



一橋大学イノベーション研究センター

東京都国立市中2-1
<http://www.iir.hit-u.ac.jp>

本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】一橋大学イノベーション研究センター研究支援室
TEL: 042-580-8423 e-mail: chosa@iir.hit-u.ac.jp

地域イノベーションの事例研究「鹿児島におけるシラスの活用」

【概要】

地域に存在する未利用資源の有効活用は、地域イノベーション創出における大きな一つの手段である。しかし、未利用資源が長期に渡って未利用のままとなっていることには当然何らかの要因があるのも事実である。鹿児島県においても同様のことが当てはまる。鹿児島県はその大部分をシラス台地と呼ばれる火山噴出物に覆われている。シラスは固結性が弱く、透水性が高いために農業生産性が低い。梅雨時には浸食と崩壊を受けやすいために、シラスはしばしば大規模な土砂災害を引き起こしてきた。またシラス台地は米作りにも向かず、鹿児島県に住む人々はシラス台地との共生に苦勞しながら、智恵を絞ってきた。

このように歴史的には鹿児島県に住む人々をしばしば苦しめてきたシラスを工業的に利用しようという取り組みは 100 年以上の長きに渡って続けられてきた。シラスの工業資源利用を実現することができれば、県の土地の大部分を覆うシラスが宝の山に変わることになる。しかし、事はそう簡単ではなく、多くの研究者や地元企業によって試行錯誤が繰り返されてきたものの、シラスの工業資源利用化は実用化されることなく長年の月日が流れてきた。こうした困難な状況であったにも関わらず、鹿児島に眠る未利用資源の有効活用という目標を地元の人々は決して失うことはなかった。そして、近年鹿児島県工業技術センターの袖山氏を中心として、シラスの工業資源利用に光が差しつつある。

鹿児島県におけるシラスの工業資源利用に向けた取り組みは、地域イノベーションの在り方の一つの形を示唆している。本稿では、鹿児島県におけるシラスの工業資源利用に向けた取り組みの試行錯誤の歴史を追いつつ、近年のシラスの工業資源利用に向けた発展のメカニズムについて明らかにしていく。本事例を通じて、地域イノベーションの創出には、核となる研究拠点と推進役となる人材が必要であることがわかる。また、地域イノベーションの背景には、ビジネスに課題を抱える企業が地域イノベーションに希望を見出し、推進者を支援する構図があることも本事例から得られる示唆と言える。

1. シラス台地の概要

鹿児島県は、その土地の大部分を「シラス」と呼ばれる軽石を含んだ火山噴出物に覆われている。このシラスは大変な厄介者であり、鹿児島県の歴史は、地域に住む人々とシラスとの格闘と試行錯誤の歴史であると言っても過言ではない。シラスは「白砂」が語源であるとも言われ、約 3 万年前に鹿児島湾奥部のカルデラから噴出した入戸火砕流を主体とする堆積物から成る。このシラスは、固結性が弱く透水性が高いために農業生産性が低く、また雨で崩れやすいため土砂災害をしばしば引き起こし、災害の元凶とされてきた。その一方で、県内に無尽蔵に広がるシラスを工業資源として利用できないかという住民の思いは昔からあり、明治以降、シラスの工業資源利用を巡って多くの試験研究がなされてきた。しかし、シラスの主成分は火山ガラスの火砕流堆積物で有機物を含んでおらず、工業資源利用に向けた研究や取り組みは失敗の連続であった。

シラスは、その堆積状況から、「淘汰されたシラス」「普通シラス」「降下軽石」の3つに大きく分類される。「淘汰されたシラス」とは、入戸火砕流以前の火山噴出物が川や海の水による淘汰作用によって結晶鉱物や軽石が除去されて、火山ガラス粒子が高純度で堆積したものである。この「淘汰されたシラス」は九州でも産出される土地が限られ、希少かつ高価なシラスとなっている。「普通シラス」は入戸火砕流の非溶結部を主体とする堆積物である¹。このシラスは、一般に灰白色で半固結状を呈し、多孔質であり、大部分を構成する 2mm 以下の砂分と礫からなる。鉱物組成は、火山ガラスを主成分とし、斜長石、輝石、石英、磁鉄鉱などを副成分とする。「降下軽石」は約 3 万年前に噴出した大隅降下軽石に由来する軽石の多い火山噴出物である²。

このようにシラスと一言で言っても、実は堆積メカニズムや堆積場所によって、その性質は大きく異なっている。その中でも上述した「普通シラス」は鹿児島県に無尽蔵に存在するとも言われ、工業資源としての利用が長年に渡って試みられてきた。しかし、基質部が火山ガラスと少量の鉱物から成る「普通シラス」は、粒子のサイズが幅広く、様々なサイズの軽石も含まれているため、工業資源としての利用が困難と言われ続けてきた³。

こうしたシラスの工業資源としての利用が可能になれば、鹿児島に無尽蔵に広がる厄介者のシラスが宝の山に変わり得る。シラスの工業資源利用は地元鹿児島に住む人々の悲願であり、地元企業や研究者達が一丸となってこの問題に取り組み続けてきたことで、現在シラスの工業資源利用に向けた道筋が開かれつつある。なお、以下で取り上げるシラスの工業資源利用に向けた取り組みの中で用いている「シラス」という言葉は、特段の説明がない限り、「普通シラス」を指している。

¹ 学術的な定義がされているわけではなく、本ケース執筆にあたって多大なるご協力をいただいた袖山研一氏の論文より引用している。

² 鹿児島県工業技術センター「シラス利用の新しい展開」(2011), <https://www.kagoshima-it.go.jp/pdf/shirasu/pdf/shirasu70.pdf>

³ 大木公彦 (2011) 「シラスを知り・活かす」『Nature of Kagoshima』 vol. 37, Mar. 2011 P157

高千穂峰の眼下に広がるシラス台地



(出所)鹿児島県工業技術センター「シラス利用の新しい展開」より抜粋
シラス採掘場の様子



(出所)2018/9/19 鹿児島県内のシラス採掘場にて筆者らにより撮影

2. シラス研究とシラスの工業資源利用を巡る歴史

(1) 明治から昭和初期にかけて

シラスの工業資源利用にまつわる歴史は古く、明治時代までさかのぼる。はじめは、火山灰のコンクリート用混和材への利用であった。火山灰のコンクリート用混和材への利用研究は海外で始まっている。1898年（明治31）年には、プロシアのシルト島での海中工事で火山灰が増強材、増量材として有効であることが確認されたことを受けて、札幌農学校の廣井勇教授が同様の研究に乗り出した。廣井教授は火山灰を用いた独自の試験を繰り返し、シルト島における実験の効果を自ら確かめた上で、海水に対するコンクリートの抵抗性の向上を確信するに至った。そして、廣井教授が明治30年に小樽築港事務所長となると、小樽港防波堤ブロックの本工事に火山灰を採用した。

内務省大阪土木出張所は、明治39年から耐海水性の付与が期待される混和材として九州産6種類の火山灰を配合したモルタルについて、海水養生で15年間に及ぶ長期強度試験を行い「ぼるとらんど、せめんと長期試験成績報告」を昭和3年に発行している。九州産の6種類のうち2種類が鹿児島県産で、喜入白砂（シラス）の粉砕物が用いられている。

その後も火山灰のコンクリート用混和材への利用に関する研究は進められ、全国の火山灰が混和材として耐海水性コンクリートに用いられた。しかし、火山灰の採掘・運搬・乾燥・粉砕にかかるコストは高く、競合品の酸性白土や珪藻土に取って代われ、さらにはセメント技術も進歩したことで昭和初期頃から火山灰はコンクリート用混和材に用いられることがなくなった。

(2) 戦中期から戦後初期にかけて

シラスの工業資源利用に向けた研究は一度下火になったものの、第二次世界大戦勃発に伴う資源不足の発生によって、再びシラスに注目が集まることとなる。第二次世界大戦中にセメントの入手が困難となると、鹿児島県当局はシラスを土木工事用材料として使用するための調査・研究を内務省土木試験所に依頼した。そして、再びシラスの工業資源利用に向けた取り組みが進み始めることとなった。

しかし、この時の調査・研究で明らかにされた結果は、鹿児島県当局側の思惑とは異なるものであった。福島彌六らによって、空気養生したモルタル⁴の圧縮実験が行われた結果、シラス自身に凝結性は認められず、強度の増加はほとんど期待し得ないことがわかった。また、水中養生したモルタルの圧縮強度試験では、シラスを混合するほど強度が低下し、石灰あるいはセメント混合材としての価値はほとんど認められないという結果になった⁵。

⁴ 砂とセメント（必要に応じ混和材も）と水を練り混ぜて作る建築材料のこと。

⁵ 福島彌六、松本榮（1943）「石灰或はセメント凝結材として本邦産岩石風化物に関する調査及び試験（第3報）」『火山灰砂「シラス」に就いて（鹿児島県）』第51集、416～422（1943）

その一方で、軽石の粗骨材への利用の研究も進み、戦後の1946年から、浅間、榛名、大島産の軽石を用いた軽量コンクリート製の建物に用いられた⁶。鹿児島大学でも福島正人によって研究が進められ、戦後の十数年間はシラスと軽石の軽量コンクリート骨材としての利用が進んだ。しかし、強度に限界があり、人工軽量骨材が登場したことでこの軽量コンクリート骨材は経済的に淘汰されることとなった。

3. 近年におけるシラスの工業資源利用の進展

シラスの工業資源利用を巡っては、まさに試行錯誤の繰り返しであり、熱心な研究者達の知見が積み重ねられていった。その一方で、シラスの本格的な工業資源利用化への道筋は思うようには進展しなかった。こうした困難な状況の中でも、シラスの工業資源利用に向けた研究に諦めずに取り組み続けてきた地域の人々がいた。近年におけるシラス研究に関して中心的な役割を果たしてきたのが鹿児島県工業技術センターの袖山研一氏と、袖山氏の研究を共に支え、袖山氏と協力してシラスの工業資源利用化に向けて取り組んできた地元鹿児島の企業の人たちである。袖山氏らの長年に渡るシラス研究の成果が今日まさに実を結びつつある。実際にシラスを利用した新たなビジネスも実用化されてきた。

(1) シラスの鉱物組成

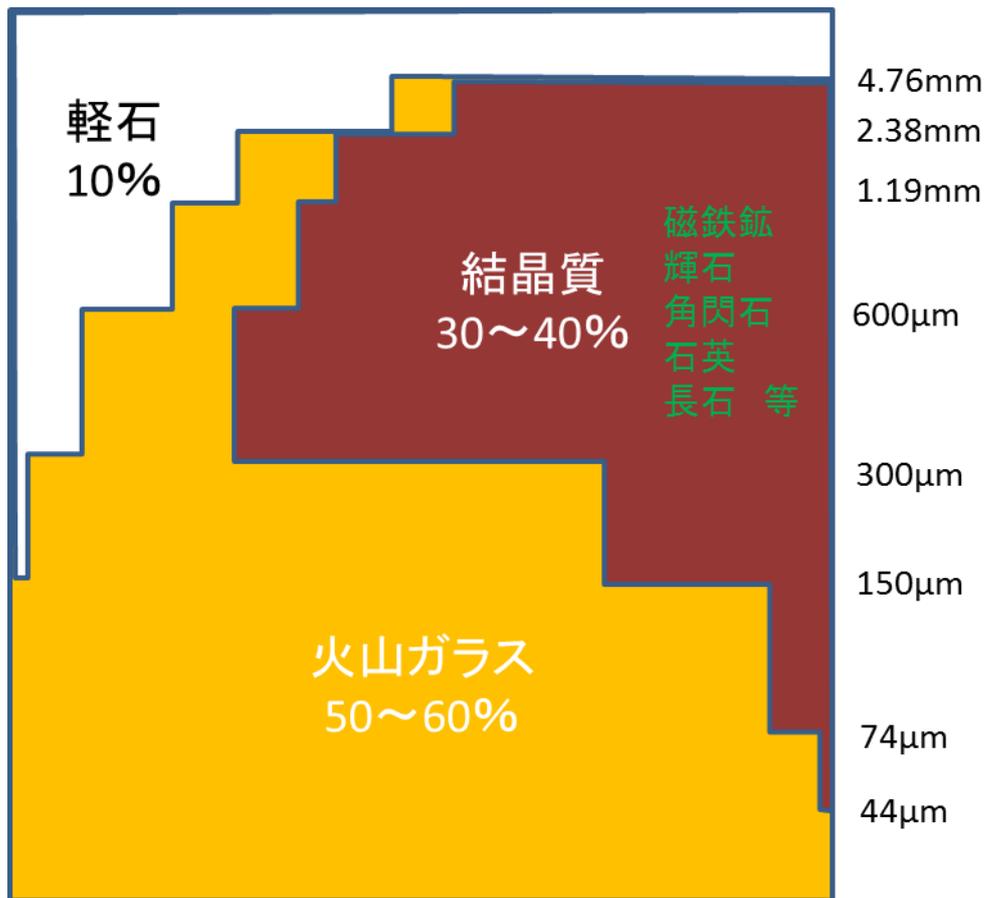
最初にシラスの鉱物組成について整理しておく。図はシラス成分を横軸に比重、縦軸に粒径をとって、その成分を二次元に展開したものだ。

このうち、粒径が4.76mm以上のものは、ほぼ軽石であり、このような大きな軽石はふるい等で分別することも容易であるため、そのままJISA5002の天然軽量骨材として販売することが可能である。それ以下のサイズのシラスで300 μ mより大きいサイズのものでは、軽石成分、火山ガラス成分、結晶質成分が混ざり合っており、この三つを分離できれば、軽石部分は軽量骨材として、結晶質部分は細骨材（JISA5308の砂）として販売することが可能である。

JISに規定されておらず、もっともお金にならないのが全体の50~60%を占める火山ガラス部分だ。但し、この部分のうち、0.01%程度は、現在、後述のシラスバルーン原料として利用されている。シラスバルーンはかなり高価に売れるため、ここを増加させることでシラス利用の展望が開けてくる。まずは、このシラスバルーンの開発から見てみよう。

シラスの鉱物組成

⁶ 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）P12



(出所) 株式会社プリンシプル提供資料より筆者作成

(2) シラスバルーンの開発

袖山氏のシラス研究は微粒シラスバルーンの開発から始まった。火山ガラスからなるシラスは、900℃以上に急速に加熱すると軟化と同時に水分のガス化が起こり中空発泡体になる⁷。この中空発泡体がシラスバルーンと呼ばれるものである。シラスバルーンはガラス研磨剤等の工業製品や、シャンプー、石鹸などの家庭用品に主に利用されている。

袖山氏は平成3年から、このシラスバルーンの開発に取り組んできた。シラスバルーンの開発はシラスの工業資源利用に向けた大きな第一歩となった。袖山氏は、地元企業と共同して、シラス原料を媒体流動層により1000℃前後で焼成発泡させてシラスバルーンを製造し、排気管の途中に遠心力の異なるサイクロンを複数連結して粒度ごとに選別して回収する装置を開発した⁸。この装置の開発によって、市販シラスバルーンの製造と、平均20μm以下の微粒シラスバルーンの分離・回収が可能となった。その後、さらに精度の高い微粒シラス

⁷ 袖山研一 (2010) 「地域資源の利用技術の開発と地域産業の振興」セラミックス 45(2010)No. 9 P761

⁸ 袖山研一・目義雄「媒体流動層によるマイクロガラスバルーン製造技術」, 材料の科学と工学, Vol. 43, No. 1, pp25-25. (2006)

バルーンの製造装置が開発され、洗顔料や洗髪料などの高付加価値での微粒シラスバルーンの利用が進んだ。

シラスを配合した洗顔料



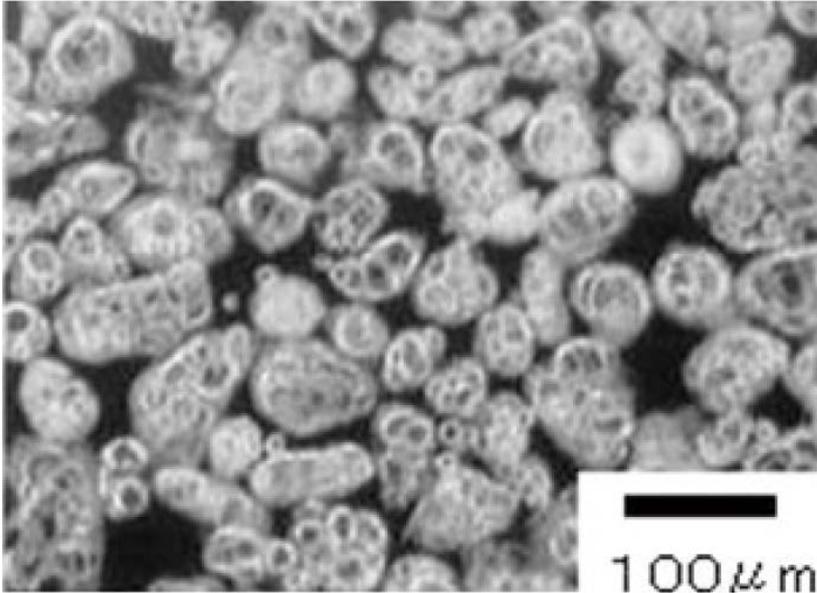
(出所) 鹿児島県工業技術センター「シラス利用の新しい展開」より抜粋

こうしたシラスバルーンは意外な用途でも用いられている。例えば、ある時シラスバルーンの研究を推進していた袖山氏のもとに、宇宙航空研究開発機構（JAXA）から声がかかった。JAXAによれば、宇宙実験の金属の対流現象を解明するために中空の金属カプセルが必要であり、そのためにシラスバルーンを使いたいというものであった。そこで袖山氏らは、実験用金属中空トレーサーとして、マイクロメタルバルーン⁹を開発した。このマイクロメタルバルーンは、真球状で表面が滑らかであり、中空であるため軽量で、サイズが直径 100 μm から 1mm と微小であることが特徴である¹⁰。このように、シラスバルーンはその用途を様々に広げることができ、シラスの工業資源利用の成功例となった。

シラスバルーン

⁹ 芯材としてシラスまたはシラスバルーンを用い、無電解ニッケルメッキなどにより金属被覆を施した後、窒素ガス中など還元雰囲気中で加熱発泡させることにより製造したもの。

¹⁰ 上菌剛，尾前宏，袖山研一他「シラスバルーンを芯材とした直径約 100 μm マイクロメタルバルーンの開発」J. Soc. Inorg. Mater. Japan, 15, 146-154(2008),



(出所) 鹿児島県工業技術センター「シラス利用の新しい展開」より抜粋

以上の通り、シラスの工業資源利用に向けた取り組みが進んだことには間違いのないものの、実はそのままシラスバルーンの原料とできるシラスはごく限られた地域で取れる「淘汰されたシラス」であり、これは鹿児島県に眠る膨大なシラスのごく一部分に過ぎないのである。シラスバルーンの原料となる希少なシラスは、火山噴出物が天然水の比重選別作用によって結晶鉱物や軽石が除去されて火山ガラスが高純度に濃縮されたものである。こうしたシラスは、鹿児島県では北部の吉田麓周辺でのみ産出することができる。上述したように、シラスバルーン自体は高付加価値商品への応用が可能で、様々な用途で用いることができるものの、シラスバルーンの開発だけでは、鹿児島県が抱える膨大なシラス台地を有効利用出来ているとは言い難いのが現実である。

(3) 加圧成形手法を用いたシラスコンクリート（緑化基盤）の開発

シラスバルーンの開発は、シラスの工業資源利用に向けての一筋の光が射すものであったものの、本格的なシラスの工業資源利用には遠く及ばない状態であった。しかし、シラスバルーンの研究を長く続けてきた袖山氏は、それまでの知見も活かして、シラスの本格的な工業資源利用に向けて舵を切ることになる。そして、その結果の成功事例となったのがシラスコンクリートであり、とりわけシラスコンクリートを用いた緑化基盤の開発であった。

平成12年頃から、鹿児島におけるシラスを用いたコンクリートの開発の本格的な研究が始まった。このシラスコンクリートの研究が鹿児島で再び本格化した背景としては、海砂や川砂の枯渇、採掘による環境破壊が表面化し、海砂依存率の高い西日本においてその安定供給が課題視されてきたことがある。シラスコンクリートの研究は半世紀以前から進められてきたが、普及には至らなかった。火山灰粒子は角張っているために粒形が悪く、また吸水

性が高く、150 μm 以下の微粒子が多すぎる。そのため、コンクリート製造時に必要となる単位水量の増大が避けられず、結果としてシラスコンクリートは強度や耐久性に劣ることとなり、JIS の規格に適さなかったからである。

鹿児島県工業技術センターでは、袖山氏がシラスを用いたコンクリートの研究を始めていた。上述の通り、シラスコンクリートの開発は、シラスを用いることで単位水量が増大すれば耐久性が低下し、水を削減すれば成形性が悪化するという難しいトレードオフによって行き詰まっていた。このトレードオフをいかに克服するかについて研究を重ねた袖山氏は、加圧成形と呼ばれる手段が突破口になり得ることを発見する。

そもそも成形とは原料を固める前に形を整える工程を意味し、原料を金型に入れて加圧して成形するのが加圧成形である。こうした加圧成形を用いることで、水を増やさずにコンクリートを成形できるようになる。この方法は、工事現場で生コンクリートを流し込んで硬化を待つような用途ではシラスを利用することができないが、コンクリートの 2 次製品であればシラスを応用できるだろうと袖山氏は考えたのである。

こうして袖山氏が、シラスを用いたコンクリート製造への突破口を掴みかけていた頃、鹿児島の地元鹿児島県で左官業や人造大理石製造業等を営んできた株式会社ストーンワークス（当初は有限会社ストーンワークス）の創業者である上中誠氏が、「廃ガラスを用いてリサイクル資材を作りたい」という相談を袖山氏に持ちかけた。ストーンワークス社の上中社長は神奈川県川崎市の工務店に左官見習いとして入社し、10 年近く勤務した後、地元鹿児島県で左官工事請負業として上中工務店を設立した。その後、左官業を廃業した上中氏は平成 2 年に人造大理石の製造を営むストーンワークスを設立した。しかし、輸入石材との競合や公共工事の低迷の影響により売上は年々低下し、新規事業を開発しなければ生き残れない状況に差し掛かっていたのである。この上中社長が目をつけたのが、廃ガラスのリサイクルであった。しかし、廃ガラスのリサイクルの事例はすでに数多く存在した¹¹。そのため、廃ガラスのリサイクル事業ではビジネス上の有効な差別化に結び付きそうにない。そこで、袖山氏と上中社長は廃ガラスではない、何か新しい製品を開発できないかと模索し始めた。

そのような活動の中で、袖山氏がストーンワークス社を訪れた時、袖山氏は即時脱型できるプレスマシンがストーンワークス社にあることを知る。このプレスマシンは、ゼロスランプ状態¹²のまま加圧成形できる機械であり、九州に 3 台しかない代物であった。これを使ってシラスでモノづくりができるのではないかと考えた袖山氏は、シラス活用の利点を上中社長に説いて共同研究を持ちかけ、両者で共同研究を行うこととなった。共同研究の結果、シラスをそのまま使用すると水を添加しなくてもコンクリートの成形が可能であり、しかも十分な強度を得られることがわかった。これは、加圧した際にシラスから染み出る水をセ

¹¹ 廃ガラスのリサイクル事業は沖縄県で既に盛んに行われており、他にも全国に事例が存在する。

¹² セメントと骨材等を混ぜた生混合原料が流動せず、変形量がゼロであること。

メントの水和反応に利用するという技術であり、袖山氏はこの技術で特許を取得した¹³。

こうしたゼロスランプ加圧成形方法を用いることで、シラスのコンクリート2次製品への利用の道が開かれることとなった。この緑化基盤に使われることになったのは、主に大きさが9mmから11mmの軽石成分である。この大きさの軽石は、そのサイズが中途半端であるために利用用途が見つかっていなかった。しかし、ゼロスランプ加圧成形によってセメント量を最小限に抑えたまま、こうした軽石同士をセメントによって接着させることで、強度や透水性に優れた基盤を製造することができたのである。

このようにして生まれた基盤材の使用用途として、袖山氏や上中社長が当初想定していたのは畜産用途であった。鹿児島県は豚肉の出荷量が全国一位、牛肉の出荷量も北海道に次いで全国二位という畜産が盛んな県である。これは、シラス台地が農作に向いていないことも、その理由の一つだ。このような畜産の現場において、コンクリートを用いた畜舎では、糞で動物が滑って股が割けて売物にならなかつたり、コンクリート床で子豚が腹を冷やして下痢したり、糞尿の臭いで肺炎になって子豚が死亡するなどして死亡率が高いという問題があった。そこで、上中社長と袖山氏は、共同研究によって製造した基盤材を、透水性や断熱性を利用して畜舎の床材に使ったら良いのではないかというアイデアを生み出したのである。しかし、畜産業界はコスト管理が厳しく、シラスコンクリートを使った効果を定量的に見せたとしても、設備更新時期でなければシラスコンクリートを導入してもらうことが出来ず、この分野への利用は容易には進まなかった。

この時期に、地元鹿児島県で株式会社プリンスプルを経営する東社長から鹿児島市で路面電車の軌道敷の緑化の話があるという情報がもたらされた。路面電車の軌道敷は、緊急時には救急車や消防車などの重量車両が走ることが出来る路面の強度が必要であるが、路面を緑化するために植生の良い土壌を投入すると、その強度が保てないという問題があった。

これに対し、袖山氏と上中社長がゼロスランプ加圧成形を用いてシラスから開発したシラスコンクリートは低コストで軽量かつ透水性、保水性、断熱性に優れており、芝生植生も良好であった。さらに加圧成形しているため強度が強くなり、緊急車両でも上を走れるのではないかということになったのである。

この頃、地球温暖化やヒートアイランド現象が社会問題化していた。そのため、緑化基盤としての製品には市場ニーズも想定され、市電基盤の緑化だけでなく、広く市場に受け入れられる可能性があるかと判断し、上中社長と袖山氏は平成14年に緑化基盤の製品化を実現した。そして、この緑化基盤は鹿児島市の路面電車の軌道敷芝生に採用されることが決まった。この軌道敷への緑化基盤の採用により、ヒートアイランド現象の緩和や電車の騒音低減効果が実証され、都市景観の向上にも寄与した¹⁴。また、袖山氏らはこの発明に

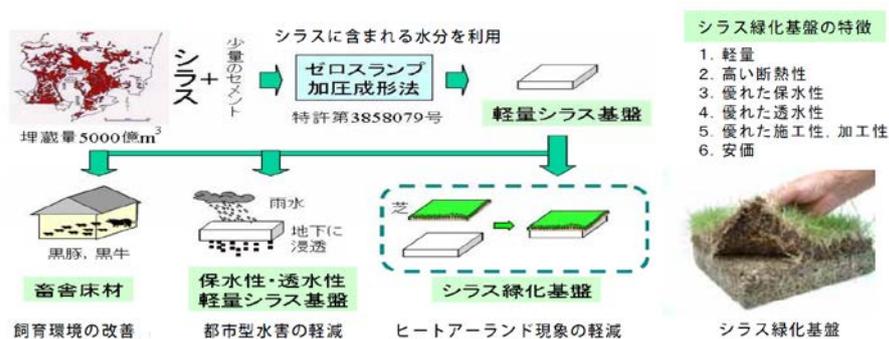
¹³ 特許第3858079号、特許第3973079号、特許第4217807号、特許第4336811号、特許第4344796号

¹⁴ 袖山研一（2010）「地域資源の利用技術の開発と地域産業の振興」

よって、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）」を受賞することとなった。

こうして長年研究が続けられてきたシラスコンクリートは、袖山氏の粘り強い研究と地元のスローンワーク社の新規事業開発への執念、そしてプリンシプル東氏のタイミングの良い情報提供が結びつくことで、緑化基盤という形で実を結ぶこととなった。

図 1 シラスを用いた緑化基盤の開発の全体像



(出所)鹿児島県工業技術センター研究成果発表会予稿集 (2007)「火山噴出物を用いた緑化基盤の開発 2. 研究の概要」より抜粋

シラスを用いた緑化基盤による軌道敷緑化



(出所)鹿児島県工業技術センター「シラス利用の新しい展開」より抜粋

4. シラスの全量利用に向けたアプローチ

先述の通り、シラスの工業資源利用は近年徐々に実用化が進展してきた。しかし、先述した事例はいずれも鹿児島県に広がる広大なシラス台地の一部分のみを工業的に利用するものであり、多様な鉱物から成るシラスをそのまま丸ごと工業利用するものではなかった。ところが、最近ではシラスそのものを丸ごと工業的に利用しようとするアプローチが盛んになりつつある。そこで本章では、こうしたシラスの全量利用に向けて進展している事例について述べることにする。

(1) 鹿児島県におけるシラスの全量利用事例

シラスの全量利用として当然のように取り組まれているのが、シラスのコンクリート骨材としての利用だ。2 (2) で述べたように、シラスをコンクリートとして利用することは困難だが、コンクリートの骨材として利用できることは分かっていた。しかし、コスト的に全く見合わないため、その利用が諦められていたのである。

そのうえ、3. (3) で述べたように、コンクリートの一般利用には JIS 規格適合という大きな壁が存在している。JIS 規格には、セメントの規格、生コンクリートの規格だけでなく、骨材の規格、細骨材の規格、混和材の規格など、様々な規格が制定されている。JIS 規格は任意規格であり、JIS 規格に適合しないものが法的に利用できないわけではないが、例えば建築物を作る際に、JIS 規格以外の生コンクリートを使おうとすると、建築基準法上の建築

確認が個別確認となり、国土交通大臣の個別認定をうけなければならない。これは大きなコスト要因となるため、現実的には JIS 規格に適合した材料しか使えなくなっているのが、現在の国内の建築事情である。

前述の通り、シラスは、粒径と比重で分級できれば、JIS 規格に適合する骨材として利用できる部分を大量に有している。しかし、それらが混ざっていると、JIS 規格に適合しないため、通常の建築物の骨材としては利用できないのである。

しかし、90 年代後半に入り、元々コンクリート骨材としての海砂採取が容易であった鹿児島県においても、環境維持の面から海砂の採取を減らすべきではないかとの議論が起り始めた。特に漁場の環境悪化を心配する漁業関係者の声が、この動きを後押ししていた。県は学識経験者や関係団体の代表などを集め、「鹿児島県公共事業等骨材確保対策協議会」を設置し、海砂に替わるコンクリート骨材として、シラスの利用を進めるための研究開発体制を整備することになった。

2000 年には、その成果を元に、シラスコンクリートモデル事業が開始された。前述の通り、シラスは JIS で規定された骨材規格に適合しないため、これを利用した工事には個別認定が必要となるが、県の工事であるため、その認定を得ることが可能であった。並行して鹿児島大学の武若耕司教授と協力し、2002 年以降、鹿児島県発注工事の水路や消波ブロック、根固めブロックなどにシラスコンクリート製品が試験施工された。このような個別認定事業を積み重ねて蓄積したノウハウを集めて 2005 年にとりまとめられたのが、「シラスを細骨材として用いるコンクリートの設計施工マニュアル（案）」であった。このマニュアルを取りまとめたことにより、鹿児島県内の公共土木工事においては、シラスをコンクリート骨材として利用することが可能となった。

2007 年からは、コンクリート二次製品のひとつである「積ブロック（間知ブロック）」をシラスコンクリートで生産し、県の土木部発注の工事で利用する事業が開始された。2008 年には歩車道境界ブロックの生産も開始し、同年にシラスコンクリート活用工事実施要領を策定した上で、県内の土木部発注の工事において、これらのコンクリート二次製品を利用することを義務付けた。その後も、側溝や平板ブロックなど幾つかのコンクリート二次製品について、鹿児島県が行う土木部発注の工事では、シラスコンクリート二次製品の利用を義務付けている。コンクリート二次製品利用の義務付けが上手くいったのは、年間の使用量がほぼ予測できるため、二次製品工場において一年分を一度に生産するといったバッチ生産が可能なためだ。

シラス積ブロック（間知ブロック）とシラス U 字溝



(出所) 一般社団法人 地域素材利活用協会 HP より

但し、この取り組みにも、まだ多くの課題が残っている。まず、現状では、シラス自体の価格は、ほぼ輸送費のみという状況にもかかわらず、二次製品の価格は通常のコンクリート製品の1.2倍程度という高価なものとなっている。これは、シラスを骨材として利用するために、生コン工場でサイロや骨材置き場の物資を入れ替え、生コン製造装置の調整などをする時間が必要となり、数日間工場が運転できなくなることがコストとして計上されるためだ。もちろん、一年間ずっとシラスを使っているのであれば、このようなコストは発生しない。しかし、現状では県の公共工事だけで一年分の生産設備を使えるわけではないので、この入れ替え作業が発生してしまうのである。

もう一つのコスト要因はシラス粒の形状だ。3(3)でも述べたように、シラスの粒は角ばっており、吸水性が高いため、水を多く使うと強度が弱くなる。この欠点を回避するためには、セメントまたはコンクリート混和材を多量に入れればよいのだが、この追加のセメントと混和材の価格がコストに影響してくるのである。

使用量が増えないのにも理由がある。県の工事の中でもシラスコンクリート製品の利用を義務付けているのは土木部の事業だけであり、例えば農政部が行う工事には利用されない。これは農政部が行う工事の場合には、この工事で益を得る受益者に受益者負担を求めていることから、高い材料を利用することが出来ないことに起因している。このように、様々な制約の中で市場を拡大することに試行錯誤を繰り返しているのが、現在の鹿児島県土木部の状況であった。

現状でも実現していない最大の課題が、土木関係ではなく、建築物へのシラスコンクリートの利用だ。建築物では建築基準法に関わる様々な規制が数多く存在し、個別認定事業を積み重ねてそれをクリアしていく必要がある。しかし、県がコンクリートで建築物を作る機会は多くない。個別認定を蓄積するだけの試験場所が確保できないのである。

ただ、その中でも明るい兆しも見えている。シラスコンクリートの美しさと耐久性だ。シラスコンクリートは、骨材中に細かい粒子が含まれることから、成型された後の製品の表面が滑らかに美しくなるという特徴がある。また、酸性雨などにも強く、温泉地域での利用に向いているという実験結果もある。実際、県内の丸尾地区にある丸尾滝橋の橋脚は、高温

の地熱や強酸性土壌といった厳しい条件を克服するため、基礎部分にシラスコンクリートを使用している。このように、シラスコンクリートは通常のコンクリートでは実現できない、高付加価値コンクリート製品になり得る可能性を持っているのである。

残る問題は、長期耐久性だ。シラスコンクリートが利用され始めて、まだ20年程度だ。コンクリート製品は50年の耐久性を持たなくてはならない。本当の耐久性が試されるのはこれからだ。その意味では、現状ではシラスの全量利用は微々たるものだが、30年後、シラスコンクリートの市場は大きく花開く可能性を有していると言えるだろう。

鹿児島県 丸尾滝橋



(出所)鹿児島県 HP「丸尾滝橋開通」より

(2) シラス瓦の開発

シラスの全量利用による製品の実用化に成功した事例がシラス瓦のケースである。シラス瓦とは、シラスとセメントと水をオムニミキサーで混合してモルタルを作成し、それをプレスマシンで脱水成形したものである。こうした屋根瓦の材料としてのシラス活用に長らく取り組んできたのは、鹿児島県でプレスセメント瓦事業を営む瀬戸口瓦工場である。瀬戸口瓦工場がシラスの屋根瓦への活用に早くから取り組んできた理由は、鹿児島県内のセメント瓦ビジネスを取り巻く環境変化への危機感であった。

瀬戸口瓦工場は、手作りセメント瓦の製造販売を担う会社として昭和28年に創業された。そして創業後60年以上に渡って、瀬戸口瓦工場は地元鹿児島県を中心に、住宅屋根に使用

されるセメント瓦の製造に携わってきた。実のところ、住宅用屋根材に使用される材料はセメントだけではない。屋根材は「粘土系屋根材」「セメント系屋根材」「金属系屋根材など」の3つに分類される。「粘土系屋根材」とは粘土を主原料として混練、成形および高温焼成された瓦である。「セメント系屋根材」には、セメントと砂を主原料として混練、成形および自然養成されたプレスセメント瓦と、セメントと繊維を主原料にした薄い板状の住宅屋根用化粧スレートがある。「金属系屋根材」は鋼板と非鉄金属に分類され、さらに非常に多くの小分類に分かれる。日本全体でみると、「粘土系屋根材」が住宅用屋根材の実に半分近くのシェアを占めている。しかし、近年では「粘土系屋根材」の市場規模が縮小傾向にあるのに対して、「金属系屋根材」が市場規模を拡大しつつある。この背景の一つとして、東日本大震災以降、軽量の「金属系屋根材」に関心が集まりつつあることが考えられている。その一方で、「セメント系屋根材」はシェアで第2位の地位を占めているものの、ほとんどが住宅屋根用化粧スレートであり、プレスセメント瓦の使用比率は屋根材全体の1%程度にまで低下している。

このように日本全体でみると「粘土系屋根材」が主流であるものの、鹿児島県を含む九州地方では台風が多いことから、隙間が少なく雨仕舞が良いセメント瓦が一般的に使用されてきた。実際に、50年前のデータでは、九州全体で932社、鹿児島県では286社のセメント瓦生産業者があったという¹⁵。しかし、他の屋根材の価格破壊などの影響によって、セメント瓦の需要は減少し、現在では、セメント瓦生産業者は九州全体で25社程度、鹿児島県内では10社程度にまで減少してしまった。

鹿児島でセメント瓦製造を営む瀬戸口瓦工場は、こうしたセメント瓦を取り巻く環境変化にいち早く危機感を抱き、1985年頃からセメント瓦の製造技術を活かした新しい屋根材の開発に着手してきた。そこでは、セメント瓦の弱点である重量の軽量化や低コスト化を目的とした新製品開発が進められた。

瀬戸口瓦工場代表取締役の瀬戸口和徳氏によれば、陶器瓦などセメント瓦以外の屋根材の攻勢を受けた結果、屋根材の乱売が始まり、鹿児島県のセメント瓦生産業者の多くが経済的に淘汰されてしまった。そこで、瀬戸口瓦工場としては、他社や他の屋根材との差別化を図るべく、シラスを用いた屋根瓦の開発に着手した。開発当初に製造したシラス瓦は、細骨材の100%をシラスで置換したものであった。しかし、それでは瓦の断面に層間剥離¹⁶が発生してしまい、強度低下につながってしまうため、実用化することは困難であった。実は、瀬戸口瓦工場で初期に製造されたこのシラス瓦は、その後しばらく実用化に向けた開発が

¹⁵ 瀬戸口貴義・瀬戸口和徳（2016）「屋根瓦の材料としてのシラス活用について」『第1回地域コトづくりセンターシンポジウム「鹿児島の資材シラスの建設材料としての有効活用に関するシンポジウム」講演概要集』

¹⁶ モルタルの細骨材（砕砂）を100%シラスに置換したシラスモルタルは、シラス粒子が砕砂より細かすぎて加圧脱水成型時に水や空気が粒子間を抜け難くなるため、モルタル層間に水や空気が薄く皺状に取り残されて、そこが剥離して瓦の内部に隙間が生じる現象。

ストップし、十数年の間、瀬戸口瓦工場にて曝露して屋根に使われたままになっていた。

こうして、十数年間実用化されることなく瀬戸口瓦工場の一角にひっそりと存在していたシラス製瓦は、袖山氏との出会いによって一気に商品化に向けて動き出すこととなる。瀬戸口氏が瓦の試験で鹿児島県工業技術センターを訪れた際、偶然、「十数年前にシラスで瓦を造ったことがある」という話題があがった。それを聞いた袖山氏が実際にシラス瓦を見学し、瀬戸口瓦工場を訪れたところ、シラス瓦が曝露されて屋根に使われているのを目撃する。そして、これを袖山氏が細かく分解して強度試験をしてみたところ、軽くて丈夫かつ吸水率も低いということがわかり、製品化に向けた動きだしが始まったのである。

先述した通り、当時のシラス瓦は細骨材を 100%シラスで置換したものであり、これでは層間剥離が生じてしまうことに問題があった。そこで、袖山氏の指導のもと、細骨材に砕砂を少量添加することで課題の改善を図っていった¹⁷。そして、試作と評価を繰り返したところ、砕砂を 10%以上置換することで層間剥離を抑えられることが判明した。さらに、吸水率や強度、製造工程上の問題などを鑑みると、シラスと砕砂を 80%：20%の比率で配合することや 2 段階の加圧を行うことで屋根材に最適なシラス瓦となることがわかった¹⁸。成形方法としては、瀬戸口瓦工場がプレスセメント瓦製造で培ってきた「加圧脱水成形法」を応用し、これにより、モルタルの余分な水分を除去し、頑丈な瓦に仕上げることが可能になった。こうして、鹿児島県工業技術センターの持つ配合設計や物性評価技術と、瀬戸口瓦工場が持つ加圧脱水成形技術、そして、袖山氏が培ってきたシラス研究の知見と瀬戸口瓦工場の瓦製造の知見と情熱が組み合わさることでシラス瓦は生まれた。このシラス瓦に関しては、瀬戸口瓦工場と鹿児島県が共同で 2006 年 4 月に特許を取得し、平成 21 年度九州地方発明表彰「鹿児島県支部長賞」を受賞することになった。

瀬戸口瓦工場では、和タイプ、洋タイプ、大判タイプの 3 種類のシラス瓦を製造している。このシラス瓦は普通セメント瓦と比較して、かなりの軽量化に成功している。例えば、和タイプでは同型の普通セメント瓦と比べて 17%、洋タイプでは 28%の軽量化を達成している¹⁹。また、吸水率に関しても、シラス瓦は 10%未満の吸水率となっており、JIS 規格に適合している。同じく、強度についても、全ての種類のシラス瓦が JIS 規格を満たしており、特にシラス洋瓦とシラス大判瓦は基準値の 3 倍以上の強度を有している。

シラス大判瓦を用いた屋根

¹⁷ 細骨材に 100%砕砂を使った通常のセメント瓦では層間剥離は発生しない。

¹⁸ 瀬戸口貴義 (2016)「屋根瓦の材料としてのシラス活用について」『第 1 回地域コトづくりセンターシンポジウム「鹿児島の資材シラスの建設材料としての有効活用に関するシンポジウム」講演概要集』

¹⁹ シラス和瓦は 1 枚あたり 2464 g であるのに対して、同型の普通セメント和瓦は 2979 g である。また、シラス洋瓦は 1 枚あたり 3600 g であるのに対して、同型の普通セメント洋瓦は 5040 g である。



(出所) 瀬戸口瓦工場様より提供

こうした特徴を持つシラス瓦は頑丈であるため、地震や台風に強く、こうした自然災害の多い鹿児島では特に評価されている。例えば、その耐風性能の強さから、シラス瓦は与論島の県営住宅や町営住宅、徳之島の公共施設といった台風被害の多い離島でも使用されている。実際に2013年に与論島を襲った大型台風に対してもシラス洋瓦の被害は全くなかった。

このように、シラス瓦は鹿児島県に眠る厄介者のシラスを有効活用することで新たな価値を備えた製品となった。そして、2018年までに、約360棟、約5万㎡の施工実績を獲得している。緑化基盤の事例と同様、地元企業の新製品開発への意欲とシラス活用への執念が袖山氏を中心とする鹿児島県工業技術センターの技術と結び付くことで、シラスの工業資源利用の成功事例となった。

瀬戸口瓦工場内でのシラス瓦製造の様子



(出所)瀬戸口瓦工場様より提供

(3) シラスの全量活用に向けた新たな可能性～シラスの分級利用に向けた取り組み

緑化基盤やシラス瓦など、シラス活用の成功事例が生まれてきたものの、シラスの資源利用を普及させるためには、より汎用的にシラスを工業資源利用できなければ、シラス活用の先行きを見通すことが出来ない。長年シラス研究に携わってきた鹿児島県工業技術センターの袖山氏や、袖山氏を支援してきた株式会社プリンシプルの東社長らは、生コンクリートの砂代替にシラスを使った大量需要を計画していたが、ことごとくシラスが JIS 砂として不適合という壁に阻まれ、こうした状態が改善されないでいることに危機感を募らせていた。

こうした中で、東社長は「シラスから結晶質の JIS 砂だけを取り出すことができないか」という相談を袖山氏に持ち掛けた。これまでは、シラスをそのままの状態ですべて工業資源利用するという発想のもとで研究が進められてきた。この発想を根本的に転換して、シラスを成分ごとに分離して全量活用できないかという発想に至ったのである。この話を受けた袖山氏は、微粒子分離工学の権威である九州大学の平島剛教授のもとを訪ねた。平島教授の研究室にあるエアテーブルを用いてシラスの比重選別を試してみたいと考えたのである。エアテーブルとは、浮遊速度差に加えて振動流動層での比重選別を利用した装置であり、穀物や産業廃棄物の選別などに用いられている装置である。しかし、大学の精密機械の立ち並ぶ研究

室の一角で待望のエアテーブルと対面したものの、微粉の多いシラスは粉塵が飛散しやすく PC 等を壊す危険性があり、エアテーブルで実験したいと切り出すことができなかった。こうして一度は計画が行き詰まりかけたものの、袖山氏は幸運に恵まれることとなる。失意の中で、袖山氏が福岡にある知り合いの商社のもとを訪れたところ、偶然にもその商社でエアテーブルを取り扱っていることがわかった。この商社の仲介によって、袖山氏らはエアテーブルを用いたシラスの比重選別に関する実験を行うことが可能になったのである。

実は、エアテーブルに出会う前までは、袖山氏らは気流によってシラスを結晶鉱物と軽石に分離する実験を行ってきた。しかし、シラスは粒度分布が広すぎることから、こうした気流によるシラスの分離は困難だったのである。これに対して、エアテーブルによる比重選別の原理は、多孔板の直径 1mm 程度の無数の孔に向けて下から気流を通し、流動状態を作り出して滞留時間を長くすることで比重分離し易くするというものである。細かな火山ガラス質は、気流で噴き上げてサイクロンで回収する。また、鋸刃状の多孔板を傾けて斜め上に押し出す様に回転振動させることで、斜め上方向へ結晶質を連続して分離回収することを可能としている。しかし、このエアテーブルは元々米のみ殻やコーヒー豆等の食品や産廃の比重選別などに使用されてきたもので、粒度分布が広く比重の異なる多種類の鉱物からなる火山噴出物の鉱物選別に関する報告例はなかった²⁰。

そこで、エアテーブルと出会った袖山氏らは、実際にエアテーブルを用いて試行錯誤を繰り返しながら、シラスの比重分離に関する実験を繰り返した。そして、実験を繰り返すうちに、ついにシラスから 32% ほどの砂を取り出すことに成功した。実際には、シラスの成分のうち 40% ほどが砂であり、このうちの 8 割近くを比重分離して取り出すことができるようになったということである。実際に分離した砂は JIS 規定に合う粒度分布と比重であり、吸水率も低いことがわかった。

これに加えて、エアテーブルを用いることで、多孔板の斜め下方向へ軽石も分離することができた。実は、鹿児島には軽石産業があり、軽石を専門に扱っている業者も存在する。これらの業者は、学校のグラウンドやゴルフ場のバンカー砂などに軽石を納めている。最盛期では 14 万トン近い出荷量があった鹿児島の軽石業者であるものの、近年では取扱量が減少し、4 万トン近くまで減ってしまったという。これらの業者は、シラス台地表層の入戸火砕流のシラスを除去して、その下にある大隅降下軽石層から軽石を採掘して取り扱っている。この軽石層には軽石と軽石以外の石が混ざり合っているため、軽石業者としても良い軽石を採掘できずに困っていた。従来、軽石業者は篩分けすることで、軽石層から軽石のみを取り出すという手法に頼らざるを得なかった。しかし、袖山氏らが開発したエアテーブルによるシラスの比重選別により軽石と石等を分離できることがわかったので、この技術を軽石産業に応用することもできるのではないかと袖山氏らは考えている。

分離した成分の個別市場獲得も開始している。まず直接的に成功したのは、前述のシラス

²⁰ 袖山研一他 (2017) 「乾式比重選別と粉砕によるシラスの建設材料への全量活用」
『Journal of Society of Materials Science, Japan』 Vol166, No. 8, pp. 574-581, Aug. 2017

バルーン原料となる火山ガラス質である。この分級システムで、これまで特定の地域の「淘汰されたシラス」でしか確保できなかったシラスバルーン原料を、普通シラスの中から確保することが可能となった。さらに、次のステップとして、プリンシプルの東社長が行ったのが、シラス中に 50~60%程度含まれる粒径 100 μ m 前後の火山ガラス質を粉砕した火山ガラス微粉末のコンクリート用混和材としての JIS 指定だ。2017 年に経済産業省が実施している「新市場創造型標準化制度」に東社長が応募し、JIS 化提案が採択された。この火山ガラス微粉末については、競合品の一つとして全量輸入されている高性能で高価な混和材のシリカフェームがあるが、同等性能の純国産の混和材は無いに等しく、国内にビジネス上のライバルも存在しない。火山ガラス微粉末は、輸入品より安価に供給することを目指しており、フライアッシュレベルまで各種性能の混和材を作り分け可能であり、コンクリートの強度や耐久性を向上させるほか、減水剤などの化学混和剤の使用量を減らせる、白色粉末であるので生コンやコンクリート二次製品の地肌が白くなるなどのメリットがある。JIS 登録された場合、高強度から普通強度のコンクリート用混和材として新市場を開拓し、純国産の高性能混和材としての国内市場を独占できる可能性を持っている。

このように、シラスを比重選別することで、これまで混ざり合うことで相互に良さを相殺してしまっていたシラスの組成鉱物を別々に利用する道が開かれた。これは、厄介者のシラスの全量活用に向けた革新的な技術進歩と言える。まだシラスの本格的な全量活用は道半ばではあるものの、今回の技術進歩をきっかけに、シラスの用途が大いに広がる可能性が生まれた。

シラス分級装置



(出所) 鹿児島県工業技術センター内にて 2018/9/19 に筆者撮影

分級されたシラス



(出所)株式会社プリンシプル提供サンプルを筆者撮影

6. 地域イノベーション創出に向けた示唆と今後の課題および解決策

本ケースでは、長年に渡って研究と試行錯誤が続けられつつも、なかなか実用化に至ってこなかったシラスの工業資源利用が、近年において大きく前進していることがわかった。最後に、地域イノベーションの創出に向けて本事例から得られる示唆をまとめることとする。合わせて、本事例が抱える今後の課題について整理し、その解決策についての提言を行う。

(1) 本事例から得られる示唆

まず、本事例を通じて得られる示唆として、地域イノベーションの創出にあたっては、中核となる人・組織・研究拠点の存在が欠かせないことがわかる。地域に根差した資源を活用してのイノベーション創出には大変な労力と忍耐が必要となる。今回取り上げた鹿児島県におけるシラスの活用においても、100年近い研究の歴史が積み重ねられており、地元住民や企業もシラス台地との悪戦苦闘を辛抱強く続けてきた。こうした地域においてイノベーションを創出するには、それを推進する上で中核となる人・組織・研究拠点の存在が欠かせない。本事例では、鹿児島県工業技術センター及び袖山氏がその中核的存在であったと言えるだろう。中核的存在とは、言い換えれば人的ネットワークのハブ的存在として、イノベ

ションを推進する中心的な存在であることを指す。これは、単に関連する知識や技術が集積している場所という意味合いにとどまらず、関係者同士を結び付け、地域イノベーション創出に向けたアイデアを生み出す上で中心となる場所である。さらには、鹿児島県工業技術センターだけにとどまらず、袖山氏の母校でもある地元鹿児島県の鹿児島大学工学部応用化学科のネットワークも重要である。実は、袖山氏によれば、東京や関西などで民間企業に就職していた鹿児島大学工学部の卒業生が、その後定年を迎えるなどして地元鹿児島に戻り、鹿児島県工業技術センターでの研究を手伝うことも多いという。本事例において直接は登場しないものの、こうした地元の研究機関や教育機関が輩出した人材のネットワークは、地域イノベーションを創出していく上で強力な後押しとなることがわかる。

合わせて、地域イノベーションの創出には、これを後押しする協力者の存在も不可欠である。本事例では、多くの地元の民間企業従事者が袖山氏と協力してシラス台地の有効活用に向けた新手法の開発に取り組んでいた。もちろん、こうした協力者の中には、プリンシプルの東社長のように地元鹿児島の産業発展への情熱から袖山氏の研究を支援し協力する人々も存在する。また、本事例で登場した人々全員が、地元鹿児島のシラスを活かした物作りへの漲る情熱を持っていることは言うまでもない。しかし、それだけではなく、経営環境の変化によって危機的な状況に陥った地元の民間企業の方達が各々のビジネスに課題を抱え、成長に向けた切り札としてシラスを使いたいという強い必要性に迫られたということもまた事実である。本事例でも、ストーンワークスの上中社長や瀬戸口瓦工場の瀬戸口社長は、自社のビジネスの先行きへの危機感からシラス活用によって活路を見出そうとしていたことが伺える。袖山氏の研究の支援者でもあり、またシラス活用に活路を見出そうとするビジネスの当事者でもある民間企業の方々の熱意に加え、資金や労働力といった民間企業のリソースの投入が無ければ、地域におけるイノベーションは容易に進まないであろう。本事例では、自身のビジネスに課題を抱えた地元企業が袖山氏と出会うことでシラスを活用したビジネスの打開策を見出し、それが成果に繋がっていく姿を見て取れる。地域イノベーションの推進役となる中核人物や研究拠点と、そうした研究にビジネスの当事者として強くコミットする企業が結び付くことで、地域イノベーションは前進していくのである。

(2) 地域イノベーションの普及に向けた今後の課題と解決策

これまで未利用資源として大量に眠っていたシラスを有効活用して工業的利用に応用することで、鹿児島では有力なイノベーションが起ころつつある。シラスの工業資源利用が本格的に普及すれば、鹿児島県の地域経済の活性化に資することはもとより、日本全国、さらには世界中の火山地帯で応用可能な技術として、環境面でも経済面でも世界規模でインパクトを与えることができる可能性がある。本稿で述べたように、実際にシラスを工業利用した製品も実用化されてきている中で、今後のシラスの有効利用の進展に向けてはいかなる障壁があるのだろうか。

シラスの工業資源利用がより普及するためには、未だ根深い課題が存在している。そこに

は、二つの大きな課題がある。一つは、シラスを用いた工業製品の JIS 化の問題である。シラスを工業製品として汎用的に幅広く利用する方法として、コンクリートへの利用が有力であり、先述の通り、シラスコンクリートは既に誕生している。しかし、このシラスコンクリートは JIS の生コンクリートの規格を満たすことが出来ていない。実は鹿児島県では、県の土木部発注の工事ではシラス製の二次製品の使用を義務付けるなどして、シラス製品の利用と普及に努めている。しかし、JIS 規格の適用外であることから、シラスコンクリートを建造物に利用するためには、大臣認定を逐一取得する必要がある。大臣認定の取得には当然手間がかかるため、それではシラスの利用用途が極端に限定されてしまうのが実情である。

これに加えて、2つ目の問題として、シラスを用いることのコストの問題から、製造現場がシラスの利用を歓迎していないという問題がある。例えば、生コンクリート工場ではシラスと砂が混ざることが嫌う。それは、シラスが混ざることによって自動計量機が詰まってしまう恐れがあり、絶えず人が見張っている必要が生じるなどの負荷やコストが発生するためである。シラスは形が悪い上に、軽石や粘土質なども含まれている。そのため、生コンクリート工場では、シラスと普通の砂を混ぜて使用することに大きな抵抗が発生するのである。このように、シラスに含まれる軽石や砂や火山ガラスは各々単体で見れば価値があるにも関わらず、それらが混ざり合ってしまうことで相互の価値が相殺されてしまい、結果として JIS 規格を満たせず、製造現場でも歓迎されない厄介者というレッテルを貼られてしまうのである。煎じ詰めれば、シラスを使用することのコストが高いままであるがゆえに、民間業者のシラス使用へのインセンティブは高まらず、そのためシラスの JIS 規格化や規制の変更に向けた大きな動きも起こりにくい社会構造にあるということが言える。こうした社会構造が変わらない限り、シラスの工業的利用が広範に普及することは難しい。

では、こうしたシラスを巡る社会的な構造を変えることは出来るのか。本章では3つの点から、シラス工業利用の普及に向けた可能性を指摘する。1 点目は、砂利の枯渇によりシラスコストが相対的に低下する可能性である。現在、砂利の枯渇は重要な社会問題となっている²¹。コンクリートの建築資材として砂は欠かせないものであるものの、こうした砂の乱用と世界的な砂不足については、世界でも注目が集まっている。今後、砂不足問題がさらに深刻化し、コンクリートの原料としての砂の代替品探しが本格化すれば、シラスがその代替品として脚光を浴びる可能性は大いにある。そして、砂の価格が高騰し、相対的にシラス利用のコストが低下すれば、シラスの利用は進展するものと考えられる。

2 点目は、シラスの原料使用のための専用工場の建設に向けた補助政策である。シラスをコンクリートの原料に利用する上での最大のボトルネックは、通常の原料砂とシラスを入れ替える際に発生する負荷である。実は、材料費としてのみを比較すると、シラスは海砂よりも安いという。しかし、上述の通り、コンクリート製造の際に海砂とシラスを原料として

²¹ たとえば <https://courrier.jp/news/archives/98636/> 2019/3/24 アクセス
他にも砂利枯渇に関する多くの記事が存在する。

使い分けるとなると、原料を入れ替える際に膨大な負荷が発生してしまう。シラスの工業利用を政策的に後押ししていくためには、こうしたコストの問題に対して何らかのてこ入れを行う必要がある。ところが、シラスを工業原料として使用することに対して、継続的に補助金などで政策的に支援するとなると、財源を鑑みても現実的とは言えない。そこで、いっそうのこと、シラスのみを原料として使用する専門工場を建設すること自体を補助金などによって政策的に支援するという手段は考えられる。シラスの工業利用、とりわけコンクリート原料としての利用の利便性の認知度が高まることで、JIS 規格の変更などの動きも起こり得る可能性がある。

3 つ目は環境問題の打ち出しを通じたシラスの工業利用普及へのアプローチである。CO₂の排出を原因とする地球温暖化問題は根本的な解決の糸口が見えないまま、世界中の注目が集まるトピックの一つであり続けている。例えば、セメント製造に目を向ければ、セメントを製造する過程においては一定の CO₂ が発生する。実際に、日本鐵鋼スラグ協会によれば、日本のセメント産業は、温室効果ガスの排出量の約 4% に相当する CO₂ を排出しているとしている²²。これは、セメント製造に用いる化石系エネルギーの使用によるものである²³。もちろん、セメント産業としてもこうした二酸化炭素排出量の削減に努めているものの、コンクリート原材料としてのセメントの代替としてのシラス利用が普及すれば、抜本的な CO₂ 排出量の削減に寄与することができる。環境問題の解決という切り口からも、シラスの工業利用を政策的にアピールしていくことは、今後政策担当者に求められる。

7. おわりに

鹿児島県に眠る膨大なシラスの工業的利用に向けた取り組みは、長年の試行錯誤の歴史を経ても、未だ道半ばにあるものと言わざるを得ないだろう。しかし、そのイノベーションの芽はゆっくりではあるものの、着実に大きく育ってきている。そして、近年は様々なシラス製品が実用化され、地元企業の経営危機を救ってきたのもまた事実である。こうした鹿児島におけるシラス活用が社会的に認知されれば、日本全国、そして世界の火山地帯に応用可能なものとなる。本事例が一地域イノベーションから、世界的なイノベーションへと大きく飛躍してくれることを願ってやまない。

²² 鐵鋼スラグ協会 <http://www.slg.jp/activity/ondanka.html> 2019/3/24 アクセス

²³ 一般社団法人セメント協会
<http://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan02/index.html> 2019/3/24 アクセス

参考文献

- 上菌剛, 尾前宏, 袖山研一他 (2008) 「シラスバルーンを芯材とした直径約 100 μm マイクロメタルバルーンの開発」 J. Soc. Inorg. Mater. Japan, 15, pp146-154.
- 大木公彦 (2011) 「シラスを知り・活かす」 『Nature of Kagoshima』 Vol. 37, Mar. 2011.
- 大迫博人 (2005) 「やっかいものを宝の山に一シラスを商品化したストーンワークス」 『日本には建設業が必要です』 米田雅子、地方建設記者の会編集.
- 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) P12.
- 鹿児島県工業技術センター (2011) 「シラス利用の新しい展開」 <https://www.kagoshima-it.go.jp/pdf/shirasu/pdf/shirasu70.pdf>.
- 鹿児島県工業技術センター研究成果発表会予稿集 (2007) 「火山噴出物を用いた緑化基盤の開発 2. 研究の概要」.
- 財団法人建設業振興基金 (2005) 「シラス (火砕流堆積物) をコンクリート用建築資材として開発」 『新分野進出事例集』.
- 瀬戸口貴義・瀬戸口和徳 (2016) 「屋根瓦の材料としてのシラス活用について」 『第 1 回地域コトづくりセンターシンポジウム「鹿児島の資材シラスの建設材料としての有効活用に関するシンポジウム」講演概要集』.
- 袖山研一 (2010) 「地域資源の利用技術の開発と地域産業の振興」セラミックス Vol. 45, No. 9, P761.
- 袖山研一・目義雄 (2006) 「媒体流動層によるマイクロガラスバルーン製造技術」, 材料の科学と工学, Vol. 43, No. 1, pp25-25.
- 袖山研一・瀬知啓久・新村孝善・吉村幸雄・瀬戸口和徳 (2008) 「火山噴出物を用いた軽量断熱シラス瓦の開発」 『鹿児島県工業技術センター』 No. 22.
- 袖山研一・友寄篤・野口貴文・東和朗 (2017) 「乾式比重選別と粉砕によるシラスの建設材料への全量活用」 『Journal of Society of Materials Science, Japan』 Vol66, No. 8, pp. 574-581, Aug. 2017.
- 袖山研一・友寄篤・野口貴文・東和朗 (2018) 「シラスを乾式比重選別・粉砕した火山ガラス微粉末からなるコンクリート用混和材の開発」 『Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan』 25, pp51-57.
- 内務省大阪土木出張所 (1928) 「ぼるとらんど, せめんと長期試験報告」.
- 日経産業新聞 (2002) 「鹿児島県の” 迷惑物 ” 活用、シラスを緑化基盤・瓦に」 『日経産業新聞』 2002 年 12 月 30 日 P12.
- 日本経済新聞 (2006) 「鹿児島企業、技で売り込み」 『日本経済新聞』 2006 年 2 月 4 日日本経済新聞地方経済面 P14.
- 福島彌六・松本榮 (1943) 「石灰或はセメント凝結材として本邦産岩石風化物に関する調査及び試験 (第 3 報)」 『火山灰砂「シラス」に就いて (鹿児島県)』 第 51 集, pp416-422.

クーリエ・ジャポン HP <https://courrier.jp/news/archives/98636/> 2019/3/24 アクセス

鉄鋼スラグ協会 HP <http://www.slg.jp/activity/ondanka.html> 2019/3/24 アクセス

一般社団法人セメント協会 HP

<http://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan02/index.html> 2019/3/24 アクセス

謝辞

本ケースは2018年9月19日に袖山研一氏（鹿児島県工業技術センター）、東和朗氏（株式会社プリンシプル）、瀬戸口和徳氏、瀬戸口貴義氏（有限会社瀬戸口瓦工場）に対して、2018年12月19日に平川英貴氏、若松祐介氏（鹿児島県土木部監理課技術管理室）に対して行った聞き取り調査の結果、および、鹿児島県工業技術センター、岩崎建材シラス採掘所、瀬戸口瓦工場の見学、並びに、新聞記事、発表資料を含む二次資料に基づき作成した。また、科学的な背景についても袖山研一氏にご指導を頂いた。本ケースは各聞き取り調査及び袖山氏からご提供頂いた科学的な情報や論文等の内容をベースとしつつ、地域イノベーション創出のプロセスに焦点を当てたものである。ご多忙にも関わらず調査にご協力を頂いた各氏にこの場を借りて厚く御礼申し上げたい。なお、残された誤りは全て筆者の責めに帰するものである。