.
- 149) 筒井昭三：南九州におけるシラスの分布と性状について，九州地区久留米技術事務所資料，1966.
- 150) 春山元寿・山内豊聡：南九州における火山性堆積土“シラス”に関する文献集録，九州大学工学部土木工学教室，1965.
- 151) 矢野義男：特殊土地帯の防災工法，山海堂，1964.
- 152) 鹿児島県：シラス，鹿児島県企画部開発課，1967.