



シラス利用の **新**しい **展**開

鹿児島県工業技術センター 袖山 研一

1. はじめに

日本は、108もの活火山を有する世界第4位の火山大国である¹⁾。鹿児島県は、霧島火山脈と呼ばれる霧島、桜島、開聞岳、硫黄島、口永良部島、中之島、諏訪之瀬島の11の活火山が連なっており、県本土の半分以上がシラス台地と呼ばれる火山灰土壌で覆われており、火山が県の産業・生活に多大な影響を及ぼしている²⁾。

図1に、高千穂峰の眼下に広がるシラス台地の写真を示す。シラス台地の下の方に高速道路が見える。霧島火山脈は、フィリピン海プレート（プレートとは、厚さ約100kmの硬い岩石の層）が海溝部分から水平面と約45度の角度をなして海底堆積物や水分を道連れにしてユーラシアプレートの下に沈み込んで年間数cm移動し、その深部で摩擦熱と地熱によってマグマが出来て火山活動が起こり、帯のように連なって火山ができたものである^{1)、2)}。

火山噴出物とは、火山活動によって地表に噴出された物質の総称であり、気体として火山ガス、液体として溶岩、温泉水など、固体として火山灰、火山礫、火山岩塊、火山砕屑物（かざんさいせつぶつ）などである³⁾。火山砕屑物とは、火山活動により地表に放出された破片状の固体物質の総称である³⁾。

本稿では、火山噴出物のシラスを取り上げ、その利用経緯と最近のビジネス展開について解説する。

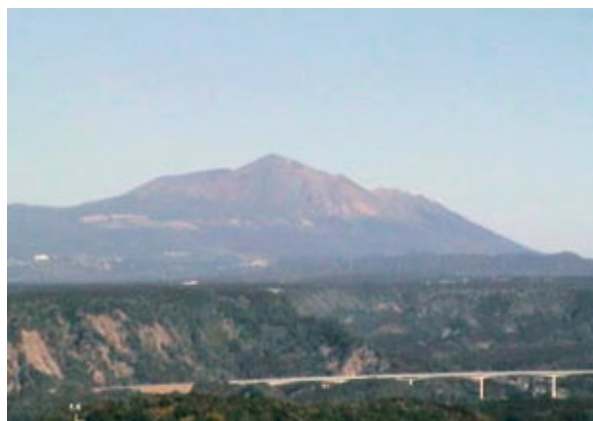


図1 高千穂峰の眼下に広がるシラス台地

2. シラスとは

約3万年前に鹿児島湾奥部にあった始良カルデラから噴出した巨大火砕流堆積物のシラスも、火山砕屑物に含まれる⁴⁾。

シラスとは、白砂または白州を意味する俗語に由来し、南九州に広く分布する白色・粗鬆（そしょう）なバサバサした火山噴出物の総称である³⁾。図2にシラスの分布を示す⁵⁾。シラスは、鹿児島県本土の面積の約50%（3,427km²）を占め、鹿児島湾周辺で厚さ数10～200mのシラス台地を形成し、その厚さ平均を50mと仮定すると埋蔵量は750億m³ほどとされている^{2)、6)}。

シラス台地は固結性が弱くて透水性が高いため農業生産性が低く、梅雨時には浸食と崩壊を受けやすいため大きな土砂災害を引き起こし厄介者扱いされてきた。この痩せたシラス土壌でも育つ穀物として江戸中期に沖縄から伝わったのがさつま芋であり、芋焼酎用、でんぷん用、青果用として全国1位の生産量369,600t（2007年）を誇る^{7)、8)}。

最近よく噴火を起こしている桜島は、シラス台地が形成された後に生成した火山である²⁾。桜島の火山灰は、土産品用として砂時計や陶器の釉薬や素地に混ぜて使われている。所変わって、千葉県銚子市では桜島の火山灰を用いた魚の灰干ひものが販売されている。

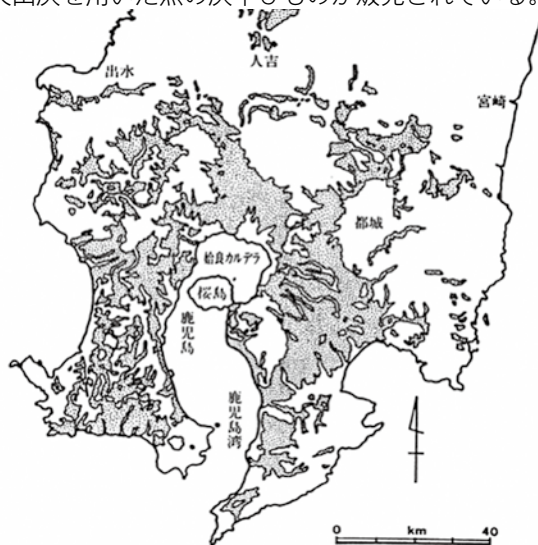


図2 南九州のシラスの分布

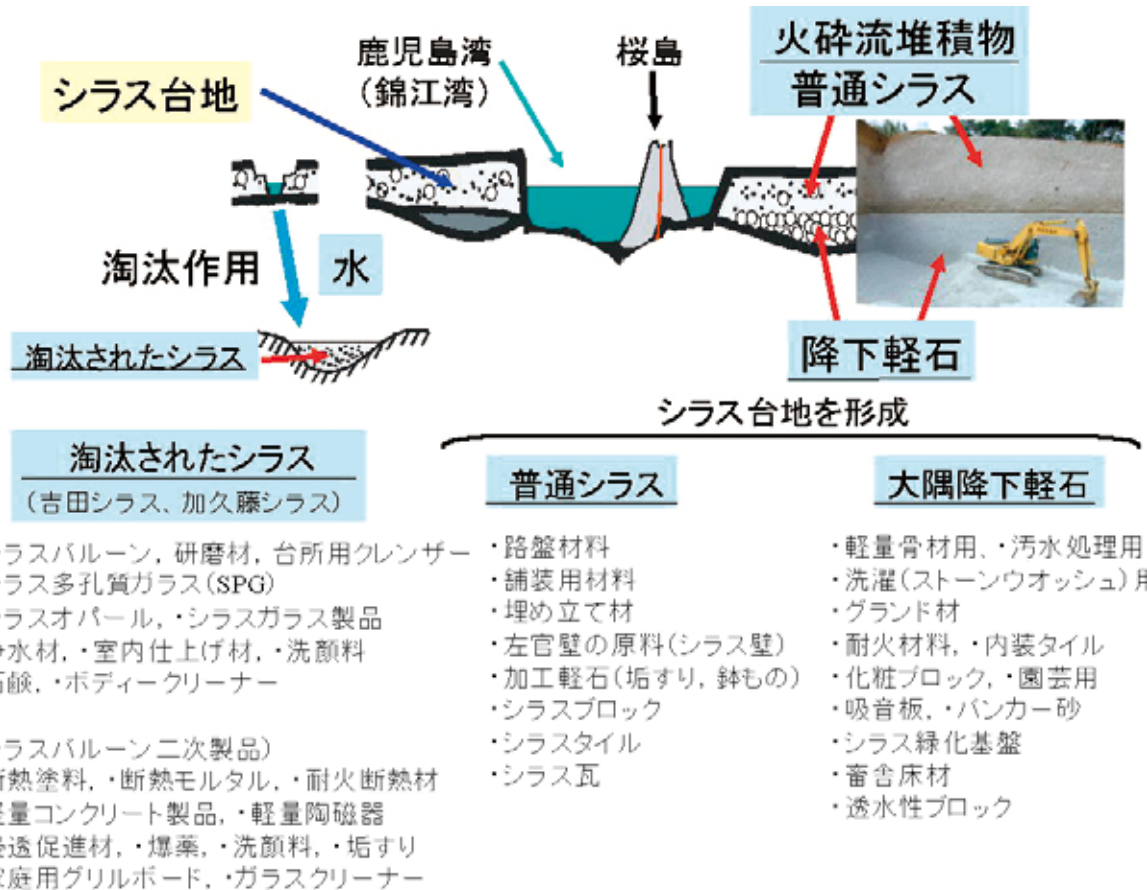


図3 シラスの工業的利用の分類

3. シラスの利用

シラスはその堆積形態から大きく3種類に分類され、シラスを用いた工業製品を図3に示す。

3.1 入戸火砕流堆積物 (普通シラス)

シラスの中で最も埋蔵量の多いのが、シラス台地を形成する入戸火砕流 (いとかさいりゅう) の堆積物 (図4) である⁴⁾。この噴出源が錦江湾奥部の始良カルデラ (南北 17km、東西 23km) であり、その大部分は海中に没してはいるが、その大きさは、阿蘇カルデラ (南北 25km、東西 18km) に匹敵する³⁾。この堆積物は、一般に灰白色で半固結状を呈し、多孔質であり、2mm以上の礫 (主に軽石) を含み、幅広い粒径から構成されており、大部分は砂分からなる。堆積物中の鉱物組成は、火山ガラス、斜長石を主成分とし、輝石、石英、磁鉄鉱などを副成分としている。一方、その化学組成は、ケイ酸分が約70%と最も多く、次いでアルミナ分約14%、アルカリ酸化物約8%と続く⁵⁾。

普通シラスが最も多く利用されているのは、路盤材料である。舗装用材料として道路の路床にシラスが用いられており、1970年代には鹿児島湾の大規模な埋

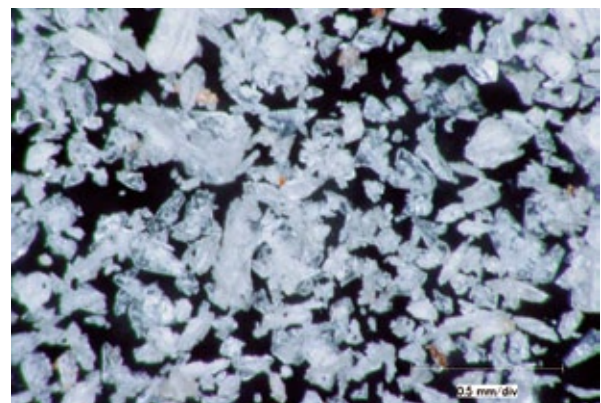


図4 シラス (入戸火砕流堆積物)

立材として利用された。1972年に完工した鹿児島市の与次郎ヶ浜地区は、城山裏のシラス台地から1300万㎡のシラスを削り、汲み上げた海水と混ぜて、日本初の水搬工法によって66万㎡の土地造成を行った⁹⁾。1978年には、鹿児島市の祇園之洲も54.5万㎡のシラスと河川水を混ぜて水搬工法での土地造成が完工した⁹⁾。

シラスを用いた二次製品の先駆けとして、1999年にシラスをけいそう土の代わりに用いてセッコウで硬化させる内装用左官壁材が製品化された。この壁材は、調湿・消臭機能、VOC吸着効果を有する100%

自然素材の健康建材として、累計 177 万㎡の施工実績を誇る。図5に霧島市にある「上野原縄文の森展示館」の内装用左官壁を示す。シラスとセメントを用いた外装材も累計 92 万㎡の施工実績があり、シラスを用いた内外装材で年間 10 億円規模の市場に成長している¹⁰⁾。

シラスには多くの軽石が含まれており、垢すりなどの加工軽石の90%以上が鹿児島産である¹¹⁾。大きい軽石は、くり抜いて鉢物にしたり、板状に加工して軽石タイルとして出荷されている。



図5 シラスを用いた内装用左官壁

3.2 降下軽石

降下軽石とは、火山噴火の際、軽石を多く含む火山砕屑物が地表に落下して生じた堆積物のことである³⁾。鹿屋市、垂水市を中心に分布している大隅降下軽石(図6)は、灰白色で主に軽石礫の集合体からなり、始良カルデラから入戸火砕流と同じ時期に噴出した⁴⁾。この降下軽石は、入戸火砕流堆積物の下に堆積し、比較的固い軽石からなる。

降下軽石は、ふるい分けすることで日本工業規格の適合品になることから、軽量骨材用、洗濯(ストーンウォッシュ)用、汚水処理用、垢すり用、ランド材、耐火材料、内装タイル、化粧ブロック、園芸用、吸音板、バンカー砂としての用途がある。鹿児島県で年間 54,613t (2004年) 出荷されている。

鹿児島県工業技術センターでは、軽石に炭素を蒸着させた活性吸着剤¹²⁾や軽石に酸化チタンを被覆した浄水効果を有する光触媒軽石を開発している¹³⁾。

鹿屋市周辺では、大隅降下軽石と噴出起源の異なる鹿沼土と似た黄色の風化した降下軽石が産出し、ボラ、さつま土、鹿屋土などの名で、園芸用に 21,497t (2004年) 出荷されている。



図6 大隅降下軽石

3.3 淘汰されたシラス

鹿児島市吉田地区や宮崎県えびの市周辺には、細砂から微砂の粒度分布を有する自然水の作用で淘汰されたシラス(吉田シラス、加久藤シラス: 図7)が産出する⁵⁾。これらは、火山ガラス成分を90%以上含むこと、強熱減量が約4%以上であることを特徴としている。これらのシラスは、シラスバルーン、研磨材、シラス多孔質ガラス(SPG)、シラスオパール¹⁴⁾、シラスガラス製品、シラスセラミック浄化材¹⁵⁾、陶器瓦、台所用クレンザー、洗顔料などの用途がある。

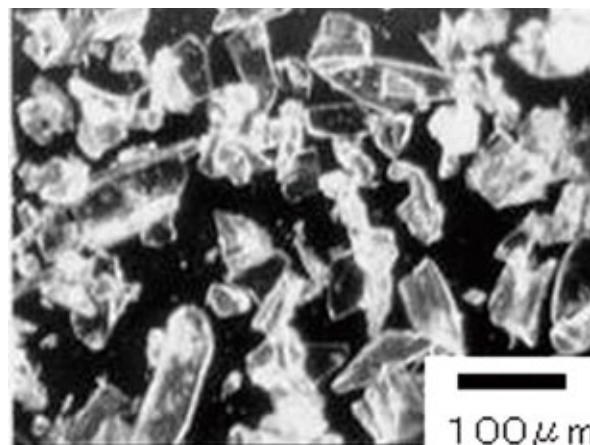


図7 加久藤シラス

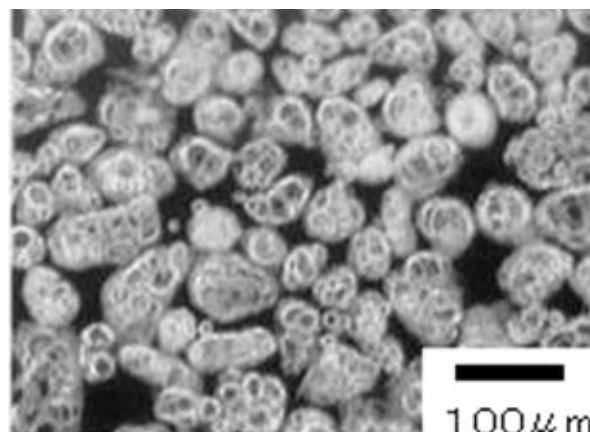


図8 シラスバルーン

シラスバルーンとは、シラスを熱処理して発泡させた微細な風船状の粒径 $20 \mu\text{m} \sim 1.4\text{mm}$ 程度のものであり、低かさ比重、不燃性、高融点、低熱伝導率、無色、無害、有毒ガスの発生がない、低価格という特徴をもつ。図8に加久藤シラスを焼成発泡させたシラスバルーンを示す。シラスバルーンの原料としては、南九州のシラス以外に福島県の中野白土や東北・北海道の火山灰などが用いられている。

シラスバルーンは、年間 14,250t (1991年) 生産されているが、日本工業規格の区分が無い。製造各社合わせて 50 種類以上の品種があり、価格差も大きい。一般的には 10kg 当たり 1000 ~ 2000 円台 (工場出荷単価) である^{16)、17)}。

その二次製品としては、軽量モルタル、OA フロアー、パネル、ロックウール天井材、セッコウプラスチック、軽量 PC 板、セメント成形品などの無機建材用、FRP 充填材、ポリエステル系パテ材、FRP パイプなどの樹脂系部材、建築用外装、機械塗装、下地処理用などの塗料用、屋上庭園用、鉢物用、ゴルフ場 (芝用) などの土壌改良材用、その他、紙粘土、接着材、自動車用部材、農業用特殊増量材、磁器用などの各種用途がある^{16)、17)}。

シラスバルーンを用いた遮熱・断熱塗料は、1990年代から製品化されており、鹿児島県内の 1 社だけで累計 10 万 m^2 の施工実績がある。図9にシラスバルーン塗料が施工された大阪市長居陸上競技場の建物を示す。この会社の塗料には、省エネ効果も認められ、工事用ヘルメットに採用されるなど、需要が急激に伸びており、平成 19 年度に地球温暖化防止活動環境大臣表彰を受けた¹⁸⁾。



図9 シラスバルーン塗料を施工した屋根

また、地元企業によりシラスバルーンを用いたガラスクリーナーが製品化され、特に油膜と水垢の除去に効果がある。このガラスクリーナーは、車両や船舶のガラス窓、鏡のほか、水回りのステンレス、タイルの清浄用として官公庁やホテルなどでの多くの実績が評価され、平成 21 年度発明くふう展で鹿児島県知事賞を受賞している。図10に鹿児島市電のフロントガラスの洗浄前・後の写真を示す。



図10 シラスバルーンを配合したガラスクリーナーの洗浄効果 (左: 洗浄前 右: 洗浄後)

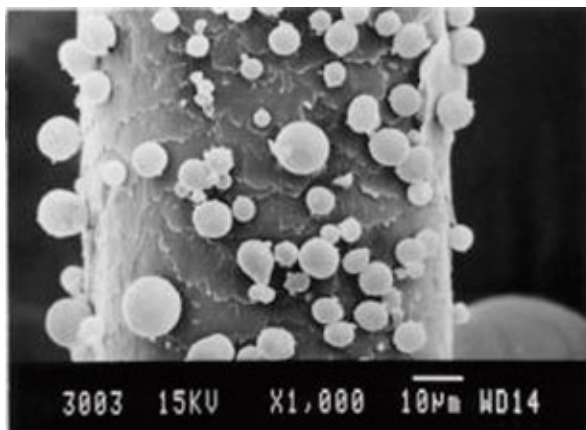


図11 毛髪上の微粒シラスバルーン

鹿児島県工業技術センターでは、地元企業と共同で 1992 年に平均粒径 $20 \mu\text{m}$ 以下の微粒シラスバルーンを開発した。図11に毛髪に付着させた微粒シラスバルーンの電子顕微鏡写真を示す。微粉碎シラスに撥水処理を行い、原料粉体の流動性を向上させて媒体流動床炉により焼成発泡し、低かさ密度の製品を製造可能とした。現在、10kg 当たり 5000 ~ 8000 円 (工場出荷単価) で販売されている^{16)、17)}。

その他にも、アルミナ基板の低誘電率化の方法として微粒シラスバルーンを用いて材料内部への気孔の導入を図ったシラス/アルミナ系軽量複合体¹⁹⁾、微粒シラスバルーンを気孔形成材として陶器素地に添加して製造した高気孔率と高強度を両立させた軽量



図 12 シラスを配合した洗顔料

陶器²⁰⁾、1000℃以上の耐火性を有する耐熱性バルーン²¹⁾などを開発している。

1998年には、微粒シラスバルーンを配合した洗顔料が鹿児島県内企業により製品化された(図12)。その後、シラス微粉を配合したものなど各種製品が開発され、現在では5社が製造販売しており、年間10億円規模の火山灰化粧品市場に成長している。

宮崎県工業技術センターで開発されたシラス多孔質ガラス(SPG)は、孔径制御された貫通細孔からなる $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 系ガラスである。シラス、石灰、ホウ酸からなる基礎ガラスを熱処理により相分離させて生成する。SPGを利用した膜乳化技術により、マイクロ/ナノサイズのエマルジョンや粒子、カプセルなど食品、医療、化粧品分野への展開のほか、ナノバブル生成やマイクロハンダボールの開発に成功している²²⁾。

4 シラス産業化の動き

4.1 シラスコンクリートの開発

火山噴出物のコンクリートへの利用としては、混和材、細骨材、粗骨材の3つが考えられる。

驚くべきことに、日本でも100年以上前に着工し、火山灰を混和材として用いた土木建造物が現存し、活用されている。それは、近代築港の父といわれる廣井勇が苦心の末、完成させた北海道の小樽港北防波堤である²³⁾。天然軽石の粗骨材への利用は、浅間、榛名および大島産の軽石を、軽量コンクリート用粗骨材として1946年頃から関東地方を中心に実際の建物に用いたのが始まりである。その後、南九州産の降下軽石の利用研究が1951年から鹿児島大学で始まり、1955年頃から実用に供されるようになった^{24)、25)}。

シラスの細骨材への利用研究は、鹿児島大学のほか

豊橋技術科学大学でも進められシラス(細骨材)と大島の火山礫(粗骨材)とを組み合わせた火山灰コンクリートが提案され、長期強度、耐酸性などの優れた特徴が見出された^{26)、27)}。

しかし、自然のままのシラスは、コンクリート用の細骨材としては、JISにおける粒度、吸水率、密度の3項目が不適合であり、さらに粒子形状も角張っているという欠点を持つため利用が進まなかった。近年、西日本では細骨材として枯渇が心配される河川砂に替わり、海砂が大量に用いられている。しかし、環境保全、海洋資源保護の立場から海砂の採取を規制する方向にあり、日本は、中国と韓国から細骨材を年間1000万t輸入して対処している²⁸⁾。このため、西日本各県で細骨材の確保が緊急の課題となっている。

1990年代に入り、海砂の採取規制に伴う代替骨材としてシラスが注目され、細骨材全てにシラスを用いたコンクリートの研究が、鹿児島大学で進められた。

鹿児島県では、2006年にシラスコンクリートの設計施工マニュアルを発刊し、1998～2006年までに22のモデル工事を実施している。2004年には、霧島市にある丸尾の滝橋の深礎杭基礎(直径8.2m、高さ22.5m)に施工されるなど実用化が進んでいる²⁹⁾。

4.2 シラスコンクリート二次製品の開発

鹿児島県工業技術センターでは、2001年から地元企業と共同で、シラスを細骨材または粗骨材として用いた加圧成形法による二次製品の開発に取り組んだ。

プレスセメント瓦の製造企業との共同研究により、普通シラスを細骨材として用いたプレスセメント屋根材(図13)の実用化に成功した³⁰⁾。図14にシラス瓦の施工事例(薩摩郡さつま町のせせらぎの郷二渡物産館)を示す。

このシラス瓦は、従来のセメント瓦より断熱性に優れ、軽量で大判化が可能となっており、意匠性、施工性にも優れている。これまでの官公庁や民間建物における1万7500㎡もの屋根施工実績が評価され、平



図 13 普通セメント和瓦(左)とシラス大判瓦(右)



図 14 シラス大判瓦を用いた屋根（左下：拡大写真）



図 16 シラスを用いた緑化基盤による軌道敷緑化



図 15 シラスブロックを敷き詰めた舗道

成 21 年度九州地方発明表彰において、鹿児島県支部長賞を受賞した。

また、地元の人造大理石製造企業との共同研究により、加圧成形により普通シラスを細骨材に用いたシラスブロックや降下軽石を用いた軽量の緑化基盤の実用化に成功した³¹⁾。図 15 に、シラスブロックの施工事例（鹿児島市 天文館地区）を示す。

軽石を用いた緑化基盤は、透水性、保水性、断熱性に優れており、屋上緑化、飼育環境を改善する畜舎床材などのほか、鹿児島市電の 3.9km の軌道敷緑化（図 16）の基盤材として採用された。この軌道敷緑化は、ヒートアイランド対策、騒音低下、景観向上などの効果を発揮し、市民や観光客に好評である。このシラスを用いた緑化基盤の開発では、平成 15 年度中小企業庁長官賞をはじめ平成 20 年度全国発明表彰「発明賞」、平成 21 年度文部科学大臣表彰「科学技術賞（技術部門）」を受賞した。

4.3 シラスの全量活用への試み

普通シラスは、火山ガラス含有率が 70%前後と低く、粒度分布が広く不均一であるため、工業資源としては扱いにくい。そこで、鹿児島県工業技術センターでは、2007 年から地元企業と共同研究を行い、普通シラスを低コストで粒径選別して、粒度の異なる 5 種類の整粒シラスを製造し、同時に火山ガラス含有率の高い粒分を焼成してシラスバルーンを製造する装置（図 17）を開発した。これは、シラスバルーン焼成炉の高温排気を利用して、シラス原料の乾燥と粒径選別を複数のサイクロンにより多段気流分級することを特徴としている。整粒シラスは、細骨材や各種充填材、化粧品への利用を狙っている。普通シラスから付加価値の高い粒度の揃った複数の整粒シラスやシラスバルーンを低コストで創出し、シラスを 100% 活用する試みは、工業資源化の一つの方向性を示している。



図 17 自動粒径選別シラスバルーン製造装置

5 おわりに

南九州には、2008年の大河ドラマ「篤姫」でよく登場した桜島をはじめ、薩摩富士と称される開聞岳、九州最大のカルデラ湖の池田湖や日本一の高地にある大浪池など数多くの火口湖が存在する。これらは全て火山特有の地形であり、風光明媚な景観を創り出す観光資源となっている。日本初の新婚旅行として有名な、幕末の志士、坂本龍馬が1866年にお龍と霧島周辺で遊び、湯治の温泉巡りをして登山した天孫降臨伝説の高千穂峰もその一つである。その山岳地形からもたらされた大量の雨は、火山灰土壌で濾過されて、おいしい水となる。

また、巨大噴火は地球規模で火山灰を広範囲にまき散らすすが、これが考古学上の地層の年代判定指標となっており、学術上の重要な意味を持っている。

一方で、シラス土壌は米作りに向かず、薩摩の人々は苦難を強いられてきたが、西郷隆盛に代表される「質実剛健」の県民性を育んだという指摘もある³²⁾。

鹿児島県工業技術センターの前身である工業試験場においてシラス利用研究が昭和20年代から始まって以来、産学官での研究開発が実を結び、市場競争力のあるシラス製品が登場してきた。これらの火山噴出物の活用技術は、資源・環境の面で先進的な取り組みであり、地球上に普遍的に存在する火山噴出物利用のビジネスモデルとして世界に通用すると確信している。

今後、無尽蔵ともいえるシラスの本格的な工業資源化を達成することができれば、地域の人々を大いに奮い立たせ、計り知れない恩恵をもたらすものと考えている。

<参考文献>

- 1) 日本火山学会編、「Q&A 火山噴火」、講談社 (2001) p.45, 52.
- 2) 鹿児島県地質図編集委員会編、「鹿児島県の地質」、鹿児島県企画部企画調整課 (1990) p.1,2,3.
- 3) 地学団体研究会地学事典編集委員会編、「地学事典」、平凡社 (1988) p.4, 18, 189, 192, 346, 512.
- 4) 町田 洋、新井房夫、「新編 火山灰アトラス」、東京大学出版会 (2003) p.67.
- 5) 岩松 暉、福重安雄、郡山 榮、地学雑誌、98、379 (1989) .
- 6) 横山勝三、「シラス学 九州南部の巨大火砕流堆積物」、古今書院 (2003) p.177.
- 7) 鹿児島県本格焼酎技術研究会編、「鹿児島の本格焼酎」、春苑堂出版 (2000) p.75.
- 8) 農林水産省、平成19年産作物統計資料.
- 9) 鹿児島開発事業団、「鹿児島開発事業団史二十八年のあゆみ」、南日本新聞開発センター (1993) p.52.
- 10) 袖山研一監修、「二十一世紀の民家をつくる シラス物語」、農山漁村文化協会 (2005) p.59.
- 11) 鹿児島県地学会写真編集委員会、「写真集・地球からのメッセージ鹿児島」、斯文堂 (1997) p.109.
- 12) 特許第 3787421 号
- 13) 特許第 4123491 号
- 14) 国府俊則、都城工業高専研究報告、16、17 (1982).
- 15) 特許第 3939800 号
- 16) 袖山研一、目 義雄、材料の科学と工学、43、No.1,20 (2006).
- 17) 小石真純、「機能性微粒子とナノマテリアルの開発」、フロンティア出版 (2004) p.257.
- 18) 岡本利章、歌代和男、松若讓二、深江典之、土木学会誌、86、No.2、6 (2001).
- 19) 袖山研一、目 義雄、神野好孝、濱石和人、J. Ceram. Soc. Japan, 105, 815 (1997).
- 20) 袖山研一、目 義雄、神野好孝、濱石和人、國生徹郎、関 博光、J. Ceram. Soc. Japan, 106, 333 (1998).
- 21) 特許第 3635289 号
- 22) 松永英之編集、「使いこなそう公設試・産総研2007」、(独)産業技術総合研究所産学官連携推進室 (2008) p.192.
- 23) 山下 茂、Consultant、234、32 (2007).
- 24) 鹿児島県資源開発協議会編、「明日の資源シラス」、鹿児島県資源開発協議会 (1972) p.12.
- 25) 福島正人、「南九州産軽量骨材の利用に関する研究」、(1970).
- 26) VSI (火山珪酸塩工業) 研究会、「新時代を築く火山噴出物」、リアライズ社 (1995) p.98.
- 27) 芳賀亮介、倉本 洋、角 徹三、袖山研一、星野 実、「日本建築学会講演梗概集 A-1 材料施工」、(2006) p.105.
- 28) 町田庄三、「生コン年鑑平成13年度版」第34巻、セメントジャーナル社 (2001) p.8.
- 29) 武若耕司、コンクリート工学、45、No.2、16 (2007).
- 30) 特許第 3787595 号
- 31) 特許第 3858079 号
- 32) 原口 泉監修、「決定版 図説・薩摩の群像」、学習研究社 (2008) p.134.