シラス (その2)

Shirasu (Part 2)

大庭 昇*
Noboru Ōba

まえがき

前報¹⁰⁾、自然の中の粉粒体シリーズ・シラス(その1)では、主として微視的観点から「シラス」の本質、物理化学的特性、特に火山ガラスの微細構造について述べた。本報では、「シラス」の特性に関連して、なぜシラス地帯で災害が続発したか、その原因、また、「シラス」のどのような性質が工業的に利用されるようになったかなどについて述べる。

「シラス」はなぜ災害を続発させたか(シラス地帯における災害発生の原因)

1. 崩しやすいということは崩れやすいということである

かつて、シラス台地はほぼ自然のバランスが保たれ、平穏無事であった。その後、昭和36・37年頃からシラス台地は次第に開発されるようになり、わが国の高度成長期と軌を一にして人口の都市集中化が起り、都市周辺部の開発が促進され、つまり、筆者のいう広義の社会基盤の質的構造的変化に伴う自然環境の破壊^{6,9)}が進み、その結果、昭和43年頃からシラス地帯の至るところで、爆発的に大きな災害が続発するようになった。

当時、それが、台風時の豪雨や局地的集中豪雨に基づく天災によるものか、それとも開発などにかかわる人災によるものかについて議論が沸騰し、大きな社会問題となっていた。今では、ずさんな開発の行なわれたシラス地帯での災害を、人災であるとして疑う人はいないが、初めに、これを天災ではなく、人災であると主張することは、もしかしたら学問的根拠が不十分なのではあるまいかという心配もあって、並々ならぬ勇気のいることであった、といえるであろう。これが人災であったこと

は、開発の進行、開発面積の拡大とともに、ほぼ比例して災害発生件数が増え、災害規模が大きくなっていったことから明白である。

また、当時、「シラス」は崩しやすく加工しやすいから、これを削ってくぼ地に運び、谷を埋めて平坦化し、土地を造成すれば、山や谷が多く平地の少ない都市の住民に、安い値段で宅地を提供できるという、開発に対する安易な考え方が広く一般に信じられていたこともまた事実である。

崩しやすいということは、崩れやすいということである。「シラス」の特性を無視し、土でも砂でもない「シラス」を、土や砂と同じように取り扱ったところに、根本的な誤りがあった。集中豪雨のたびにシラス地帯の開発造成地で大小さまざまな災害が発生し、莫大な復旧費・補償費がかかることとなり、当時、「一雨降ると数億円」といわれた背景には、このような事情があったわけである。

もし、あらかじめ「シラス」の特性・本質を十分に知り、それに基づいて適切な設計施工が考えられ、たとえ初めに費用がかかっても十分安全な防災工事が行なわれ、最後まで災害を引き起こさなかったとすれば、結局、数億円を儲けたのと同じことになる。納税者の立場からいえば、税金の無駄使いがなかったことになり、企業の立場からいえば、莫大な利益をあげたのと同じことになる。防災は最高の投資である。

2. 何が崩れるのか

シラス地帯における災害の原因は、圧倒的に水の影響によるものが多い。その理由は、「シラス」の本質に基づいている。しかし、シラス地帯で、従来、集中豪雨時に崖崩れ、土砂の流出など、災害が続出したといわれてきたものの多くは、実は、開発の進みつつある地域における盛土・捨土・残留土シラス、ローム軽石層(写真1)、および表土・ローム軽石層の剝剥されたあとの風化シラス(写真1)の部分についてである。風化していな

昭和51年3月31日受理

* 鹿児島大学理学部(〒890 鹿児島市郡元1)

TEL 0922-54-7141

写真1 ローム軽石層のすぐ下には溶結組織を失った風化シラスがある
h: 表土, l: ローム, p: 軽石 (pとlの部分を一っしょにしてローム軽石層とする), WS: 風化シラス, S: 一次シラス, 鹿児島県鹿屋市近郊の「シラス」がけ, 福田登志郎氏 (1974年撮影)

い新鮮な、自然状態の初成の地山一次シラスに関する災害には、別の要因が指摘される^{8,12)}。

さて、盛土シラスで代表される崩された「シラス」に比べ、新鮮な自然状態にある一次シラスには、かなりの力学的強度、安定性が認められる。では、一次シラスと崩された「シラス」あるいは風化シラスとの間には、どのような本質の相違があるのであろうか。

3. 一次シラスと風化シラス・盛土シラスとはどこが違うか

自然状態の新鮮な一次シラスと風化シラス・盛土シラスとの間の根本的な違いは、前者には溶結組織（前報¹⁰⁾写真5参照）があり、後者にはそれがなく（前報¹⁰⁾写真6参照）、溶結組織の破壊された主に火山ガラスの破片粒子の集まりからなる粉末に過ぎないということである。災害発生時に、一次シラスと風化・盛土・捨土シラスとの間で見られるさまざまに異なる性質および現象は、まさに溶結組織の有無に起因している。

4. 風化シラス・盛土シラスはなぜ水に弱いのか

(1) 風化シラス・盛土シラスが水に弱い理由

これまでに述べてきたところから明らかのように、風化シラス・盛土シラスが一次シラスに比べて著しく水に弱いという根本的な理由は、

- (i) 溶結組織が破壊されていること（前報¹⁰⁾写真6参照）
- (ii) 量的に圧倒的部分を構成している火山ガラスは、それ自身では鉱物粒子間を膠結する力をまったくもたないこと、また、粒子間を埋めたり結びつけたりする役割を果たす物質（たとえば粘土鉱物や含水酸化鉄など）ももっていないこと（前報¹⁰⁾写真1～3

参照）、および、

- (iv) 火山ガラスの大部分は発泡状のもので、比重が小さく、水によってきわめて流動しやすいものであること、

による。

また、集中豪雨時に、予想以上に大きな災害を発生する理由として、

- (ii) 分級淘汰がきわめて不良で、ミクロン単位の微粒子から直径1 m以上もある大塊までが含まれていること、および、
- (iii) 水の中で浮いてしまう比重の小さな大小の軽石を多量に含んでいること、

を指摘することができる。

風化シラスが、水に対して著しく弱いという理由も、基本的には盛土シラスで代表される崩された「シラス」の場合とまったく同様である。両者の違いは、後者が、開発などに伴って人為的に溶結組織の破壊されたものであるのに対し、前者が、風化作用という自然原因によって溶結組織の失われたものであるという点だけである。

風化シラスと崩された「シラス」が水に対していかに弱いものであるかは、上田・徳富¹⁴⁾によって指摘された「表層をはいで露出した地肌に、流失率が増すことによる集中流動水が作用し、水蝕が激化して生ずる破壊と、浮土砂が含水してある限界を超えると、急に動き出す土砂流出を起こす」事実からも明らかである。

(2) 角砂糖が水に溶けるように崩れる「シラス」

昭和43～46年の災害続発当時、「シラス」について、「角砂糖が水に溶けるように」という表現が報道関係者間でさかんに使われた¹⁵⁾が、これは本当の話である。

これまでに述べた理由で、一度崩された「シラス」は、一見固く締まっているように見える盛土シラスでも、写

写真2 ひとたび溶結組織の破壊された「シラス」は、物理的に固めても、含水浸潤すれば、角砂糖が水に溶けるようにたちまちくずれる
写真はNHK総合TV「あすへの記録——なぞの土、シラス」(1973年3月)の一部

真2に示すように（この実験のアイデアは NHK 吉田浩二氏による）、単に物理的に固めただけでは、含水浸潤すればたちまち崩れてしまう。この事実から明らかなように、一度崩れてしまった「シラス」は、流動する水に対して著しく弱く、たちまち流動的になり、土砂流となって奔流し、大小の軽石は排水溝やパイプを詰まらせて水を溢流させる原因となり、初め予見された程度以上に大きな災害を連鎖反応的に続発させた。

5. 広域総合防災計画の必要性

シラス地帯における災害は、陸地内にとどまらず、河川流域における開発行為は、砂泥流に混じる粒子を川床に堆積させ、中州を拡大増量せしめ、洪水の一因をつくり、港湾に流入した軽石は浮遊して漁業操業や船舶航行に悪影響を与えることとなり、河川・港湾の維持・管理・保全上の問題を投げかけるに至った。

これらの事実は、社会基盤の質的構造的変化に伴う自然環境の破壊が、それとは気づかぬうちに、広域にわたって進行していたという事実の認識とともに、今後の防災計画が、点または部分についてではなく、広域総合防災計画でなくてはならないことを物語っている^{6,8,12)}。

「シラス」のどのような性質が工業的に利用されているか（工業的利用）

1. 「シラス」の工業的利用に関する研究はどのようにして始まったか

「シラス地帯では、毎年、がけ崩れその他の大きな災害が続発しており、地域社会に大きな影響をおよぼしている上、多数の尊い人命が失われている。ゆえに、シラスの防災に関する研究は、重要かつ急務のことであるといわなければならない。一方、むしろ積極的にシラスを利用してこうという活動もあり、これまでシラスに関する基礎的研究を行ってきた」¹¹⁾。基礎的研究の成果は、その後、工業的利用面と防災面で役立つようになり、さらに「シラス」の成因の問題にまで遡ることとなった。

かつて、「シラス」は、農耕上、不毛の土壤といわれ、ものの役に立たぬものの代名詞として使われた。1962年、「シラスとシラスに似た火山噴出物は、鹿児島県の全面積の2分の1を占め、南九州にきわめて広く分布している。無尽蔵ともいえるこの莫大な量の火山噴出物が、もし利用できたら一と誰しも思うに違いない。そこで私は、そう遠くない将来に、きっとこれを利用する日がくるであろうといいたい。その根拠は、アメリカにおけるひとつの実例である。リンデ会社は、火山噴出物をフッ石という多目的な用途をもつ鉱物の人工合成に、年

前に成功し、現在ではすでに大量生産の段階に入っている」^{3,4)}と述べて以来、わずか数年後、実際に「シラス」からゼオライト（フッ石）を人工的に合成することに筆者らは成功した¹³⁾。実のところ、「シラス」利用の可能性を予想してから、わずか数年で、しかも自分達の手で、簡単に実現できるなどとは思っていなかった。

筆者らが、「シラス」利用のための研究について積極的に取り組んだのは、シラス地帯で発生する災害を防止するための決め手がなかなか見つからず苦勞していたため、不毛の土といわれ災害の元凶とされてきた「シラス」について、むしろ積極的に開発利用するための道を切り拓き、禍を転じて福とするためであった。ところが、開発利用のための研究を進めてゆく過程で、「シラス」の物性・本質が次第に明らかになってゆき、その結果、シラス地帯で発生する災害の原因も次第に明らかになっていくということになった。すなわち、かつて、シラス地帯での災害防止のための決め手がなかなかつかめなかったのは、「シラス」の物性・本質が十分に明らかでなかったからである、ということがわかってきた。一方、災害原因に深い関係のある「シラス」の特性が明らかにされてゆくにつれ、その特性ゆえに、「シラス」の工業的利用価値が注目されることとなった。

2. 「シラス」の構成物質のうち主に何が工業的利用の対象となっているか

ここでいう工業的利用とは、古くから行なわれている軽量ブロックや軽量構造物への利用ということではなく、曖昧な表現ではあるが、高度利用という意味で用いられるものとする。

「シラス」の構成物質のうちで、これまで工業的利用の目的で最もよく用いられてきたものは、鉱物組成上、主に「シラス」の圧倒の部分を構成している火山ガラスである。かつて、利用面の研究を行っていた専門家達の間では、これを石英と思いこんでいたことがある。

今までのところ、火山ガラスは、主に「シラス」中に多量に含まれている軽石から乾式および湿式選別され、利用されている。筆者の考えでは、「軽石の利用が成功するならば、シラスの利用も当然できる筈であると思っている。なぜなら、軽石もシラスも、本来、ほとんどあるいはまったく同じ種類の鉱物からできているからである」^{2,4)}。利用分野および目的によっては、「シラス」はそのままで有効に用いられる。「シラス」の工業的利用上、なぜ火山ガラスが特に注目されてきたかという理由については、後で述べる。

3. どのような性質が工業的に利用されているか

「シラス」の工業的利用については、そのあるものは

すでに実現し、あるものは本格的操業に向かって実験操業中であり、あるものは試験中の段階にあり、多くのものは実験研究の段階にある。「シラス」のどのような特性が工業的に利用されているかという問題については、大に関心をもたれるところであろう。ここでは、「シラス」のどのような性質が工業的に利用されているか、また、利用されようとしているかについて、若干例を紹介するにとどめたい。

(1) 「シラス」にみられるイオン交換性

鹿児島県では、むかしから、シラス地帯で湧出する水はうまい、といわれている。実験によれば、「シラス」にはきわめて微弱なイオン交換性がある。これに注目した筆者らは、実験室における試験管の中での成功ではあったが、きわめて簡単な方法で、「シラス」そのものからイオン交換性のよいチャパサイト(菱フッ石)(ゼオライトの一種)を合成することに成功した¹⁹⁾。

その後、筆者らは各種の異なるゼオライト(フッ石)合成に成功したが、今では、各方面の研究機関で実験研究が進められており、もちろん、これらの中には、企業秘密として公開されていないものもあるが、「シラス」あるいは「シラス」から分離した火山ガラスから合成されたある種のゼオライトは、たとえば、污水处理材として試験的に用いられ、公害防止などに役立っている。

(2) 火山ガラスの化学的性質と発泡現象

「シラス」中の火山ガラスは、すでに指摘したように、

(i) 「シラス」中で溶結組織の主体を構成し、かつ、「シラス」の物質構成上、量的に圧倒的部分を占めるものであること、

(ii) ケイ酸(SiO_2)からなること、

(iii) 「シラス」(始良シラス)の化学組成上の特徴からみて、火山ガラスはアルカリに富み、若干の水(結晶水?)を含む、と判断される¹⁴⁾ものであること、および、

(iv) 「シラス」中の火山ガラスの大部分は発泡状のもので、火山ガラス体内に気泡が含まれていること、などの性質によって特徴づけられる。これらの性質は、火山ガラスが、比較的低い温度で融けやすく、適当な温度圧力条件下では発泡現象を再現しやすい、ということを物語っている。

火山ガラスにみられるこのような性質は、たとえば、特殊ガラス・ファイバー(実験操業実施中)、シラス・マイクロ・バルーン(製造中)、特殊ガラス(試験中)、プラスチックあるいはアルミニウムとの合成品(試験中)など高度工業利用目的に有効に活用されている。

結局、防災上、火山ガラスによって示される「シラ

ス」のもつ最も悪い点が、工業的利用面では、逆に、最大の長所となっていることに気がつく。

「シラス」は南九州だけにあるのか

(「シラス」の分布)

1. 国内の「シラス」

「シラス」が崖崩れなどの災害や工業的利用に関連して話題になるたびに、「シラス」が南九州のみに分布する独特のものかどうかという質問をよく受ける。「シラス」は、前に定義したように、学問的にはカルデラ源熱雲式堆積物の軽石流に属する。日本列島は火山が多く、いわば火山列島のようなものであり、物質構成上、南九州の「シラス」と類似する軽石流は、北海道(たとえば摩周湖周辺地域)や東北地方(たとえば十和田湖周辺地域)など各地に広く分布している。これらの地方では、たとえば、シラス洪水¹⁾などというように使われることもあるが、多くの場合、広義の火山砕屑流堆積物、略して火砕流、あるいは狭義の軽石流(堆積物)などと学術名で表現されているため、それとは気づかぬだけである。

しかし、それならば、同じような性質をもった北海道や東北地方のシラス地帯ではなぜ「シラス」が問題にされていないのか、という質問を、また、よく受ける。それは、山や谷が多くて平地が少なく、比較的短期間に宅地造成などのための開発を必要とした南九州と異なり、北海道や東北地方では、広域にわたって急いで開発しなければならぬほどの必要性にまだ迫られていなかった、という理由からである。もし、北海道や東北地方のシラス地帯で、近い将来、南九州でしたような各種の大規模な開発が必要とされ、各地で一斉に行なわれるようになるとすれば、南九州シラス地帯で経験したものとまったく同質の、あるいは類似した災害を再び経験することになるであろう。

2. 外国の「シラス」

外国にも「シラス」があるか、もしあるとすれば、日本のように崖崩れ災害などが問題になっているか、という質問をよく受ける。前に定義したような「シラス」は、もちろん外国にもある。たとえば、写真3は、ネバダとの州境に近い米国カリフォルニア州オウエンズ・バレイに広く分布する「シラス」(火砕流堆積物)を示している。しかし、シラス地帯での災害は、ここではまったく問題にされない。なぜ、まったく問題にされないか。写真でわかるように、見渡す限り人家が1軒もない。このように土地が広いところでは、人間は好んで危険なところに住む必要がない。問題にされないわけである。

写真 3 米国カリフォルニア州 Owens Valley で見られる「シラス」(火砕流堆積物)(中央右手の丘)左端の人物は米国地質調査所 P. C. Bateman 博士(国際プロジェクトのリーダー)(1972 年筆者撮影)

わが国のような小さな島国では、あらゆるものが過密であり、大陸では考えられないようなさまざまな問題が発生する。低平地の少ない開発の進む南九州シラス地帯で、災害に関するさまざまな問題が発生したということは、確かに理由があったわけである。

長期的大局的にみて、南九州シラス地帯で蓄積された「シラス」に関する災害原因、防災対策および工業の利用についてのあらゆる知識・経験・技術は、国内および国際社会がそれを必要とする時がくれば、重要な役割を果たすものとなるであろう。

どのような災害であれ、原因がわからなければどのような対策も立てようがない (基礎研究の重要性)

1. 「シラス」の防災研究になぜ取り組んだか

「崩されたシラス安定化のための処理方法」に関するテーマで、3年間続けて科学研究費の申請を行なったが、結局、採択されるところとはならなかった。このことは、国あるいは国民が、このような研究は必要性がないと判断しているからに違いない、と勝手に解釈し、せっかくやる気であった意欲と熱意を失い、共同研究者達とも相談のうえ、試験管の中でのささやかな成功ではあったが、その成果を含む研究のアイデアは、当分の間、公表せず、時代が必要とするようになるまで、蔵の中で眠らせておくことにした。この成果に関連ある研究に対する照会や要望は、多大なものがあつた。

現代は、自然の調和を無視し、人間の浅薄な知恵を過信し、無謀な開発を進めていった結果として、日本中至るところで爆発的に災害が発生するようになった。

筆者は、「現実に、目の前で、多数の人々の生命が失われつつあるような大災害が起こっている時に、研究費

がないからといって、アカデミックな研究が忙しいからといって、どうして無視でせうか。自分の専門的知識・経験・技術を生かして、生命を救う仕事にはせざるべきである」⁵⁾ と思っており、「シラス」の防災に関する研究を、微力ではあったが、進めてきた。

しかし、国あるいは地域社会のための公けの機関で働く者として、特定の企業の利益のために奉仕する理由は何もない、と考えており、事実、特定の企業のために割くべき時間的労力のゆとりはほとんどない。公けの機関に対し、研究費の申請を行なったのは、このような理由からであった。

2. わが国の国民性として、最も原理的なものは見捨てられ、目先の利益につながるもののみが重視されるという傾向はないか

昭和43～46年、南九州各地でシラス災害が続発していた当時、「地域住民から「地元の大学は、いったい何をしているのか」という批判」⁶⁾ とお叱りを頂いた。

地元の大学は何もしていなかったわけではなく、研究それ自体は、かなり以前から進められていたのであるが、研究成果は専門学会誌などで公表される関係上、一般の人々のところまでは届かなかつたまでである。また、「研究はふだん行なわれていても、それに関係ある大事件でも起こらない限り、誰も注目してくれないことは事実であるし、研究者達が、研究結果を一般社会の人々に伝える手段を持っていなかったことも本当である。また、多くの人々は、研究に対してあまりに近視眼的であり、事件が起こると、即効性をすぐに期待し過ぎる」⁷⁾。まったく未知の分野をつまづきながら、暗中模索しながら開拓してゆく基礎的研究は、長い長い時間が必要である。

わが国では、社会的に高い地位にある人々から一般の庶民に至るまで、科学技術と基礎科学とを混同してはいないか。見た目にはなばなしい科学技術のみを、科学と思こんでいるふしはないか。原理にかかわる最も基礎的な研究は、地味で目立たないうえ、10年後か30年後か100年後でなければ役に立たない。しかし、富士山の裾野のように、このような基礎科学の蓄積があつてこそ、初めて国際的にリードできる科学技術を生み出すことができる、と確く信じて疑わない。

「シラス」に限らず、どのような災害であれ、原因がわからなければ、どのような対策も立てようがない^{5,7,9)}。「このことは本当であり、原因を明らかにすることが、なすべき第一の仕事である。筆者は、研究は、現在ならびに将来のための最大最高の投資であり、最も原理的なものは、最も応用的なものである、と確信している」⁹⁾。

3. 予測防災科学の重要性

くり返し各地で起こった災害跡の惨状を見るにつけ、「今後10年、20年の間にわたって災害を出さないようにしてゆくためには、大災害が起こってしまっただけからのドロナワ式対策ではなく、起こるであろう災害を前もって予測し、先どりすることが必要であり、そのための予測防災科学が必要であり」⁷⁾重要である、と痛感している。長期的展望のもとでの先導的先見性、先行投資が政治と行政とに特に強く望まれる⁷⁾。

あとがき

これまでに述べてきたことは、主として「シラス」とは何かという、その本質を明らかにすることに焦点を当て、地質学的観点および微視的観点から一貫して、シラス地帯における災害がどのような原因に基づいて発生するものであるか、「シラス」のどのような性質が工業的に利用されているかについて追求してきた。これらのことを十分に知れば、当然、災害を防ぐためにはいかにあるべきか、どのような利用の仕方が効果的であるかが、おのずから理解されよう。また、これらの問題を解決してゆくうえで、どのような心がまえどのような条件が大切であるかについてもあわせて指摘した。

本文が粉体工学、防災ならびに工業的利用上、関係者の研究と実際の面で役立てば幸いである。

最後に、必ずしも筆者に向けて寄せられたというわけではないが、昭和50年6月、7人もの犠牲者を出したシ

ラス地帯の急崖を、原因調査のため、泥だらけになって、ともによじ登り、ともに命がけで苦労したNHK放送記者長谷川澄男氏(同行カメラマン溝口藤雄氏)からの年頭の挨拶を紹介させて頂く。

連日襲う桜島の灰 雨が降れば崩れる土 海底には恐ろしい水銀 自然の脅威はまさに驚異的 でも取材を通して この自然に立ち向かう人の姿に接するのは感動的である。

謝 辞

下記の方々および関係機関には、「シラス」の問題に取り組み始めて以来、防災および工業的利用に関する野外・室内実験を含むさまざまな調査研究の過程で、多大の激励御支援御協力を頂いた。これらの方々ならびに関係機関に感謝する(順不同敬称略)。

鹿児島大学元学長福田得志、同学前学長現大分大学長中村末男、鹿児島大学農学部木村大造、同工学部上田通夫、同理学部富田克利、山本温彦、南日本新聞社 町田勇一、山崎英登、西村敬天、川辺晃一、塩田孝美、松本洋一郎、朝日新聞社 斎藤 紘、山内正幸、読売新聞社

沢田孝雄、南日本放送(MBC)、NHK 小林一郎、持丸和朗、大西勝也、西島 透、岸田高佳司、吉田浩二、村上、白石、服部 寧、西村泰也、長谷川澄男、溝口藤雄、鹿児島市住宅供給公社および同市清川行雄、鹿児島県および同シラス対策研究会ならびに同未開発資源企業化対策協議会

引 用 文 献

- 1) 平山次郎, 市川賢一: 千年前のシラス洪水(演旨), 地質調査所月報, 17 [2], 127~128 (1966)
- 2) 大庭 昇: 石の誕生, (1), 石は何でも役に立つ, 鹿児島新報, 昭和37年7月10日 (1962a)
- 3) 大庭 昇: 石の誕生(2), シラスと火山噴出物, 鹿児島新報, 昭和37年7月11日 (1962b)
- 4) 大庭 昇: 石の誕生—鉱物・岩石における生成変化のメカニズムについて—(その1), 石や鉱物は役立つか, 鹿児島県地学会誌, No. 22, pp. 1~3 (1964)
- 5) 大庭 昇: 思うこと, 「地元大学」, 南日本新聞, 昭和46年2月2日 (1971a)
- 6) 大庭 昇: 鹿児島とシラス(上), 朝日新聞, 昭和46年8月22日 (1971b)
- 7) 大庭 昇: 鹿児島とシラス(下), 朝日新聞, 昭和46年8月23日 (1971c)
- 3) 大庭 昇: シラス地帯における昭和46年19号および23号台風災害の地質学的調査, 昭和46年度文部省科学研究費特定研究, 西部地区における災害の地域的特性に関する研究, p. 63 (1972)
- 9) 大庭 昇: 「シラス」の微細構造と物理化学的特性, 施工技術, 6 [5], 67~72 (1973)
- 10) 大庭 昇: 自然の中の粉粒体シリーズ・シラス(その1), 粉体工学研究会誌, [7], 387~395 (1976)
- 11) 大庭 昇, 露木利貞, 海老原敏子: シラスの鉱物組成, 化学組成および成因について(1), 岩石鉱物鉱床学会誌, 58 [3], 81~97 (1967)
- 12) 大庭 昇, 上田通夫: 昭和46年19・23号台風による災害過程の実態調査, 昭和46年度文部省科学研究費特定研究, 西部地区における災害の地域的特性に関する研究, p. 73 (1972)
- 13) Tomita, K., Yamashita, H. and Ōba, N.: Artificial crystallization of volcanic glass to sodium and potassium form of chabazite at room pressure, *Journal of Japan. Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists*, 62 [2], 80~89 (1969)
- 14) 上田通夫, 徳富久二: シラス水災, 文部省特定研究, 災害科学総合研究班, 第7回災害科学総合シンポジウム講演論文集 (1970, 京都), pp. 113~114 (1970)