

# 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5)

上 田 通 夫

(受理 昭和52年5月31日)

## MECHANICAL PROPERTIES OF "SHIRASU" AND THE CAUSES

Research on "SHIRASU" Disaster Prevention Part I No. 5

Michio UEDA

In the latter half of the 3rd period, which the author feels inclined to characterize as a overblown time, studies and reports much increased in several branches, geology, disaster science, civil engineering, soil mechanics and so on. Investigation efforts increased and experiments were repeated, and analysis became minute and acute. At the same time, in some cases, complicated and rather unpractical logics appeared in their opinions. Conception high, meaning obscure.

In the geological field flow and emplacement mechanism of Ito pyroclastic flow of Aira caldera is reported and concerning the different pyroclastic flows in the Kokubu area and the neighbouring zone, some other members as S. Aramaki, R. Ota, and T. Tsuyuki publish their opinions. Tuffaceous and pumiceous sediments in Kakuto Basin were also investigated by some persons. Here they suffered from considerably big earthquake disasters of seismic intensity 5-6 in Feb. 1968. Many investigation data were obtained through these events. Formerly we had scarcely the data of Shirasu behaviour in seismic shock. These data well revealed a few secrets of Shirasu nature.

The earthquake damages were found of various types as mountainside slip, crack and settlement of river banks, sand boiling, and destruction of structures &c. The author picked up mainly Shirasu damage reports concerned. Shirasu in this environs is not original but there are Shirasu like sediments of tuffaceous materials and of Ito pumice flow poured into the past lake. They are weaker than usual Shirasu and this is the most reason that the damages, especially that of the mountainside were comparatively large for the seismic intensity. Cut cliffs were safer to the mountainside.

As for the engineering department, studies on fill-up ground and reclamation works will become important, for seismic shock influence to disturbed Shirasu material is not made clear yet.

The author's rough introduction to the reports of Shirasu studies has now come to an end.

### 目 次

第三期後半 (1968~1976) — 爛漫を過ぐ—

- 8.5 上田通夫等の研究
  - 1° 研究の概要(1)~(8)
  - 2° 問題点(1)~(6)
  - 3° 概 括
- 8.6 理学的研究
  - 1° 鹿兒島湾奥近接地域
  - 2° 軽石流類の絶対年代
  - 3° その他の報文類
  - 4° 結 語

付 外国のシラス

- 8.7 災害科学・防災の研究
  - 1° えびの地震
  - 2° 水 災
  - 3° 崩壊の要因分析研究
- 8.8 工学的研究その他
  - 1° シラス土質の硬軟
  - 2° 斜面安定論
  - 3° 盛土・埋立地盤
  - 4° 地耐力度その他
- 8.9 研究略史収筆
  - 付 シラス研究史余話

### 第三期後半(1968~1976)一爛漫を過ぐ一

昭和43年は、2月に入ってかなりの地震が、えびの地方を襲い、少なからぬ被害のあった年だ。前後して、鹿児島市内には、宅地造成等の土工事が盛行し、豪雨の度に大量の土砂流出に悩むが、就中44年7月の原良造成地の事故は、規模の広大と崩壊の激甚と相俟ち、関係者をして殆んど自失せしめる底のものがあった。修復は行われたものの、翌春4月初旬の長雨で、再び壊滅した。此の種工事災害中、巨大さと激烈さでは両度の事故に止めを刺す。ともかくにも地震と豪雨と、両つながら特殊土“シラス”の悪名を、流布するに与って力があった。殊更、えびの地震には調査者が網集し、情報は錯綜する。素人のそれも玄人のそれもあった。シラス研究熱は、澎湃として高まるかに見えた……。

宅地造成以外の、大土木工事が二件ある。十三塚原の空港建設と、九州縦貫高速道路だ。シラス特殊地帯とあって、調査・試験もとより怠りなく、それぞれ部厚な工事報告書が出ている<sup>230), 231)</sup>。

如上、情報は夥多と言うべきだが、ものは多ければよい訳でもない。

## 8.5 上田通夫等\*の研究

### 1° 研究の概要

これに一項目を割く所以を、約すれば二つ。一つは、既往のシラス研究に、方法論を含めて新しい別視野を与えたこと。二つは、その提案に基づく工事防災法が確立し、従前苦心した、工事現場の土砂流出事故が、昭和45年夏以降停止したこと。その実績を挙げたのは、鹿児島県住宅課の実行力なのだが、ともあれ、この種災害は跡を断った。工学的研究は、実効を見ることが最終要請であって、リクツはそれからでもつく。我々は、高雅な論理を学んだ覚えもなく、いう程の知的資材があるでもない。言わば、一切の先入見と権威主義を離れ、事実をあり態に観、「如何にして問題を解決するか」に直進するまでで、災害を防げれば事足るとするのである。

(1) シラスが固結体であることは、引張強度の存在により、既に分明的だ。原因が化学的膠着だという事情<sup>153)</sup>も簡単である。

\*鹿児島県住宅課・日本建築センター・鹿児島県建築課・立川正夫・久米国幹・小牧勇蔵・武藤軍三郎・長野紀俊・徳富久二・小柳珠一・石田信一 外学生浜崎典征以下31名。一機関・個人・年代順一。

(2) 数多くの現位置直接剪断<sup>154), 155)</sup>試験によれば、破壊の初発機構は裂けであって<sup>156)-158)</sup>、平面滑りではない。圧縮強度には若干の方向性があり、垂直方向に強いかと見えるが、剪断抵抗には方向差が目立たない。これらのこと、研究の部で詳論する。

(3) 美しい純滑りが、極めて特殊の人工強制試験<sup>159)</sup>で発現する。それは、自然条件下では、決して起らない性質のものである。人工試験は、自然条件下に比して、変化(今は破壊)の自由度が少いから、不自然な制限変化(破壊)が生ずる。これは、試験法の基本として、学問的認識のイロハであり、人工的巧妙は、自然への適応性をそのまま保証しない。

ところで、上の特殊純スベリ抵抗強度を、既述フランセ式に投入すると、80°の崖は130mの高さまで安定<sup>160)</sup>する。この種の現位置試験は、類例を見ないのであって、何はともあれ、初めて現実に迫る崖高さの確定値を得た訳である。ただし、上の計算は、“やって見たまで”のこと、自然条件下で決して起らない強度を使用し、懸崖の安全を論定する、元来大なる自己矛盾であるから。

(4) シラスの大敵が水であること、争う余地がないが、実は多少の曲折があり、如何なる場合にもただ無闇に弱い、とではない。試験や実例は後記するが、流動水には侵削せられ、過剰の含水に固結力を失って、本来の急斜面が滑る。ところが、水平地盤の周囲に盛土して、静止水を貯えると、かなりよく耐える。最後の性質は、工事災害防止の一ポイントになる。

(5) さて、流水のシラス破壊力は、今さら説くまでもない自明の事で、実例も調査も挙げて数うべからず、近頃の顕著な若干例<sup>161)-166)</sup>を報告した。

(6) 地震災害につき、えびの地震の公表<sup>157)</sup>・未公表調査書類がある。

(7) 構造物基礎地盤としての、シラス地山の支持力は強大である、と実地を知る者は考えている。事実を載荷試験<sup>167)-169)</sup>に問うて置いた。ただ研究は緒に就いたのみで、十分の数字を示して結論を語る段階に至っていない。

(8) 太田良平が、軽石流の非熔結部の外に、その二次堆積層・降下軽石の二次堆積層が、岩相酷似して同じくシラスと呼ばれている、と指摘し、賛否必ずしも一定しない事情下に、著者もまた疑問を抱き続けたのだが、北海道駒ヶ岳の踏査を経て、太田の説を肯定した報文<sup>170)</sup>がある。

その他、シラスの三軸破壊・斜面崩壊<sup>171)</sup>・防災工

法<sup>172)</sup>-174) 等に関する概報, 及び未発表資料類が集積しており, 整理後いふ。

## 2° 問題点

(1) シラスの強度規定を如何様に与うべきか, 相応にむずかしく, 明確な成案を得ない。もとより, 試験法と相対的な問題であって, 「シラス強度規定を要求する工学上の目的をどこに置くか」を決断しなければ, 元来不可能な事柄である。目的を明確化し, それに達する適切な計測法を総合設定するのは, それほど容易ではない。

(2) 関連して, シラスに強弱乃至硬軟のかなりの差があることが気付かれている。強が硬に弱が軟にほぼ対比出来ると, 上田等は認めている。最近, 鹿児島県シラス対策研究会は, 硬軟を以て強弱に替え, 一般の地山シラスを三級に分類する案<sup>234)</sup>を纏めた。また触れるとする。

(3) 力学的斜面安定論は, 完結していない。フランセ等の公式が適応しないことは, 上田の研究過程で自然と分かってくる。今, 解決への最終段階の実験に入ろうとしている。

(4) 構造物基礎地盤としての地耐力度については, 研究が始って間もない。今後の問題である。

(5) シラス盛土, 就中高盛土に関する不明部分が, まだまだある。

(6) 太田良平の, 火山軽石物質二次堆積層の存在を肯定するが, 岩体分布の区域・範囲については, 疑問も残っている。

## 3° 概 括

三木五三郎は, シラス台地の自然状態では, 天与の粘着力を持っているから, 安息角ということは考えられず, と昭和27年の報告書に述べているが, その通りである。上の粘着力の原因は化学的である, と田町正誉・西力造・木村大造・山下貞二等が指摘しているが, その通りである。シラスの破壊は, 固結力の喪失で起こる。力学的には裂けであり, 含水過多では滑りである。このような立場に, つまり, 現象に関し事実を肯定する立場に戻って, シラス問題に対処せよ, というのが上田等の研究であって, それを丁寧・忠実に, 時日を費して, 十分の厚みと繰返しの上で跡づけた, というに止まり, 大したことはない。

研究は, 实际的・具体的である。シラスに囲繞されて生活しているので, 紙上の知識が先行して, 素朴な現実を軽視することがない。対象を直視し, 疑問は総べて事実に向いて, その指示どおり, 直截に問題解決

への思考の糸を手繰ろう, という訳である。事実を写す論理を考えているので, 既成論理の枠組に, 自己の観測資料をチリバメることはしない。そのような研究方法が, 時に異端視せられるのは奇妙だが, それはそれで宜しかろう。

## 8.6 理学的研究

### 1° 鹿児島湾奥近接地域

国分・加治木北方地域より鹿児島市北郊に亘る, 軽石流・火山層序に関する諸説は, 今や微細を極める。地震災害に促され, えびの地方の地質も, 注目を浴びることになる。

さきに沢村孝之助は<sup>32)</sup>, 国分北方の5万分の1地質図を作製し, 説明書中に, 下位より萩の元・新川・重久・岩戸・入戸の五枚の始良軽石流を数えた。噴出源について後に訂正を受けるが, やがて軽石流堆積物の模式地と呼ばれる当地域に, 複数の軽石流を指摘した最初である。シラス堆積面が, 噴出源へ逆傾斜しているのは, シラス熱雲の流動性が大きいため, 周辺の高地へ乗上げた, と説明している。かつ, 基盤山地が傾動的に上昇したことも多少影響する。最後の事項については反論が生れる<sup>175), 179)</sup>。太田良平は西へ隣接する加治木北方の地質<sup>90)</sup>について述べ, 新川・岩戸・蒲生・入戸軽石流の四枚を始良火山系としてきた。軽石流二次堆積層が, 溝辺・十三塚原一帯を広く被っている。その外地質年代の古い隼人軽石流を記載するが, シラスとは無縁である。入戸堆積面は, 流出後北へ低い地形であったといい, 判断の根拠は示していない。

従来の研究に引続き, 昭和44年荒牧重雄は, 国分地域の地質と火砕流堆積物の研究報告<sup>175)</sup>を出す。諸家の層序表を対比し, 自己の最近の見解に則って, 説く所詳細である。Table 1. 右端欄の火砕流の全体的模式断面・種々の谷沿断面・層高度・層厚・岩相の特徴・班晶鉱物・粒度分布等を, 図示表示し, 地質の解説を添えている。

更新世末期近く, 現在の加久藤盆地の中心附近よりする大規模な火砕流が, この地域へ南下し, 東縁山地を除く西方一帯に厚く堆積した。砂礫層・安山岩熔岩層の形成後, 約25,000年前, 阿多火砕流が, 南方より進入した。その後, 鹿児島湾内位置を源とする岩戸火砕流, 約20,000年前, 嵯島付近で, 大量の大隅降下軽石抛出に始まる大噴火があり, 続いて妻屋火砕流が流出した。短い休止期のあと強い爆発が起り, 基盤岩

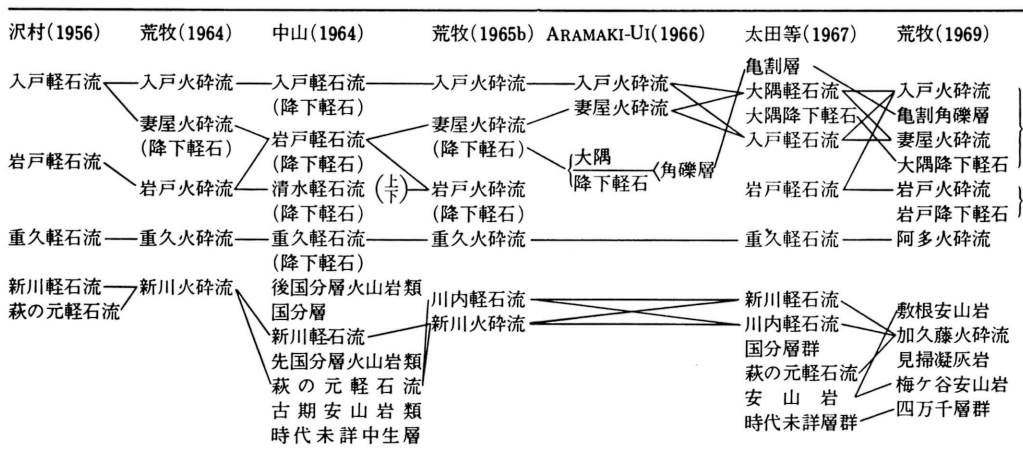
の砕片と軽石との粉体流が生じた。亀割坂角礫層である。最後に大規模な入戸火砕流が溢出して、本地域の大部分を覆った。これらの中間、二、三枚の砂礫層を挟んでいる。大要はこのようであるが、各層毎に詳しく他説と比較して述べている。新川・萩の元軽石流と呼ぶ物は、等しく加久藤火砕流岩体で、重久軽石流は、阿多火砕流である。加久藤カルデラは、夙に有田忠雄の提晶<sup>32)</sup>に係り、人吉盆地の熔結凝灰岩の噴出源としたが、同じくその大規模な火砕流を、本報は明記している。33,000年よりは古い、と。入戸軽石流と大隅降下軽石の順序の異異については、既述した。荒牧は、本問題に関し、大隅降下軽石層を挟んで、上下に大隅軽石流と入戸軽石流がある、とする太田良平の説を批判し、二つは等しく入戸火砕流で、大隅降下軽石の上にある、といっている。荒牧は、その著述を一貫して“火砕流”の言葉を用い、軽石流とは言わない。また、現在のシラス堆積面の、噴出源への逆傾斜の理由を、大規模な厚さの流動層が、基盤地形の凹突を覆うに足れば、原地形に従って着落く管で、沢村等の考える特殊理由は不要である、と述べている。今に至る、この地域の火山層序の対比表を本論文より借用して掲げておく (Table 1)。これによれば、全体を通じて一致するのは重久 (阿多) 軽石流で、その上に複数の始良軽石流が重っている。荒牧のこの報文頃より、始良火山噴出物を纏る諸研究は、一段と精細な過程に入る感がある。

入戸火砕流に関する横山勝三<sup>170)-179)</sup>の研究は、火

山層序論の線に止まらず、その流動・堆積機構を考察した。始良カルデラ北方地域のシラス堆積面の逆傾斜問題は、沢村・太田・荒牧を経て、まだ決着を見ていない。横山は、話を入戸火砕流に限定し、それは始良カルデラ系の、最上部の、一回の連続大噴火に基づくとして、現地連続岩体を追跡し得ることや、岩相の特徴や、吹抜パイプの存在を理由に、太田の二次堆積軽石層の多くを否定し、対象物の分布範囲を、先ず指摘する。堆積面が、基盤地形の局所的凹突を被い、概ね平滑で緩傾斜である事実は、南九州地方のどの地域にも共通すること、全域に亘り高低差があるが、しかも基盤地形の大局によく対応することを述べる。堆積物中の、軽石片・外来岩片の粒径が、想定噴出源よりの距離に支配せられること等を示し、それが始良カルデラの産出物であることを明かす。さらに火砕流が熔結により厚さを減ずる量を、岩体密度とその層厚より算出すれば、高々30mを限度と見積られ、堆積面逆傾斜の原因とは成り得ぬ。一方、大きな基盤の変化があった、とする証拠はないので、堆積面は原状を維持している。さて、大量の火砕流が一時に噴騰し、厚い流動層として四周に拡がれば、基盤地形は一様に中に含まれる訳で、その後沈静すると、原地形に沿った形を採るであろう。この結論は、荒牧の説に与するものである。ただし、荒牧の亀割坂角礫層は、入戸火砕流下底に巻込まれた、異質岩片の集積部だろう、と言っている。

沢村孝之助が入戸軽石流と命名し、太田良平がその

Table 1. Correlation of main rock units.



[荒牧重雄 1969] より引用

二次堆積層と考え、横山勝三が沢村を支持した、十三塚原の地質に、別見解を建てる報文がある。露木利貞<sup>180)</sup>等の文字を要約すれば、西網掛川より東嘉例川に挟まれる地域の地質構造は、隣接国分地域とは異なった特性を持ち、「シラス台地」構造の別の一形式に属する。数枚の安山岩・水成堆積層を基盤岩として、従来の新川・重久軽石流に対応する、新川・表木山軽石流が重なる上に、地久軽石流を載せている。太田が、入戸軽石流と見做したものだが、より古く、さらに別個の噴出源に由来しよう。最上層を、中福良軽石流が広く覆っており、入戸軽石流と同定できよう。この中に含む外来片岩の粒径は、噴出源よりの距離に支配されず、その量と共に、基盤岩の局部凹突の多さに左右せられる。十三塚原西南部において、或る熔結凝灰岩が、非熔結軽石流を敷いている、という太田・横山等の記載は、熔結部の側面下方に寄掛かって残存する、非熔結部の見誤りかも知れぬ。基盤地形は、或る程度軽石流の堆積様式を制約し、表面の逆勾配は這上りであろう。太田・横山の記述は、甲軽石流熔結部の下に、異なる乙軽石流非熔結部があるというもので、問題提起の意味を、著者は十分汲み得ない。同一軽石流堆積層で、上下非熔結部の中間に熔結部を持つ例は、確認されているから、これは、「上述の場所に二枚の別の軽石流は重なっていない。」との抗議か。見誤りか否かは、問題の現場の検証で分かるような気がする。這上りと、流動層とは、流出量如何で両方可能性があるだろう。

鹿児島市北方の詳しい地質層序の報文<sup>181)</sup>がある。同地域に20の地質層序单元がある、といってそれぞれ細説し、軽石流については六枚を算えている。新时期火山灰層の表土直下の三枚は直接重なっており、上より坂元・長井田・蒲生軽石流と名づけられ、坂元・長井田は、入戸軽石流の上・下二部分である、と。堆積層二つを挟んで、犬迫軽石流が存在し、一部非熔結部が露頭するが、その下の二枚は、他の水成堆積層に隔てられ、かつ非熔結部を持たぬので、シラス扱いとせず省略する。本報では、軽石流類の噴出源には殆んど触れず、他地域と比べて特色ある地質形成の、構造に関する叙述は簡略である。

## 2° 軽石流類の絶対年代

<sup>14</sup>C 絶対年代計測の資料が出る。横山勝三<sup>182)</sup>は、樋脇町市比野北東1キロ、入戸火砕流の新しい崖崩壊地の炭化木片から、26,000 ± 695 Y. B. P. の値を得た。同火砕流に関する過去二個の資料と比較し、三者

間に年代差があり、かつ下位にある阿多火砕流より古く、明らかに矛盾するが、原因は不明だという。宇井忠英<sup>183)</sup>は、肝属郡大根占町東方、新しい阿多火砕流露頭中の、炭化木樹型空洞内の炭質物より得た、<sup>14</sup>C 計測値、23,000 ± 1,200 Y. B. P. を、前記横山の結果と見比べて、やはり野外の事実と年代の逆転がある、と述べている。SATO-KAZUO等<sup>184)</sup>、同じく入戸火砕流中の炭化木を、38,900 ± 2,100 Y. B. P. と計測し、既に公表せられている計測値類と対照して、自己の試料の適格性を述べ、従前の平均約25,000は、新しい炭素の汚染があるだろう、との想定下に、入戸の噴出年代は25,000~40,000 Y. B. P. で、38,900年近いだろうと推論する。なお側面資料として、fission track 法、アイオニウム法の年代を掲げている。

入戸軽石流直下の妻屋火砕流の、始良郡始良町森山の、一次堆積物の新しい切土頭から得た、炭化木片試料は、21,600 ± 400 Y. B. P. と計測せられたと、横山勝三<sup>185)</sup>が報ずる。従来の資料との間に、層序的にも年代的にも納りがよい。この試料は、若い炭素の汚染はなく、正しい値を示す、と。なお、本論文は、大木等の長井田軽石流は妻屋火砕流に当るだろうと述べている。

上の諸資料や見解の喰違ひについて、多少の整理を試みようか。

1. 試料が適格で
2. 計測に過誤がなければ

これらの計測から推定せられる、軽石流の地質年代は下のようになる。

この試算のために、木越邦彦教授に直接質問して、教示を乞うたところ、例えば、“16,350 ± 350 の ± 350 は、正規分布の母標準偏差推定値として扱ってよい”との直答を得た。また左右偏差値の異なる場合は、別々に考えて可、と解せられた。ならば、推定危険度を決めると、計算は簡単である。それをどう選ぶべきかというに、地質学的時間単位で、対象の絶対年代を論じようとする立場上、100%に近い確率とするのが適当と判断し、3σ (99.74%) を平均値の左右にとれば、表1、図1になる。噴出年代はこの間に落ちる、という寸法である。

(1) 阿多軽石流は二つの区間に限られるが、重なることより、11の21,800~27,200が定まる。大隅降下軽石は、それより若い方は許され、古い方は不可能だから、19,450~24,550がそのまま肯定できる。妻屋軽石流との比較で、(数値的即ち新しい)下限は20,400

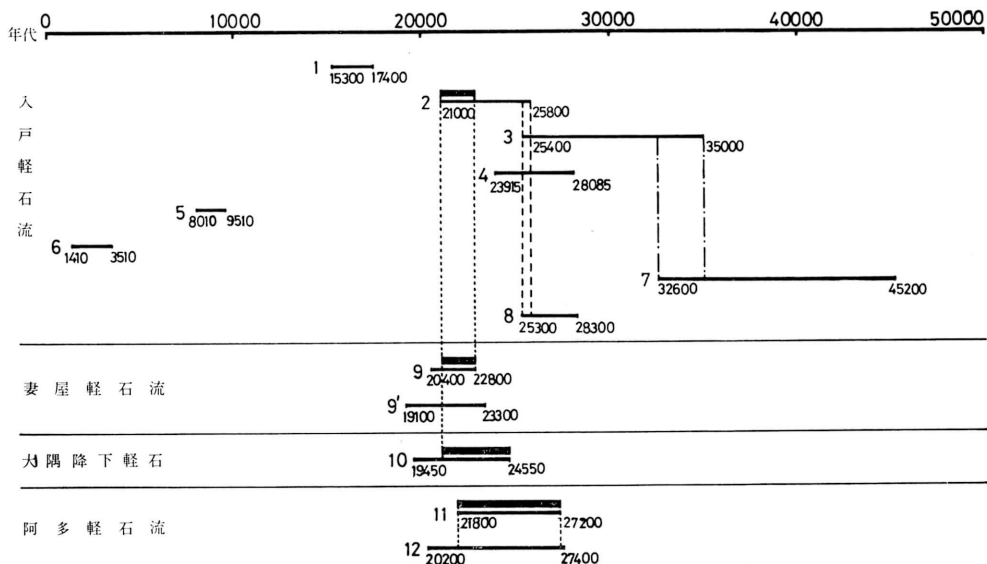
Table 2.  $^{14}\text{C}$  ages,  $\text{I}_0$  ages, and fission track ages of some pyroclastics in southern Kyushu.

| Stratigraphic unit                                   | $^{14}\text{C}$ age (Y.B.P.)  | Sample     | Number of*<br>sampling<br>locality | Ionium age and fission<br>track age (Y.B.P.) |
|--|---|------------|------------------------------------|--|
| Ito pyroclastic<br>flow<br>(Kamewarizaka<br>breccia) | 16,350 ± 350 (GaK-473) <sup>1)</sup>                                | Charcoal   | 1                                  | 53,000 ± 22,000 <sup>11)</sup><br>(Ionium)   |
|  | 23,400 ± 800 (GaK-558) <sup>2)</sup>                                | Charcoal   | 2                                  |  |
|  | 29,600 <sup>+1,800</sup> <sub>-1,400</sub> (GaK-2621) <sup>3)</sup> | Black clay | 3                                  |  |
|  | 26,000 ± 695 (N-638) <sup>4)</sup>                                  | Charcoal   | 4                                  |  |
|  | 8,760 ± 250 (TK-59) <sup>5)</sup>                                   | Charcoal   | 5                                  |  |
|  | 2,460 ± 350 (TK-60) <sup>5)</sup>                                   | Charcoal   | 6                                  |  |
|  | 38,900 ± 2,100 (TK-75) <sup>6)</sup>                                | Charcoal   | 7                                  |  |
|  | 26,800 ± 500 (TK-77) <sup>6)</sup>                                  | Charcoal   | 8                                  |  |
| Tsumaya pyro-<br>clastic flow                        | 21,600 ± 400 (Average,<br>GaK-3513, 3516, 3517) <sup>7)</sup>       | Charcoal   | 9                                  |  |
| Osumi pumice fall                                    | 22,000 ± 850 (GaK-211) <sup>8)</sup>                                | Black soil | 10                                 |  |
| Arasaki pumice<br>fall                               |   | Charcoal   |                                    | 31,000 ± 9,000 <sup>12)</sup>                |
|  |   |            |                                    | 38,000 ± 6,700 <sup>12)</sup>                |
|  |   |            |                                    | 41,000 ± 10,400 <sup>12)</sup>               |
| Ata pyroclastic<br>flow                              | 24,500 ± 900 (GaK-472) <sup>9)</sup>                                | Charcoal   | 11                                 | > 161,000 <sup>11)</sup><br>(Ionium)         |
|  | 23,800 ± 1,200 (GaK-3366) <sup>10)</sup>                            | Charcoal   | 12                                 |  |

\* refer to Fig. 1.

1) 荒牧 (1965), 2) 一色他 (1965), 3) 星埜 (1971), 4) 横山 (1971), 5) Sato et al. (1971),  
6) Kobayashi et al (1971), 7) This work, 8) 郷原 (1963), 9) 荒牧・宇井 (1965), 10) 宇井  
(1972), 11) Fukuoka (1972), 12) Sato et al. (1972).

[木越邦彦・福岡孝昭・横山勝三 1972] より引用



註 9' は9の途中参考計測値で議論に加えない。

図1 既存資料に基づく軽石流類の噴出年代推定参考図

表 1 <sup>14</sup>C 絶対年代計測による軽石流の時代推定

| No. | <sup>14</sup> Cage (Y.B.P)                 | $\sigma \times 3$ | 99.74 % 域   |
|-----|--|-------------------|-------------|
| 1   | 16350 ± 350                                | 1050              | 15300~17400 |
| 2   | 23400 ± 800                                | 2400              | 21000~25800 |
| 3   | 29600 <sup>+1800</sup><br><sub>-1400</sub> | 5400<br>-4200     | 25400~35000 |
| 4   | 26000 ± 695                                | 2085              | 23915~28085 |
| 5   | 8760 ± 250                                 | 750               | 8010~ 9510  |
| 6   | 2460 ± 350                                 | 1050              | 1410~ 3510  |
| 7   | 38900 ± 2100                               | 6300              | 32600~45200 |
| 8   | 26800 ± 500                                | 1500              | 25300~28300 |
| 9   | 21600 ± 400                                | 1200              | 20400~22800 |
| 9'  | 21200 ± 700                                | 2100              | 19100~23300 |
| 10  | 22000 ± 850                                | 2550              | 19450~24550 |
| 11  | 24500 ± 900                                | 2700              | 21800~27200 |
| 12  | 23800 ± 1200                               | 3600              | 20200~27400 |

で、10の左側はそこまで切落し、20,400~24,500と修正せられる。

(2) 入戸軽石流の年代は、内部的にも下敷の軽石流類との間も、矛盾に満ちている。先ず、(1)の手法を押すとし、5、6は異常値であると、原著が自認しているから除外して、1、2の外は妻屋より総て古いので、捨てなければならない。1はそのまま肯定、2は21,000~22,800の区間に限定せられるが、二つのいずれが妥当かは、全く決定法がない。

(3) 入戸軽石流内部の問題に着目すると、1、7は左右に飛離れ、7は3と32,600~35,000の年代代ともかく共通だが、1は他のいずれとも交渉しない。残る四者は、25,300~25,800実に500年の間で区間を共にするのである。7の原著者は、この計測値が、入戸軽石流の上(古)限として最も正しい、と述べる。5、6のような、新しい炭素による汚染例があるので、古い方が当てになるという訳である。5、6はそれとし、総計8個の資料中、例外に近く古い2個のみ適正なり、とする論理を通せば、そもそも<sup>14</sup>Cによる絶対年代推定の、方法論自体を、否定しなければなるまい。適格資料は一般に得られないという、如上の論理の当然の帰結として。

新しい炭素による試料の汚染について、思考法はいろいろあるだろうと思う。事実もまた存在するだろう。ただし、個々の試料に関し、確かな実証が困難である以上、且つこの方法論を試用する以上、その線に従う総合的判断なり、規約なりを導入するほかなかるべきか、と思考する。本問題に深く立入る能力を欠くので、微細の論を省いて進行する。

(4) 阿多以上入戸までの、総体的野外層序を立てて整理すれば、(1)、(2)に記した如く、一連の整理が可能だ。この際1は捨てても大過はあるまい。(3)に論じた入戸内部の問題も、大略25,500年前後と整理してよいだろう。ところが、全体論と入戸との相互関係は、一方立てれば他が立たずで、調整の仕様がなない。ただ、入戸軽石流が阿多軽石流より新しい、ということは肯定せられる。著者は、入戸の計測年代を、必ずしも捨てられないと感ずる。一方、野外層序は事実である。その間、理屈を挟む余地はあるかもしれぬが、今は引下がることにする。出発点において、試料が適格で、計測に過誤がなくばとした、その根本に立戻すべき仕儀なれば。

3° その他の報文類

種子田定勝<sup>180)</sup>等は、鹿児島市の南、鹿児島湾西岸五位野附近に、五位野火砕流を発見した。順番に、阿多火砕流・シラスが重なるのであるが、含有ジルコンの群色よりして、初期~中期鮮新世の噴出と判定せられる。阿多火砕流中の外来片岩は、南大隅花崗閃緑岩に由来するもので、従来彼の見解の正当性<sup>101)</sup>を裏付けている。最上層のシラスは桃色を帯びたもので、この辺りに存在することを、地元在住の上田もよく知っている。美麗というべき色彩のものがある。始良火山直接の軽石流で、太田良平の、二次堆積軽石層とする説を斥けている。班晶紫蘇輝石の屈折率は、五位野火砕流が、阿多始良両者の間、阿多近くにある。流出源には触れていない。このほかに、同じ著者による、宮崎県高原・熊本県人吉・薩摩半島南部・南大隅地方の比較的狭い局部四地区の、火砕生成物中心の地質・岩石調査の英文<sup>187)</sup>がある。それぞれ地層岩相の概要・火砕流類の層準対比・粒子の粒度・岩石の鉱物組成・光学的性質等を、表や図を交えて解説している。高原地区では、始良シラスは、二次(水成)シラスを伴って、岩瀬河岸に沿うて露出する。人吉盆地では、既に田村や宮地の報告したところと大同小異である。加久藤熔結凝灰岩・新期阿蘇熔結凝灰岩・始良軽石流と重なっている。加世田中心の薩摩半島南部では、阿多・始良両軽石流が分布する。同様のことは、南大隅西岸地区でも認められ、この線が、始良軽石流の分布南限である。シラスの粒度は、いずれの地区でも共通に分級不良で、軽石流の特色を示す。噴出源からの距離と、粒径との必然的傾向は見えない。大隅の阿多軽石流は上下二枚あり、中間に礫層を挟んで、上は下より細粒であるという、既往の自説を、再び述べている。この

報文は、軽石流の流動・堆積機構等には、説き及ばない。なお、種子田等は、始良軽石流の非熔結部に限って、“シラス”と呼ぶことにしているようである。

えびの地震に触発せられて、加久藤盆地関係の調査類が殖えた。荒牧重雄の報文<sup>189)</sup>は、同盆地の地質一般と、地震災害の概要とを述べたものだが、シラス関係に絞って要約する。凡そ中部更新世頃か、加久藤熔結凝灰岩類の流出によって生じた陥没カルデラは、砂礫・粘土等の堆積物で埋められたのだが、湛水して古加久藤湖となっていた。2~3万年前、この中に二枚の火砕流が流入堆積して、池牟礼層と京町層とを形成している。前者の由来は不明であり、その含有軽石の特徴は現存する南九州の如何なる火砕流とも一致しない。京町層は、入戸火砕流が古加久藤湖に堆積したもので、余勢は北方山岳地帯を越え、人吉盆地に達している。二火砕流は、一部を除き明瞭な不整合関係を見ぬが、含有軽石の岩石組成や、班晶紫蘇輝石の光の屈折率等よりして、別流であり、京町が入戸と同質であると証せられる。その後、飯盛山等の新期火山熔岩類が、盆地の南半を埋めた。今回の地震による山崩れは、池牟礼・京町火砕流堆積物、要するにシラス層に密に生じたが、何れも表層の剝がれで、山体の地滑りではない。本報文で、特に指摘しておくが、京町層上層部に関する記述中、ある地域で部分的に二次堆積物が発達し、軽石の二次堆積物を認めている。

同じ地域を、太田良平等<sup>189),190)</sup>が調査報告した。荒牧とは異なる見解が見えるが、著者に判別能力はない。加久藤熔結凝灰岩の地質年代は、鮮新世末であろうとしている。川内川は、現在西へ流れているが、入戸軽石流の流入以前は、盆地の水は東流していたのではないか。伊田一善等の加久藤層群は、カルデラを埋める地上に見える分で約200m、下より池牟礼・昌明寺・溝園・下浦の四層に分けてあり、総て軽石質の堆積岩だが、成因的には軽石流とは異なり、凝結が弱く崩れ易い。この下盤基岩まで200mほどの地下堆積物がある。荒牧が加久藤層群と呼ぶのは、これらの部分で、従ってまた、その池牟礼層とは伊田の四層中、入戸火砕流より古い火砕流の湖底堆積層とし、京町層は昌明寺・溝園層の部分及び下浦層に当る。太田の報告に立戻れば、池牟礼層の軽石質細砂は、構成物質の大部分がよく淘汰せられ、あるいは降下軽石の水中堆積かと考えられる。昌明寺層と共に霧島火山の供給か。この盆地以外には類例を見ない。昌明寺層が整合に載る。比較的短期に堆積したものと思われ、基底部には

大きな軽石粒の集積があり、表面近く細砂に変わる。本層上に、整合に広く溝園層が分布する。細かな縞状層理を示す泥・細砂岩の類互層で、深い水中で長期に亘り堆積したらしい。材料は霧島火山から運ばれたであろう。下浦層は、溝園層に不整合に重なる、入戸軽石流の湖成層で、加久藤盆地内にもみ存在する。河川に臨み、灰白色の断崖を作って露出することが多いが、軽石流よりは軟弱で、崩れ易い。西部の栗野・東部の西小林辺一帯に広く分布するシラスは、入戸軽石流で、堆積当初の原形は、その後の侵蝕作用で分断せられている。岩体底部の熔結現象は著しくない。この上に二次(水成)シラスを隔てて、高位・低位段丘堆積層があり、さらにローム層に蔽われている。

木野義人が、この地震地域の地質構造を、総括的に述べている<sup>190)</sup>文献は、直接シラス層を問題としていない。内容は、むしろ災害科学的研究の部に属するようだから、そこで触れるかもしれない。えびの・吉松地域は大凡加久藤カルデラ内に相当し、その地質構造は霧島一琉球火山帯における共通の特徴に従う。それらの叙述を摘記しても、小論本来の意味に関しないから省略する。ただ、加久藤カルデラは、幾つかの火山口群の複合体と見られるし、加久藤外に、小林を中心とするカルデラ構造も伏在する可能性がある、と。

宮崎平野の地形発達史<sup>191)</sup>を論じたものの中に、大淀川流域の一部に分布する、日向シラスに就いて述べている。入戸軽石流の急激多量の供給で、河谷を埋めて形成せられ、上面に二次(水成)シラスを被り、必ずオレンジ軽石層の水中堆積物を載せて、川南原高位段丘面を覆っている。<sup>14</sup>C絶対年代の逆転数値等に言及しているが、既に<sup>2°</sup>で記したから言わない。宮崎県のシラスは鹿児島のと違う、と同地の研究者より度々聞く。著者は、宮崎のシラスに関して、それほど実地を踏まず、詳かにしない。想像するに、二次(水成)シラスが多いであろう。いずれ、気の済むまで調べるつもりだ。

遠藤尚も、宮崎県下のシラス台地について<sup>192),193)</sup>述べている。高位段丘の古期シラスと、低位段丘の新期シラスがあり、岩相もそれに相伴う熔結凝灰岩も、それぞれ幾つかのタイプがある。小林・高岡その他の小地区毎に略説した。新期シラスは入戸軽石流だが、古期シラスは小林・大河平・萩之元各軽石流を称する。一つ上の池牟礼層を、重久(阿多)軽石流に比しているより見れば、加久藤火砕流とするか。宮崎県下の火山軽石流類の分布・層序の整理は、まだ明らかでない



感じがする。

シラス粒子の、粒径・粒度と崩壊の関係を述べた<sup>194),195)</sup>ものがある。長径の大きな軽石塊を含むもの、丸っこい粒形のもの、粒子の小さいものが崩れ易い、としながら、まだ考察不十分だと自認しているから、それまでとする。ただし、シラス岩体の安定性の第一要因は、その固結力にあること明白で、それは大体のところ硬さで測れるものであることを指摘しておく。

シラスの帯磁状況を、分類や安定性判別に資しようとする、露木利貞<sup>196)</sup>の報告は、実地に詳しくよく充実している。シラスの語義について述べ、要するに、地上堆積の軽石流非熔結部のこととする。二次派生的なものは、限定形容詞付で区別しよう。さて、熔結凝灰岩とシラス・成層シラス(水成及び湖成層を含む)・風化シラスを、磁化の強さで比較して、関連を発見した。噴出源始良カルデラと、見本採取地の距離との関係も述べている。磁化の強さが、固さと併行する傾向を示す。尤も、シラス安定性判定の具体的手段は、直接の硬さで分けることだ、と。この報文で、文献<sup>150)</sup>で述べた「或る熔結凝灰岩が、非熔結軽石流を敷いている、という太田・横山の記載」を見誤りとする根拠が明らかになっている。

シラス層中の含有粘土鉱物の文献<sup>197)</sup>がある。

#### 4° 結 語

研究報告文献は尽きないが、我々本来の立場上、この分野について、これ以上の深追いを打切る。シラスの何たるか、これに関し、研究社会における諸説の交錯、見解の異同、共通の未解明問題、それらの歴史的変化や展開は、一通り視野に収められた。防災を最終の主目的として、何を如何様に受容被益するか、大凡の筋道と資材には事足ると感ずる。今は、次の旅程へと踏出さなければなるまい。

#### 付 外国のシラス

ニュージーランドの北島に、黄褐色軽石土と呼ぶ、わがシラス様の土があり、性状類似することを、紹介した文献<sup>198)</sup>がある。60万年前の生成というから、年代は大分違うが、切土では80°程度の勾配をとり、豪雨時の崩壊様相等がよく似ている。年間雨量と人口密度の関係で、南九州ほど問題にはならないらしい。シラスは元来火山軽石流だから、火山地帯には存在するわけで、パプア・ニューギニアにも見出される旨を、小牧勇蔵氏から聞いた。将来せられた実物も見せて貰った。伊集院辺りのシラスに、外見酷似している。

## 8.7 災害科学・防災の研究

### 1° えびの地震

何はさておき、えびの地震よりしよう。シラスの地震動に対する性能は、僅かに、大正3年の桜島地震、昭和36年の日向灘地震の資料によるのみで、殆んど分っていない。それらは、問題となる規模の災害を齎していないのである。昭和43年2月21~22日に亘り、えびの・吉松地区を襲った、マグニチュード5.5~6.1、震度V~VIの強・烈震では、崖崩れ・堤防破損・道路亀裂・構造物破壊その他、多くの被害を見た。個人・団体の研究者が来往して、報文類は少ない。就中、濃密な調査研究<sup>199)</sup>を実施しているのは、国立防災科学技術センターであり、既出の文献<sup>189),190)</sup>等は、この中に含まれているものである。尤も、研究者毎に専門は種々だから、一を以って、事件の全貌を掩うことは不可能なので、若干の資料<sup>200)~202)</sup>に基いて記すこととする。そのうち、著者の関心の中心は、シラスの対地震性能である。

報文類は、大筋よりして三項目に纏められる。地震自体・地震と地質構造・被害状況である。前二者が深く絡み合っているところは、本地震の一特徴である。即ち、震央域附近では、霧島の火口列延長上、南東から西北へ走る地下の弱線と、霧島西側の南北方向の弱線が交叉し、地域の北西背面に、多数の断層が存在する。最大落差100mに達するものがある。地質構造の不安定箇所を、将来もこのような地震活動の起る可能性が強い。各種報告類は、その専門外の部分を、専門調査資料に拠ることが一般だから、記述は、相互に出入重複している。

さて、地震活動は、記録上前年11月17日に始まり、第一活動期は43年2月21日の本震をピークとして、群発しながら沈静に向っていたが、3月25日に再び震度Vの強震があり、第二活動期に移った。9月から有感地震は殆んど絶え、活動は末期に入る。震源は、京町駅南方約2.5km附近、直径4km円内の地下数キロメートル以内に分布する、と推定せられ、活動期間中、震源に大きな移動はなかった。第一活動期本震の有感範囲は、殆んど九州全域に及び、その震度分布が求められている。元来、当地方の地震と日向灘地震、霧島火山系の活動とは、あるいは関連がある模様で、第二活動期の4月1日には、日向灘でM=7.5の地震が起り、宮崎・大分では津波に襲われた。過去にも、加久藤カルデラと日向灘の地震が、相前後した例が知られている。

地質については、大略述べたので繰返さない。瀬谷清等<sup>199)</sup>が、この地区の重力異常を測定した結果、加久藤盆地と小林盆地は、八幡丘陵の加久藤安山岩塊で境せられた、二つの別の陥没地になっており、さらに東へ延びているらしい。木野義人が言うところのそれである。深部電気探査の解析結果も、上と矛盾しない。南部は新期火山岩に被われて、多少不明暫だが、異常重力の陥没地形は、有田の加久藤カルデラに合致した。要之、加久藤盆地は、基盤安山岩上、加久藤火砕流の噴出があって、カルデラを形成し水を湛えたが、間もなく堆積層を生じた。その上を、池牟礼層以上入戸軽石流湖成層までの、主として軽石質堆積物が埋めた。そこへ、新期火山岩が噴出して、盆地の南半は塞がった。加久藤層群という言葉が、人により二様に使用されている。伊田一善等は、加久藤火砕流後のカルデラ内を埋めた、堆積層全体を指して命名したが、その四層の下にあって、地上に現われぬ部分のみを、荒牧重雄は、同じ名称で再定義した。鈴木泰輔は、国分層群相当層と呼んでいる。文献を見る際に、読分ける必要がある。

被害状況は、対象によって二分する。人工的構築物と自然的存在物とである。両者は、存在空間が自ら異なり、家は山中に在らず、山は街区に存せず、の関係にある。截然と分けられぬ対象物は、便宜取扱う。地震と被害との関係を概括すれば、前震・本震・余震三併せて五回のうち、本震のみ震度Ⅵ他は全部Ⅴ、つまり、震度Ⅴ以上で被害が発生する。後の余震二つは、3月25日第二活動期の起りである。この時は、それまでの被災地周辺に拡がった。前三回に免れて、多少条件が悪化していたものに及んだ、と見られる。先発三回の場合でも、21日の前震と本震で、弱くなっていた建物が、22日の余震でかなり倒壊した、ということが分っている。被災地域は、およそ京町地区を中心に、半径約10kmのほぼ円内に納まる。

人工的構築物中、建物に関することは、大沢胖等<sup>203)</sup>が報じている。被害程度を6級に分類し、地域を追って詳細である。亀井幸次郎の調査<sup>204)</sup>もある。一般住宅については、老朽家屋の多いこと、施工不良のブロック構築物の耐震非力性、特にこの地方の伝統的木造構法の欠陥等を、共通に指摘する。一方、耐震的考慮を払ったものは、周囲の被災建物中ひとり軽度で済んだ。報告者達は、下浦層の湖成層たることは、未知の様である。

空積石垣は崩壊容易で、無筋かそれに近いブロック

塀は、もっと倒壊する。橋梁の損傷は、上部架構支承部附近に限られ、基礎の被害はなかった。堤防・道路、つまり、人工盛土に属する部分の被災は大である。その状況は、中央部または路肩寄りに、長さ方向の亀裂が発生する形である。

これより、関心の的たる、シラス山地の耐震性能に關する部分に、眼を注ぐとしよう。元来、地震時のシラス崩壊問題の専門家は、ある道理がないので、観察者がそれぞれの所見で説を建てているのだから、相互喰違ったり、時には地質学的基礎知識を欠くことに起因する、自己矛盾もある。ある報文では、山腹崩壊は粗粒質の地区で数多く、かつ大規模に発生している、と言ひ、別の報告は、この地域のシラスは、細粒で比較的分级がよい旨を述べている。それは下浦層が、元来入戸軽石流の湖成層であるため、淘汰されてシルト分を失ひ、大粒の含有軽石を分離し、比較的粒径の揃った、白く美しい細砂の様相を呈すること一般を指している。粗とは局部比較上の発言で、細とは、概して粗粒軽石を含まぬ、全体的捉え方であろう。当然、固結力が弱く、従って軟く、通常の軽石流よりは、崩れ易い道理である。本盆地外の南西方と東方には、陸成の入戸軽石流がある。今回の山崩れとは無縁である。どの文献にもほぼ共通なのは、シラスの山腹崩壊は、主として表層滑落型であり、薄い表層下に風化帯があって、その部分が滑動する、との見解である。安藤武<sup>199)</sup>はそれを模式化して説明し、木村大造等<sup>206)</sup>も崩壊の諸例を、六つの型で図示しているが、大意は似ている。なお、崩壊はシラス許りではなく、段丘礫層等他の土層にも生じていることを報じた。シラスの切取崖は元来直に近いが、その崩れ方は、斜面肩附近の欠落に誘発せられるのが普通である。さらに明瞭に、軟岩型崩壊とも名付くべきものがあり、露出岩体の崖裾が破壊し、あるいは岩塊に分割せられ、または鉛直に割裂し、要するに、引張亀裂破壊をする実例が、撮影<sup>199),205)</sup>せられている。平尾公一<sup>199)</sup>の調査は最も精しい。第一回、第二回地震及びその後の山崩れの経時変化を含め、崩壊モデル斜面を選んで、地盤調査を行なっている。山崩れは、大別して表層滑落型とブロック崩壊型になり、数としては前者が圧倒的に多い。当然それは、表層と地山とのナジミの強さに歸し、樹根の態様が關係する。植物については、他の報文もまた叙述しており、着眼に逕庭はない。木村は、山の地表の凹面に、表層滑りが激しいというが、本報では同時に尾根の突部にも多いと述べており、双方共に事実

である。2月第一期の地震後、3月の強震を経て、山腹の被害がどのように拡大、または新しく発生したかは、粗観察の結果、大して変化がないと判明した。続いて、その7ヵ月後の航空写真によれば、爾後の変化は一層少ない。さらにまた、モデル斜面に伸縮計や移動杭を設置して、表層滑落型の地表の変位を検した。昭和43年9月より1年間観測している。裂け目の伸縮は部分的にあるが、斜面全体の移動は、目立たない。部分変位は、地震・降雨に勿論関連しつつ、量の関係は必ずしも決定できない。斜面土質は、砂交りロームとシラスとに大別せられ、植物の根茎が介在するので、その干渉状態を調査した。土質としては上の二者は明瞭に差があり、境界に不連続面が構成せられ、それは簡易貫入試験等で知ることができる。概していえば、シラスがよく締って、むしろ安定性がある。従来、表層下に粘土化したスベリ層が存在する、と言って来たが、この点について疑問を提出した。つまり、滑った結果粘土化するのではないか、ということである。本調査は、事故後の経時観察を実行した点で、行届いた好報文となった。低地部分には噴砂現象があり、著者も数箇所実見した。新潟地震でも既に知られているが、噴出したのは、尽く地下2~3mのシラスである点に注意したい、と指摘する文献<sup>207)</sup>がある。ところで、この噴出層のN値は25~35<sup>199)</sup>というから、我々が普通に承知している、表層近い、シラス交りの沖積土とは異なっている。

前後数回現地を踏査するに当り、「シラス地山が、地震時に如何様に被災し、その強さを他の岩・土類と比較すると、どの辺に位するか」を、特に注意して観察したつもりである。この問題は、研究の部で今少し突込む心組みだが、概していえば、現地のシラス(下浦層)は、鹿児島市附近のものより、固結が緩く弱いのだが、それでもロームや盛土よりは岩体はしっかりしている。ある種の堆積層や空積石垣に劣ることはない、というものであった。地盤として、水成的なシラス堆積物は、地震に対する軟弱地盤ではないか、とする考え<sup>199)</sup>がある。種子田定勝<sup>208)</sup>・熊本大学右田研究室<sup>209)</sup>からも被害調査書が出ている。前者は、シラス粒度・粒径と崩壊性に言及する。締固め試料による、排水三軸試験資料の文献<sup>210),211)</sup>がある。スベリ破壊論だから、表層滑りには妥当するかもしれない。と思う。が下浦層の細粒部分が剪断に弱い、という示唆は、前年地質調査所の現地調査報告の崩壊分布とは丁度逆方向をむく。

諸種の論文を見、自身経験して、さて感ずるところと言え、山崩れ等の調査は、地質に関する基礎認識を欠いては、畢竟ダメだということであった。

## 2° 水 災

この時期は、えびの地震のほか、しばしば豪雨に見舞われた。そのうち、際立ったのが二、三度ある。

シラス地帯の斜面崩壊は、地震を除けば総べて水が介在すること、今や常識でもあれば、周知でもある。その種自然災害の報告類は、古く田町正誉<sup>17)</sup>以来挙げて算うべからず、災害毎に実質において凡そ同内容で、重複事例を繰返すに過ぎない観があるから、かい摘んで記述することとし、代表論文として木村大造<sup>212)</sup>のものを挙げておく。先ず、昭和24年以降44年までの、豪雨災害の実例を、70枚に垂んとする写真で示して、事はほぼ尽くしており、僅かに、切取土工事中の写真例を欠くのみである。耕地・山林・山腹施工地・道路・宅地造成地と分類してある。崩壊の本質論よりすれば、共通現象が多い。続いて、シラス地帯災害の原因、侵蝕論、防災上の問題点を解説した。旧著を再録した部分をも含めて、著者のシラス研究者としての経歴が窺われる。上の内容に筆を加えて、工法にまで及んだ山内・木村の共著<sup>213)</sup>がある。写真はかなり再掲せられ、追加分は山内の筆であろう。本文には、後に触れるかもしれない。木村には別の小文<sup>214)</sup>もある。文献<sup>212)</sup>のいう、宅造工事の土砂流出は、防止法が確立して、昭和45年夏以後跡を絶った。

宅造工事が大型化したのは、昭和41年頃よりだが、現場では殆んど例外なく、豪雨期の斜面崩壊と大土砂流出が起った。就中、昭和44年7月2~3日にかけて、鹿児島市内原良団地を襲った災害は、規模の甚大なる点で、シラス災害史上比を見ない。半年かけて、完全に修復せられたと思ったのが、豈図らんや、翌4月10~11日夜再崩壊、壊滅した。両度ながら著者は繰返し現場を踏み、謎にただ苦しんだものだが、空中視察を思立ち、偶然にして一箇の不可思議現象<sup>184)</sup>を発見した。シラスが、静止水にはよく耐える、という平凡な一事である。その工事防災法は、研究の部に譲る。雨は、もとより工事現場にのみ災したのではなく、道路・自然斜面・農地等も同断であった。それらの調査報文類<sup>215)-221)</sup>を、若干拾っておく。内容は、実質的に共通あるいは大同小異で、特にいうほどのことはない。道路脇の法面崩壊を調査したもので、「シラス表面が植生で保護せられておれば、侵蝕崩壊は生じない」としたものがある。シラス肌が流動水に触れなけ

れば、極めて安定なのだから、それに相違ない。道路公団の考え方の中心は、この点にあるらしい。文献中<sup>217)</sup>に、「勾配が急ではあるが適当な法面保護工を施した所では、大規模な崩壊、侵蝕はほとんどみられなかった」とし、写真-11を例示したのは、一寸した誤認を含む。此所は、原良団地を出て左の切取崖だが、元は素肌であった。真直ぐ進むと丁字路に出、突当りに等質、等勾配、等しい高さの裸の急崖がある。それは、もっとしっかりした素肌で、昔から安定している。写真の部分、穴工法で由なき人工を加えたため、大分荒れてきた、と経緯を知る者の引例する場所だ。調査者が、事情に通せず、一局部のみ見て、履歴や他との比較をしないため起こった、誤断だろう。主として農地関係の災害について述べ、最大災害要因は雨だ、とした報告<sup>219)</sup>がある。

昭和23年は、7月集中豪雨、8月初旬に19号、同月末23号台風と、風水害の多発した年である。南九州地区災害調査は、文献<sup>220)</sup>の一部に登載せられており、著者も加わったが、短期匆忙の間で、行届いた調査とは言い難い。珍しいのは、19号台風で牧園町万膳川の土石流が川の曲路を通らず100m程、かなりの小丘を開削して直進した事例で、既述した。跡の凄じさは、美事というの外なかった。

昭和47年も、集中豪雨が日本各地を襲い、県下もその例に洩れず。そのうち、特に烈しかった三地域につき、丁寧な実地調査を纏めたもの<sup>222)</sup>がある。初めに総論を置いてあり、連続累加雨量と崖崩れの関係を図示している。春山にはまた、共通的内容の別文献<sup>223)</sup>もある。略。総雨量200mmを超えると、崩れが急増する、と大観して可なるか。無論土質・地形を重視すべきこと、言うも更なり。各地の調査は21箇所及び、写真を添えて要点を説明している。シラス単味の河川堤防の豪雨災害を報じた文<sup>224)</sup>がある。小段繰返しシガラ止芝付工法の有効性を、同時に報じている。山内の英文<sup>225)</sup>は、彼の他の報文類の総合要約的性格のもので再述しないが、シラス崖の脆性破壊に論及している点は、従来見ないところである。切取崖の崩れにつき、“Physico-Chemical Phenomena”の文字を使っている。安定性に、ともかく「化学的」要因を加えたことになる。シラス中に、何等かのイオンや有機塩が浸透してpHが下がり、崩壊の因となる。山下貞二が、昭和28年シラス化学結着論を唱え、諸所の、崩土・未崩土の化学分析により、それを証しようとしたことは記した。直話によれば、「pHが高いと、硬くなるよ

うに思った。」また曰く、「シラス化学結着説を述べたら、連中の袋叩きに合ったよ。俺は、力学のことなんか、ナンニモ知らねえからなア」。著者に、その辺の判断はつかない。藤本広の報文を三編<sup>220)~225)</sup>挙げる。既にシラス水災の大要は尽したから、詳記しない。送電用<sup>226)</sup>鉄塔基礎の抜け出し例を挙げたのは初見で、盛土斜面の災害は、その種土工事量と共に殖えている。地震時の崖の安定限界高さについて計算結果を例示している。宅地造成地の豪雨災害問題を指摘<sup>227)</sup>すること、木村に等しく。最後のもの<sup>228)</sup>は、むしろ解説書という種類だろうが、前半は侵蝕を後半はパイピング現象の、シラス地帯への適用を語っている。侵蝕に関するペーパーの概念式中、斜面の面積を法長に置換える方がよい、との意見に同調する。特に、シラスではそのとおりと思う。後半の事例には、珍しいのがあり興味を覚える。

### 3° 崩壊の要因分析研究

福山俊郎が、シラス崩壊と侵蝕の要因分析<sup>229)</sup>を行っている。種々の崩壊要因が絡み合う、主題のような問題について、統計的研究は不可欠な一面であるが、従来は、その例を見なかった。この方面に関して、初めての調査研究で、大変興味ある成果を生んでいる。原著者もいう通り、降雨条件が要因中に入っていないのは、実態把握が如何にも困難なので、己むなしとして、直観のみでは捉え難い総合結論を数量化して示したことは、十分評価せられる。内容を精読すると、従来の常識とよく一致する部分と、案外の結果や疑問点も混在していて、追認と検討を要するものを、含まぬ訳ではない。どのような研究や調査も、ただ一度で問題を解決することは困難だから、属性や要因の選定、それらの内部関連等を検討し、反復を経て、一層实际的で確実な資料となる事を待望する。

調査は、九州縦貫道路鹿兒島一宮崎予定線中心の、幅10km地帯の国道・主要地方道における、法高10m以上のシラス切土面242箇所を対象とした。分析は詳細だが述べ切れぬので、一部摘録略述しよう。

(1) 崩壊の原因は、結局水であって、表面水・地下水・その併合が圧倒的に多く、人為及びその他というのが6%ほどある。

(2) 崩壊の種類とは、型と呼ぶことも出来そうな内容だが、「粘性土化型崩壊」と原著の名付けのものが多。

(3) 法勾配のうち、1~2分の崖が最も崩れ易く、7分~1割2分が安全であると、分析せられる。

(4) 土質硬さの関連では、(本調査法に基く) 6~7 cm が地表水で崩れ易く、10~14 cm が、地下水でそれに次ぐ。

(5) 法面植生のなじみがよければ、如何なる場合も斜面は崩れ難い。これは、経験的によく知られるところで、西光寺谷頭における成功例が、常に引用される事項である。

(6) 後背地が正勾配の時崩れ易い、ということも言い伝えられており、水が法面に流下するため、と理解せられる。

侵蝕についても、同手法の分析がある。例えば、土が硬くなると、侵蝕せられ憎い。その他、侵蝕・崩壊共に細かく、諸要因の働きを評価した。意義ある研究だが、一、二望蜀を許されるならば。

(1') 要因中に、表層土に関する項が欲しい。

(2') 土質硬さの見積り方は、タガネ打撃の貫入量と説明されるが、“それが現実には、シラスのどの程度の硬さのものに該当するか”が不明なので、読解の際事実上の判断に困惑する。

(3') 粘性土化とは、如何なる状態を指しているのか。

(4') 分析結果の、工学上の意味付けあるいは解釈が、是非望まれる。例えば、

a) 法尻に平場があれば崩れ憎く、それも0~1 m 幅が有利というのだが、それは何を意味するのか。

b) 交通量の多い路線沿いに崩れが少ない。

c) 崩壊の関連で、(3)に記した法勾配の有利・不利の工学上の根拠。

d) 要因間の、内的親近性の問題如何。粘性土化と硬度、法勾配と植生のなじみ等。つまり、後者なら、法勾配7分~1割2分では、植生は必ずあるし、それは凡そよくなじんでいる筈だから、原表5・23崩壊原因と植生なじみのクロス表中、植生なじみ崩壊なし27個の中に、原表5・26崩壊原因と法面勾配のクロス表、0.7~1.2法勾配の無崩壊例18個は大体含まれている、ということではあるまいか、との発問である。原表がないので推測の域を出ないが、その時、崩壊は法の中腹に多からう、と我々の過去の知識は暗示する。そこで原表5・18を見ると、そのような情報を受取る。ここには、水の作用と法勾配と植生なじみの間に、濃密な係わりが実際上存することが、分かっているのである。また、粘土化崩壊は、法肩崩壊、6~7 cm 硬度に関連深く、別に法肩崩壊は、6~7 cm 硬度に結びついている。これは、硬度6~7 cm が、

粘土化現象に絡む事情を表現してしまいか、と想像させるのである。さらに、以上を連結する実景が、眼底に浮ぶ。ローム表土を被っているシラスの、上面平坦な比較的急な崖が、表土との境界面辺で、言わば粘土化して、肩から裂け落ちる多くの事例である。原表5・34によると、粘土化崩壊は、1~2分勾配の崖で圧倒的に多いこと、爾言うには非ざるか。

統計的手法は、集団に関して語るものであって、個物に就いて主張するのではないから、従来の個物調査と、車の両輪をなして進展するのであろう。欠を補った点において、苦心を多とすべし。実は、数量的思考法のうち、相関係数ほど、実体不明のアイマイな概念は少い。定義はよし、思考の基礎概念も諒解するとし、算出数値が何を規定するのか、それほど小気味よく頼り切れる、とはよう考えぬ。承知の上で使用せよ、ということだろうか。

原著は、一冊の書籍の一部分の再掲で、説明中には、「前出の」と書いて前出がないなど、多少読みづらい。また手分けして物したか、ミスプリントや数字の喰違いを、間々見るのは惜しい。

ところで、文献類は、災害のそれよりも多く、読んで尽きる期はあるまい。ただし、著者も多少飽満の気味である。水災は更なり、えびの地震を経て、今に至り、シラス災害はほぼ正体を現わしたと信ずる。研究略史の終点は、どうやら視界に入り来ったか。

## 8.8 工学的研究その他

兎仮睡……、いや亀が緩歩の隙に、兎が駆抜けたという感を覚える。実は、研究史最後期に至って、シラス地帯の事情がかなり変ってきた。宅地造成の大規模工事が起こり、土砂流出の工事災害が暫時繰返されたが、謂わば県内の地方事情である。それらとは異なった、顕著な二大工事が、実施せられることになり、もとより疎漏は許されぬので、入念な研究の上、十分の工事費を投入して実行せられた。十三塚原の鹿兒島空港建設と、九州縦貫道路の実現である。両工事について、部厚な工事報告書<sup>230),231)</sup>が出ている。そのいずれにおいても、予算規模が巨大であって、工事レベルは当然に高い。シラスが、自力で何メートルの急崖を保つか、などということは、大した意味を持たなくなった。ザッと言えば、必要条件は尽く満すような、理想的工事を実施せよ、という趣旨に基いて、研究も行なわれた。元来、シラスを直に近く切り、安定を保たせようとするのは、卑近な工事目的に応ずる、日常生活世界

の出来事で、崖面の保護を略し、時に少量の砂が崖裾に零れ落ちて、崩れなければ支障なしとする、簡易安全論の立場に発するものである。空港は更なり、高速道路のように、些細な路面障害も許されぬ上、日常の綿密な維持管理を要する、路脇斜面の処理は、工学としての前提が、「人為的技術」に依拠し、自然に順応する底のワザとは、本来別である。特に周辺地形が単一でなく、水の調整を自然に委し得ない事情の下では、シラスの自耐力などを顧慮せず、安定斜面の人工設定を目途とすればよいので、持永竜一郎の「シラスなんて要するに砂じゃないか」という発言\*は、以上の事情をよく反映している、と思った。研究社会もまた、その影響を受け、同じ傾向を辿るのである。加之、法規類が、法面保護を義務づけ、緑地の形成を要求するに至って、素朴なシラス観に基く、ロマンチズムの呼吸する余地は、極めて狭小となった。勿論、シラスはただの砂ではない。安定自立高さすら、確証せられているとは言い難い。十分の法勾配をつけ、斜面を丁寧に雨水から被覆する手法は、この問題の論点を避けて通ることに当る。それに、ある数値的根拠を与えたにしても。

工学部門の研究報告は多くして、数のみならず、内容に至っても、時に煩瑣の感を禁じ難い有様となった。一々後を追うことの空しさもあれば、主要項目に分割して、摘記することとし、要すれば、研究の部で論及するつもりだ。

### 1° シラスの硬軟

地質学上、軽石流の噴出源や堆積相、時代の組合せは許多ありとし、工学的強度区分を、如可様に規定するかは、夙に論ぜられたところである。先ず、露木利貞は、地質調査のピッケルハンマーを打込み、その貫入具合手応えで、硬・中・軟に三分する案を提出した。本法は大局的に本質を捉えていて、実用上十分と、著者は大いに賛成であった。続いて春山元寿<sup>232)</sup>は、それを中山式土壌硬度計で測定し、統計手法を用いて、露木の分類の両側に、弱い風化シラスと、熔結凝灰岩の範囲を加えよう、と言った。貫入量21, 26, 31, 35 mmを境界とする。本報は、よく整理せられ、通りのよい論理を展開している。上の区分も、実地の感覚に適合するものである。文中、風化シラスは含水比が大で、乾燥密度が小だと記しているが、その通りである。硬度計を用いることは、その師木村大造以来の伝

統である。島常信<sup>233)</sup>も同様調査の結果、25, 30を、軟・中・硬の境として仮設した。貫入量と植物の根張りの関係をも観察している。鹿児島県シラス対策研究会は、その土工設計施工<sup>234)</sup>指針中、島の案をそのまま採用し、軟・中硬・硬質に分類した。席上、島は著者に「硬軟が強弱に対応するか」と念を押し、著者は「大体それでよい」と応答した。調査していた。同目的に鉋打銃を試用した例<sup>235)</sup>がある。シラス肌に近い噴射水を当て、穿掘抵抗で硬度を測ろうという試みがあったが、あまり意味を持たない。

### 2° 斜面安定論

濡れないシラス岩体は、通常滑り破壊しないから、その方面の関係報文類は多いが、暫く棚上げする。研究第三期後半に至り、出づべくして出たものが、シラスの脆性破壊論である。村田等の文献<sup>236)</sup>はその一つで、4種類の未攪乱供試体で、単純引張・圧裂・一軸圧縮試験等を実施し、その結果につき考察したものである。破壊規準として、クーロン・ナビヤ式が適用できるもの、修正グリフィス理論が合うものがあつた。思うにこの供試体は、弱熔結に近いだろう。土粒子比重・見掛・乾燥密度総べて大きく、引張・圧縮強度もまた然りである。かつ、一軸圧縮試験の $\sigma$ - $\epsilon$ 曲線が、普通より直線に近い。まだ少数実験で、一般論には補追があるだろう。上の考え方を、自然崖の崩壊に適用したもの<sup>237)</sup>があり、シラスは岩石的性質を持ち、崖の破壊は、斜面付近で予め微小亀裂を生じているのだ、と判断している。加えて、斜面表層での、乾湿による収縮膨張が剝離の原因である、と。文献<sup>238)</sup>はその英文である。これまでの室内実験資料による、シラスの性質に基いて、引張を中心に据えた、有限要素法による、切取崖面附近の応力分布を、解析した論文<sup>239)</sup>が出る。ここに至ってシラス崖崩壊が、全く引張破壊論で解かれようとするのは、当然ながら帰すべきところに帰した、との感を懐く。結果について、現実の現象と仔細に対照し、考えて見度い。崖裾に、剪断の弱所が発生するのは、ある実情に合うらしい。

地震時の安全計算の報文が若干ある。割愛する。

### 3° 盛土・埋立地盤

シラスの土工事が大規模化し、盛土・埋立地の工法が重要視せられる。盛土については、前述二大建設工事の試験報告が抱え切れぬ程で、カイ摘む訳にゆかぬが、後に引用することがあろう。問題点は、輾圧性の悪いことで、工事経験者の等しく認めるところ。“シラスの輾圧効果について”<sup>239)</sup>は、上の二大工事の輾

\*昭和47年10月20日土木学会第III部門研究討論会

圧機械の選定を、主目的として行なった実験だが、撤出厚と機種、沈下量の関係その他詳しく報じている。機種としては、タイヤローラと振動ローラが適する。埋立地最大の問題は、何といっても地震の地耐力・杭耐力及び液状化の懸念であり、従前、いくらかも研究せられていない。著者は本来土工事に暗く、文献上の理窟を読んでも、實際上真偽のほどが判定できぬ、というに近い。尽く書を信ずるも、また尽く信ぜざるも書無きに如かずで、二、三の文献<sup>240)~242)</sup>類を掲げて、加評を避けることとする。盛土以降は、攪したシラスであるから、土扱いをすればよく、素材の特質が影響するだけである。今や、天然シラス崖に対しては、あまり役立たなかった諸研究の成果が、ものを言う段階となったことなのだ。

#### 4° 地耐力度その他

元に還り、地山シラスの地耐力度が強大なことは、気付かれていた。強い場合は、長期 40~50t/m<sup>2</sup>、普通で 30~35 位は耐えると思われる。徳富久二が一通り<sup>243)</sup>報じている。本問題は、まだ緒に就いた許り、本番はこれからだろう。

シラス研究上の価値ある報文は、もとより多く残っている。だが、最初の目的であった、「シラスの特異性と問題点を、その研究史をして自ら語らしめよう」との意図は、概ね達せられたかに見える。シラスは、最初「切土」が主役であった。災害もそこに起こり、工事も多くその周辺に止まった。研究の範囲も、まず、限定せられておった。世間と工事の様相は、筆の遅々として進まぬ、我が懈怠の間に一変した。舞台は、盛土と埋立土へ移る気配が濃い。それはありふれた规格的調査研究で、納まる筋のものである。今度は、土の専門家がお出かけ下さい。

### 8.9 研究略史収筆

研究は、初期ケイオスの渦巻く頃が面白いので、目鼻が付いて終えば、後はワザの領域、それは必ずしも自前のもたるを要しない。「シラスは百人百説」といった十年前が、却って趣きがあったかも知れぬ。研究第三期後半を、爛漫を過ぐ、と註したのは、その潜在意識のなせる業か。多岐亡羊などという古諺が、脳裡を掠めることのある。

工学的対象として、シラスと呼ぶ物の大部分は、約 20,000~25,000 年前始良カルデラ産の軽石流である。就中、入戸軽石流だとの説が一般化している。その周辺に、軽石質の二次堆積層が存在するが、範囲につい

ては人の見解一致しない。以上の表面が緩く削剝せられて、成層堆積した二次（水成）シラス、湖中堆積の加久藤盆地内湖成層等も、シラスと呼ばれている。

シラスの崩壊は、巨大外力が作用する外は、水の介在なき限り、まず問題化しない。前者は頻度において稀れだから、通常は周辺の水処理と、素肌の保護を念頭に置いて、防災施策する。

シラスは化学的固結力があり、鉛直に高く自立する。従来は、工事レベルの高度のものがいらなかったので、崖面の雨水を避けて、直に近く切ったものであった。最近では、切土斜面に対する要求条件が変化したので、緩傾斜で、表面を厚く保護する工法に移りつつある。如何なる場合も、斜面表流水、浸透水の作用を避けねばならない。水で弱化するの、固結力が失われるから。

盛土・埋立土の研究はなお進行中で、沈下や耐震性能等、これからというところである。埋立土の液状化の憂いが指摘せられている。シラス素材の特殊性はさりながら、この分野は、在来の土質工学に委して可なるべしと思惟する。

「シラスに関する主要研究論文集」の、第 2 集<sup>244)</sup>が編集せられた。既出第 1 集を併せて、シラス研究上不可欠の文献である。本文の外に、書目が検索に便である。

略史に数十頁を費した。率直な感想を綴って、この部を収筆する。

(1) シラスという対象物の、基礎認識を深めないまま卒然として研究に取組むため、観察結果の解読不明暫な印象を与えるものが必ずしもなくはない。

(2) 実験・計測・調査等は、行うに従い、それなりの結果を得ること自明であるが、問題は妥当な意味付けである。資料は正常なりや、一般性の保証並びに立論条件の限界は如何、最終目的に対し、何程の重みを持ち、どの範囲を蔽うか、等の評価が与えられなければ、それには試行と観察の相応の厚みと反芻を要する筈で、表があって裏のない資料から、真偽不鮮明な仮説を導いても仕方ない。

(3) 文献引用に当っては、内容の確実性を前提とすべく、他の報文を何等の検討も加えず、次々と累積援用して、形式論理を展開しても意味が薄い。資料批判は、史学ならずとも不可欠の要事である。調査・実験等により、現象の実際に則し、再現性を利用検証し得る科学・工学の世界と雖も、依拠資料に対する基本態度に変わりはないだろう。

例えば、(その2)報 田町正督の文献<sup>17)</sup>は、九州地方建設局編「シラスに関する主要研究論文集」で、「この崖崩れの過程を考えると、原斜面は古いシラス層土の静止面で」とあり、(その3)報の文献<sup>4)</sup>では「…シラス崩土の」と、層が崩れている。一字だが意味内容は全く変わってくるので、恐らく後者が正しい。俗に「山汐」には触れるな、の所謂山汐だと判断せられる。

(4) 所説が変化するのは、進歩改良を意味し、研究力旺盛の一面の証査とも見られて、むしろ結構である。ただ、その根拠とケジメは明らかにすることが、望ましいように思う。

#### 付 シラス研究史余話

ここに、余話としてはなほ興味深い事実を添えて、研究略史を結ぶとしよう。久保統一氏は、「俺はおれ」の題下に薩摩の産んだ異人物伝を執筆した。そのうち、前田正名を取上げた条下に、彼が宮崎県庄内地方のシラス地帯開田に苦労した物語りがある。

「庄内川の水を取り入れる関之尾滝上の水路を、視察に行っているが、その水路開発の行く手に横たわっている“水地獄”には、いささかも気づいていない。彼の技術陣も同様である。明治30年代の、日本の土木技術が幼稚であったといえればそれまでであるが……(後略)」

工事は明治32年晩秋に始まり、幅約3m、深さ1.5mの通水路掘削に掛ったが、翌年春より夏にかけての雨期に早くも不吉な予感に襲われた。水は勢よく走るが、不思議にも流れる過程で目立って減量する、隧道が決壊する。正名も東京から来た技術者達も色を失った。恐るべき「シラス」の伏兵を見落していた。水路が水を吸込むばかりではない。谷を渡る掛樋の土台は侵蝕され崩壊した。工事は頓挫した。正名は、明治の農聖と謳われた親友石川理紀之助に、遠く秋田よりの来援を頼んだ。だが、シラスの怪は治まらなかった。

初め水路の計画を建てたのは、地元の人坂元源兵衛で、「水路を遠回りにはのぼしてゆく。工事は旧法の水流し方法。」というものであった。これに対し東京からの技術者達は、「水路を最短距離にし、そのためには多くの隧道を掘りぬく。水流しとやらの工法はとらない。」所謂、近代技術である。誤りの根元がここにあった。

シラスは、静止水によく耐えるが、流水には極めて

弱い。遠回り流路を設けるのは、緩勾配で流速を減らすことで、緩流水によってシラスを徐々に沈積させることは、シラス粒子の間隙を埋め殺して、密実ならしめる鉄則である。本報で、既に水流し工法による鉄道の築堤工事例に触れた。直線最短距離をとり隧道を穿てば、急流河川になる。水路底は侵蝕せられ、側壁は崩壊すること、著者をして言わしめば、事前に分明である。東京の技術者達は、技術を施す対象の特異性を視ず、公式万能主義の過誤を犯したのである。過去長く実地に積重ねられた、現地先人の苦心に聴く必要があったろう。田町博士が、そのような心掛けの大切さを、指摘しておられることも、またさきに記述済みである。明治30年代の技術のせいではなかった。

設計はアト戻りして旧法に切換えられ、果して工事は完成し、ここに初めて開田は成功したのであった。

#### 参 考 文 献

- 153) 上田通夫・長野紀俊：再固結法による「シラス」の強度試験，日本建築学会九州支部研究報告 第18号，1970.
- 154) 上田通夫外：現位置試験による「シラス」の研究その3セン断試験，日本建築学会九州支部研究報告 第17号，1968.
- 155) 上田通夫・久米国幹：シラスの現位置剪断試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，1968.
- 156) 上田通夫・長野紀俊：シラスの破壊は引張で起る，日本建築学会中国・九州支部研究報告 第1号，1969.
- 157) 上田通夫：えびの地震のガケ崩れ，第5回災害科学総合シンポジウム，1968.
- 158) 上田通夫・徳富久二：「シラス」の強度性状，日本建築学会九州支部研究報告 第2号，1971.
- 159) 上田通夫：シラス崖端の載荷試験，日本建築学会中国・九州支部研究報告 第2号，1972.
- 160) 同上：シラス切土斜面の崩壊とその設計，土木学会全国大会 第Ⅲ部門 研究討論会招請参加記録，1972.
- 161) 上田通夫・長野紀俊：シラスの水食と崩壊，土質工学会シンポジウム，1968.
- 162) 上田通夫：同上，土と基礎 Vol. 17 No. 3，1969.
- 163) 上田通夫・長野紀俊：昭和44年7月豪雨のシラス水災，第6回災害科学総合シンポジウム，1969.
- 164) 上田通夫・徳富久二：シラス水災，第7回災害科学総合シンポジウム，1970.
- 165) 上田通夫：シラスの土質力学的特性，日本地理学会「台地」シンポジウム，地理学評論9月号別刷，1971.
- 166) 同上：昭和46年23号台風による災害過程の実態調査の研究分担報告，文部省科学研究費 特定研究



- (災害科学) 報告書, 1972.
- 167) 上田通夫・徳富久二: シラス地山の地耐力試験, 日本建築学会中国・九州支部研究報告 第2号, 1972.
- 168) 同上・同上: シラス地山の地耐力試験, 日本建築学会九州支部研究報告 第21号, 1974.
- 169) 同上・同上: 地山シラスの地耐力, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, 1974.
- 170) 上田通夫: 北海道駒ヶ岳・十和田軽石流のシラス, 日本建築学会九州支部研究報告 第20号(構造系), 1973.
- 171) 上田通夫・徳富久二: シラスの強度と変形特性, 日本建築学会九州支部研究報告 第22号, 1976.
- 172) 上田通夫: シラス崩壊の具体的事実, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 1972.
- 173) 同上: シラス破壊の実際と工法の選択, 第9回災害科学総合シンポジウム, 1972.
- 174) 同上: 地盤災害防止関係立法の「シラスに関する」認証は正, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 1971.
- 32) 既報(その2)分 沢村孝之助: 国分(5万分の1)地質図幅説明書, 地質調査所, 1956.
- 90) 既報(その4)分.
- 175) 荒牧重雄: 鹿児島県国分地域の地質と火砕流堆積物, 地質学雑誌 第75巻第8号, 1969.
- 176) 横山勝三: 始良カルデラ北方の入戸軽石流の溶結に伴う地形変化, 火山 第2集 第13巻 第1号, 1968.
- 177) 同上: 始良カルデラ北方の入戸火砕流堆積物とその地形, 地理学評論 第43巻 第8号, 1970.
- 178) 同上: シラス台地の地形と構造, 1971年度秋季学術大会(予稿集), 日本地理学会, 1971.
- 179) 同上: 始良カルデラ入戸火砕流の流動・堆積機構, 東京教育大学理学部地理学教室, 地理学研究報告 XVI, 1972.
- 32) 既報(その3)分 有田忠雄: 加久藤カルデラの提唱, 地質学雑誌 Vol. 59 No. 694, 1953.
- 180) 露木利貞外: 鹿児島県十三塚原地域の地質, 鹿児島大学理学部紀要(地学) No. 3, 1970.
- 181) 大木公彦・早坂祥三: 鹿児島市北部地域における第四系の層序, 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学) No. 3, 1970.
- 182) 横山勝三: 始良カルデラ入戸火砕流の<sup>14</sup>C年代, 地球科学 25巻 第1号, 1971.
- 183) 宇井忠英: 阿多火砕流堆積物中の樹型と<sup>14</sup>C年代, 地学雑誌 第78巻 第1号, 1972.
- 184) Kazuo Sato et al.: Discrepant results of C-14 and fission track datings for some volcanic products in southern Kyushu, Geochemical Journal Vol. 6, 9172.
- 185) 木越邦彦外: 始良カルデラ妻屋火砕流の<sup>14</sup>C年代, 火山 第2集 第17巻, 1972.
- 186) 種子田定勝・宮地六美: 鹿児島市五位野地域の火砕流堆積物, 火山 第2集 第14巻 第1号, 1969.
- 187) Sadakatu TANEDA et al.: Geological and Petrological Studies of the "Shirasu" in South Kyushu, Japan, Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geology, Vol. XX, No. 1, 1970.
- 188) 荒牧重雄: 加久藤盆地の地質, 地震研究所彙報 第46号, 1968.
- 189) 太田良平・沢村孝之助: えびの・吉松地区地震源域付近の地質, 防災科学技術総合研究報告 第26号, 1971.
- 190) 木野義人: えびの・吉松地区地震に関する地質構造の総括および補足, 防災科学技術総合研究報告 第26号, 1971.
- 191) 星埜尚: 宮崎平野の地形発達に関する諸問題, 第4紀研究 第10巻 第3号, 1971.
- 192) 遠藤尚: 「シラス層」の層序学的研究, 特殊土壌地帯災害シラス班研究報告, 1969.
- 193) 同上: シラス台地のタイプ, 自然災害特別研究成果, 1974.
- 194) 種子田定勝: 火砕流構成粒子形態検討の一方法, 九州大学理学部研究報告 第7号, 1971.
- 195) 同上: 「シラス類」の層序, 構成粒子と崩壊性, 自然災害特別研究成果, 1974.
- 196) 露木利貞: シラスの判別分類と磁氣的性質, 自然災害特別研究成果, 1974.
- 197) 宮内信文外: 「シラス層」中に見出される粘土鉱物について, 鹿児島大学農学部学術報告 第22号, 1972.
- 198) 山内豊聡: ニュージーランドのシラスについて, 新砂防 92, 1974.
- 199) 国防防災科学技術センター: えびの・吉松地区地震に関する特別研究, 防災科学技術総合研究報告 第26号, 1971.
- 200) 福岡管区気象台: えびの地震に関する地震調査報告, 昭和43年異常現象調査報告 第2号, 1968.
- 201) 気象庁: えびの地震調査報告, 気象庁技術報告 第69号, 1969号.
- 202) 土質工学会「シラス」研究委員会: えびの地震と地盤災害, 土と基礎 Vol. 16 No. 9, 1968.
- 203) 大沢胖外: 1968年2月21日および22日の宮崎県飯盛山付近の地震(えびの地震)による家屋被害, 地震研究所彙報 第46巻, 1968.
- 204) 亀井幸次郎: えびの地震災害調査概要, 建築雑誌 昭和43年11月号, 1968.
- 205) TOYOTOSHI YAMANOUCHI et al.: DAMAGE FEATURES IN 1968 EBINO EARTHQUAKES FROM THE VIEWPOINT OF SOIL ENGINEERING, Soils and Foundations Vol. X No. 2, 1970.
- 206) 木村大造・春山元寿: えびの地震による山腹災害地対策について, 鹿児島県土木部, 1968.
- 207) 山内豊聡: えびの地震とシラス, 土と基礎 Vol. 16 No. 5, 1968.

- 208) 種子田定勝: えびの吉松地域の地震と地質, 火山, 第2集 第13巻, 1968.
- 209) 右田研究室: えびの地震調査報告書, 熊本大学工学部建築学教室, 1968.
- 210) 春山元寿 外: えびの・吉松地域のシラスのセン断特性について, 土木学会第25回年次学術講演集 III, 1970.
- 211) 春山元寿: えびの・吉松地域に分布するシラスのセン断特性について, 土と基礎 Vol. 20 No. 2, 1972.
- 17) (その2)分 田町正啓: シラス地帯災害調査報告並びに関係資料第1集, 鹿児島県企画室, 1952.
- 212) 木村大造: シラス地帯集中豪雨による崩壊の実態と防災上の問題点, 鹿児島林務部治山課, 1970.
- 213) 山内豊聡・木村大造: 防災を中心とした“シラス”の問題点, 土木学会誌 Vol. 54 No. 11, 1969.
- 214) 木村大造: シラスの特異性, 特殊土壌地帯災害シラス班研究報告集録, 1969.
- 215) 稲葉誠一・久永勝行: シラス地帯における降雨によるのり面崩壊調査, 土木技術資料 Vol. 11 No. 11, 1969.
- 216) 菅原捷: シラス地帯の災害, 同上.
- 217) 福富幹男 外: シラス地帯における自然斜面の崩壊の形態, 応用地質 第10巻 第4号, 1970.
- 218) 藤田泰三 外: 昭和44年6月及び7月の梅雨前線による鹿児島直轄道路災害について, 鹿児島国道工事事務所, 1969.
- 219) 河原田礼次郎: 昭和44年6月~7月梅雨前線豪雨によるシラス災害, 第6回災害科学総合シンポジウム, 1969.
- 220) 石原安雄: 昭和46年23号台風による災害過程の実態調査, 文部省科学研究費特定研究(災害科学), 1972.
- 221) 高田雄之 外: 梅雨前線豪雨による“シラス地帯”の農地災害.
- 222) 春山元寿・下川悦郎: 鹿児島県における昭和47年6・7月豪雨による斜面崩壊の実態とその対策, 鹿児島県林務部治山課, 1972.
- 223) 春山元寿: 豪雨による南九州の斜面崩壊, 自然災害資料解析研究 Vol. 1, 1974.
- 224) 山内豊聡 外: 昭和47年6・7月豪雨による斜面崩壊の実態とその対策, 昭和47年度文部省科学研究費自然災害の総合的研究, 1973.
- 225) T. YAMANOUCHI et al.: DAMAGE FEATURES OF “SHIRASU” AND THEIR CAUSES AND COUNTERMEASURES, Proceedings of the Third Southeast Asian Conference on Soil Engineering, 1972.
- 226) 藤本広: 災害実測例とその問題点, 「施工技術」第4巻 第6号, 1971.
- 227) 同上: “シラス”災害の問題点, 第6回災害シンポジウム, 1969.
- 228) 同上: シラスの侵食とパイピング現象の問題点, 土と基礎 Vol. 23 No. 2, 1970.
- 229) 福山俊郎: “シラス”のり面崩壊要因の分析に関する研究, シラスに関する主要研究論文集(第2集) p. 779, 九州地方建設局, 1975.
- 230) 鹿児島県新空港建設本部: 新鹿児島空港調査設計委託, 土質調査工事報告書, パシフィックコンサルタンツ株式会社, 1969.
- 231) 日本道路公団福岡支社・鹿島建設株式会社: 吉田試験盛土工事報告書, 1970.
- 232) 春山元寿: 硬度によるシラスの工学的判別分類法, 応用地質 第16巻 第2号, 1975.
- 233) 島常信: “シラス”硬軟の分類と法面工法について, 第27回建設省技術研究会(共通部門), 1973.
- 234) 鹿児島県シラス対策研究会: シラス地帯における土工設計施工指針と運用, 1976.
- 235) 難波直彦: シラス土質調査への鉋打銃の利用について, 第6回土質工学会研究会講演, 1971.
- 236) 村田秀一・山内豊聡: 引張り強さを持つ乱さないシラス供試体のぜい性破壊について, 岩の力学国内シンポジウム, 1970.
- 237) 同上・同上: 地山シラスの強度特性について, 第27回土木学会年次講演会講演概要, 1972.
- 238) T. YAMANOUCHI・H. MURATA: BRITTLE FAILURE OF A VOLCANIC ASH SOIL “SHIRASU”.
- 239) 鈴木音彦 外: シラスの転圧効果について, 鹿島建設技術研究所年報 第19号, 1972.
- 240) 善功企 外: 港湾工事材料としてのシラスの工学的性質(その3) 剛性壁に作用する土圧特性, 1977.
- 241) 梅原靖文: 同上(その5) 振動三軸試験による動的性質, 同上.
- 242) Hajime TSUCHIDA・Eiichi KURATA: 同上(その6) 振動台試験による動的性質, 同上.
- 243) 徳富久二: 地山「シラス」の強度と変形特性, 日本建築学会論文集 第243号, 1976.
- 244) 九州地方建設局: シラスに関する主要研究論文集(第2集), 1975.