

ソーダ石灰珪酸塩ガラスに用いる天然珪砂の起源

—愛知県下における珪砂鉱床の形成過程について—

日本板硝子(株) 研究開発部

野見山 邦 洋

Origin of silica sand for manufacturing of soda-lime-silicate glass

—Formation process of silica sand deposit in Aich prefecture, Japan—

Kunihiro Nomiyama

Research and development NIPPON SHEET GLASS CO., LTD.

1. はじめに

板ガラスやビンガラス等の主原料として用いられる珪砂（石英砂）は、その採掘あるいは生産加工（選鉱）場所に地域的な遍在性があり、ガラスメーカーに勤務していても、直接触れられる機会は限られている。しかしながら、珪砂は鉱産資源に乏しい日本において、今も工業用原料としての供給能力を有し、現役の鉱山が複数残されている貴重な資源である。この珪砂について、鉱床（有用な鉱物の濃集部）の形成過程を知ることが、その特性（品位）を把握することのみならず、資源の有限性を理解し、効率的な利用を考える上でも重要である。しかし、珪砂鉱床は、全世界に多数存在しているため、これを一括して論じることは極めて困難である。さらに、日本の鉱床は、海外のそれとは地質学的あるいは鉱床学的に異なる特徴を有する。そのため、本誌においては、その対象を日本国内に限定し、多くの先人達の研究成果に基づき、珪砂鉱床の形成過程の一端を紹介する。

2. 珪砂とは？

珪砂は、「ケイシャ」あるいは「ケイサ」と呼称される。地学辞典¹⁾には、「珪砂鉱床 (Silica sand deposit)」を「砂岩あるいはチャートの熱変成した珪岩などの風化物、第三紀や第四紀の未固結の砂岩、砂質岩、海浜砂や砂丘堆積物などがある」と定義されている。また、吉田²⁾においては、「珪酸分 (SiO_2) に富んだ石英砂の総称」を珪砂としていることから、「石英を主構成鉱物とした未固結の風化物堆積層」が珪砂鉱床と解釈することができる。

海外で採掘される珪砂は、主に現世（第四紀）において堆積した海浜砂あるいは砂丘堆積物を対象とする。しかし、日本国内における珪砂の主要鉱山は、第三紀後期（新第三紀）に堆積した未固結の砂岩を採掘対象としている。もちろん、国内にも島根県江津市北東部のように、砂丘堆積物を採取している地域、あるいは愛知県の知多半島のように、海底に堆積している珪砂を採取していた地域もあるが、その産出量は主要鉱山と比して極めて少ない。

先に示した国内の珪砂鉱床が形成された新第三紀とは、図1に示す地質年代層序によると、今から約2,303万年前～258万年前に至る期間に該当する。つまり、珪砂は新生代後半におい

〒664-8520 兵庫県伊丹市鴻池2丁目13番12号

TEL 072-781-0081

FAX 072-781-9097

E-mail: kunihiro.nomiyama@nsg.com

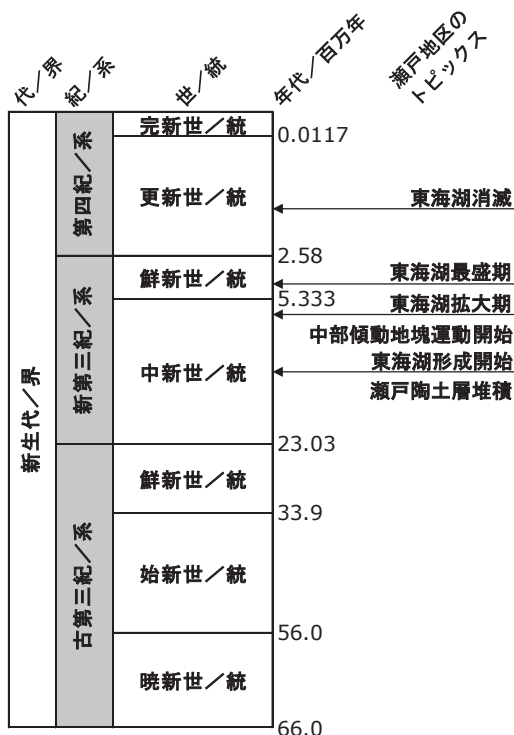


図1 新生代における年代層序（日本地質学会が作成した国際年代層序表2015年度版³⁾を筆者により抜粋、加筆および簡略化）

で、哺乳類の繁栄と共に形成された資源と言える。

また、国内における珪砂（珪石）は、鉱業法に定められた「法定鉱物（41種）」の中に含まれている。そのため、同法に定められた権限（鉱業権あるいは試掘権等）を取得しなければ、土地を所有していても試掘すら許可されず、国家が厳密に管理している鉱産資源としての側面を有する。国内では、新第三紀に堆積した珪砂層がこれに該当する。一方、主に海岸近傍で採取されている珪砂（砂丘堆積物、海浜砂あるいは海底砂等）の大部分は、「砂利採取法」により管理されることから、鉱業法で管理される珪砂とは異なる扱いがなされる。

3. 珪砂の分類と国内産地

珪砂鉱床の位置（地形）による分類には、山砂、川砂、海浜砂あるいは海底砂等がある。例

えば、先に述べた新第三紀に形成された国内の珪砂鉱床は山砂に分類され、山田ほか⁴⁾により報告されている野間砂は海底砂に該当する。

珪砂鉱床の成因による分類では、海成、河（淡水）成あるいは風成等と分類できる。例を挙げると、愛知県瀬戸市中央部～豊田市西部（以下「瀬戸地区」）に位置する珪砂鉱床群は河成とされ^{5)・6)}、島根県大田市温泉津町三子山周辺（以下「温泉津地区」）の珪砂鉱床は風成^{7)・8)}とされる。一方、天然珪砂および人造珪砂とする分類も可能である。天然珪砂は、鉱山、砂丘、海浜あるいは海底から採掘（採取）される珪砂である。人造珪砂とは、珪石あるいはペグマタイト等の石英を多く含む岩石を粉碎して製造される珪砂がそれに該当する。

国内において、ガラス原料として珪砂を採掘している地域は、瀬戸地区および温泉津地区に集中しているが、珪砂は、この二つの地区以外にも図2に示すように、山形県、福島県、岐阜県、三重県、山口県あるいは福岡県等々においても産出する（あるいは産出した）。しかし、先に示した二大産地（瀬戸地区および温泉津地区）以外は、資源の枯渇、供給能力の低下、消費地との遠隔化、需要あるいは品位の変化等の



図2 国内における珪砂の主な産地（井上ほか⁸⁾・「けい砂」編集委員会⁹⁾・須藤・平野¹⁰⁾・原田¹¹⁾・須藤¹²⁾の情報を筆者により整理および簡略化）

課題が解消できないことから、現在では多くの地域において採掘が行われなくなった。

4. 珪砂鉱床の形成（瀬戸地区の場合）

本章では、国内における代表的な珪砂の供給地である瀬戸地区に注目して、珪砂鉱床の形成過程を述べる。

瀬戸地区に胚胎している珪砂層は、地質学的には瀬戸層群の最下部層に相当する瀬戸陶土層（Seto porcelain clay formation）に含まれる。瀬戸陶土層を含む瀬戸層群は、瀬戸地区のみならず、愛知県南部の知多半島では常滑層群として、三重県では奄芸層群として分布しており、東海地区の広範な地域において堆積した地層であることが明らかとなっている（これらを「東海層群」と総称する）。このように広範な地域に同層が分布している理由は、図1および図3に示すように、中新世後期（約1,150万年前）～更新世前期（約180万年前）にかけ、東海湖と称する巨大な淡水湖が、現在の伊勢湾を中心とした地域に存在し、この湖沼あるいは周囲の氾濫原に流れ込む河川が運搬してきた碎屑性粒子が堆積し、形成されたことによる（堆積後の環境を「東海堆積盆地」と称する）。その中で

も、珪砂層を含む瀬戸陶土層は、中新世後期の東海湖の形成開始前に、その堆積が始まったとされる。堆積が始まった頃の瀬戸地区は、温暖多雨気候の中で、基盤岩である花崗岩の風化が進行し「サバ」が形成され、脆くなった花崗岩表層に小規模な陥没地が複数出現した。その小陥没地に流入および堆積した碎屑性粒子は、牧野・中山¹¹⁾によると、図3-aに示すように瀬戸地区の東側に位置する白亜紀花崗岩類および領家変成岩類等の岩体から供給されたと考えられている。

また、図3-a~cに示すように、愛知県南東部に位置する領家変成岩体の南部には、珪線石を含む岩相があり、この地域からは、碎屑性の珪線石を含む粒子が瀬戸地区に供給された。珪線石（sillimanite: Al_2SiO_5 ）は、ガラス原料において難溶性鉱物として知られている。そのため、珪線石は、ガラスメーカーにおいて、溶解性の評価あるいは含有量の管理が行われる鉱物でもある。松原・横田¹⁴⁾および芝崎ほか¹⁵⁾によると、珪線石の含有量は、瀬戸陶土層中において変化し、最下部の珪砂層が最も多く、その上位の蛙目粘土層（石英粒子を含む粘土層）には含まれていない。これは、瀬戸陶土層の堆積時

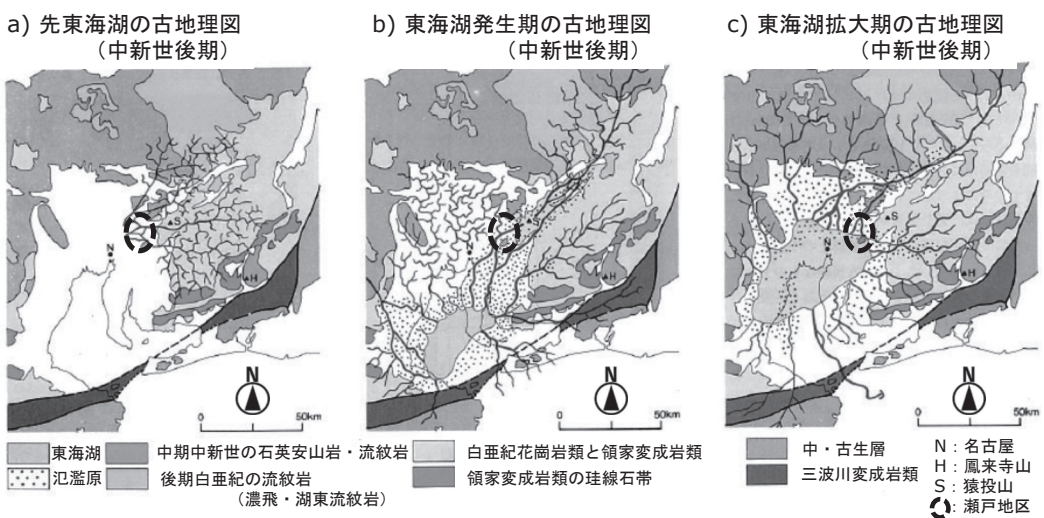


図3 東海湖の形成過程（推定）および堆積物の流入経路と起源（牧野・中山¹³⁾に筆者により一部加筆）

期により、瀬戸地区へ碎屑性粒子を供給する主要岩体が異なる（変化した）ことを示しているとされる。そして、図3-bに示す中新世末期には、周囲に氾濫原を有した東海湖が形成され、図3-cに示す鮮新世前期には、そのピークを迎える。その後、東海湖は南部と東部から干

上がり、更新世前期には消滅したとされる。このように、瀬戸地区の層序が形成され、その中でも珪砂層は、東海湖の形成開始前夜に堆積したと考えられている。その起源は、珪砂中の珪線石の含有量から、現在の愛知県東南部に分布する花崗岩類および変成岩類とされ、図3-a-cに示すように、これらの岩体から河川を通じて供給された碎屑性粒子が珪砂の母体である。そして、これらの岩体は、ほぼ現在の愛知県内に分布している。このことは、瀬戸地区の珪砂の起源、碎屑性粒子の運搬および堆積作用の全ての過程が、現在の愛知県内で行われた同県固有の天然資源であることを示している。

瀬戸陶土層における層序の内訳は、図4に示すように、最下部に珪砂層、その上位に蛙目粘土、再び珪砂層、木節粘土、そして、亜炭層あるいは木節粘土層等が互層を形成し、矢田川累層がその上位を占める。瀬戸陶土層の下位には、基盤岩である花崗岩があり、同層と花崗岩の間には、先に触れた小陥没地の形成に関与したとされる「サバ（花崗岩の風化物）」が認められる。この「サバ（青味を呈していることから「青サバ」とも称する）」と矢田川累層の間、つまり瀬戸陶土層の層厚は約40mである。

一方、瀬戸地区に珪砂層が集中（露出）している理由は、瀬戸地区を含む濃尾平野の形成史と深く関係している。桑原¹⁷⁾による濃尾平野の

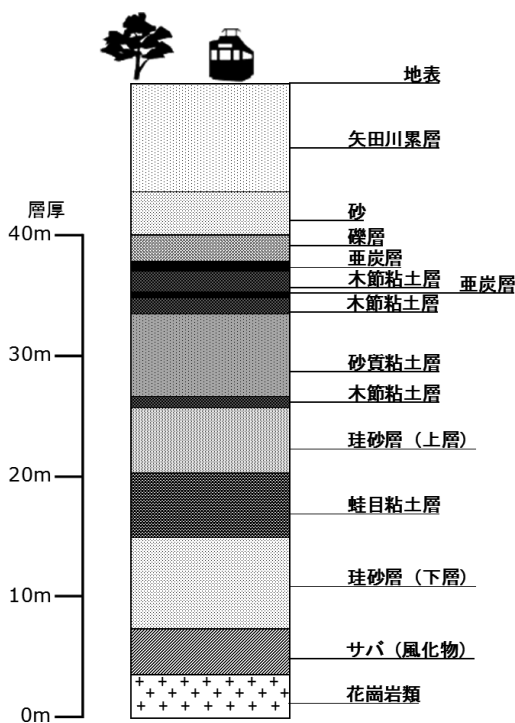


図4 瀬戸陶土層の模式柱状図（下坂ほか¹⁶⁾に筆者により簡略化）

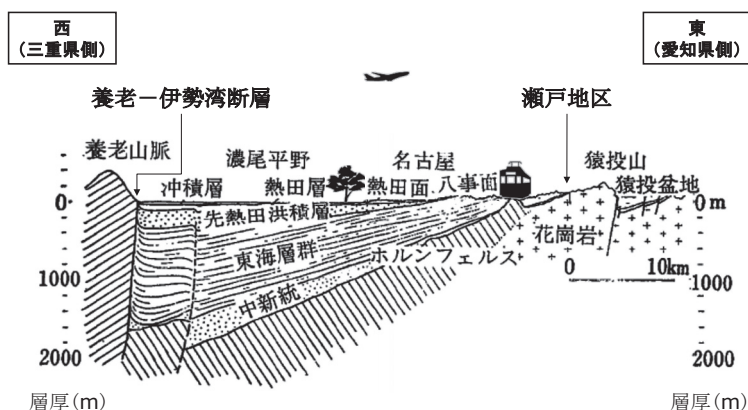


図5 濃尾平野地下における地質構造の模式図（桑原¹⁷⁾に筆者により一部加筆）

地下の模式断面図を図5に示す。瀬戸地区は、図5の東部にあたる花崗岩類と東海層群（瀬戸層群）が地表において接している地域に位置する。一方、東海層群（瀬戸層群）は、図5の西側（三重県側）へ向かって沈降し層厚も増している。これは、養老－伊勢湾断層の東側（愛知県側）が激しく沈降し、流入する碎屑性粒子や土砂が、厚く堆積したことによるものとされる。このように濃尾平野（およびその周辺）の地下は、東部と比して西部の沈降（傾動）が激しく、図5に示す地質構造が形成された。桑原¹⁸⁾によると、瀬戸陶土層の堆積後に始まるこの現象を「中部傾動地塊運動」と称し、その後には生じる「濃尾傾動地塊運動」と併せて濃尾平野の形成に多大な影響を及ぼした。この傾動運動（tilting）*による激しい沈降を免れた瀬戸地区にのみ、瀬戸陶土層が地表面近くに胚胎し、同層の最下部に位置する珪砂鉱床が、我々の手の届く場所に残されたと考えられている。

このように、瀬戸地区が日本有数の珪砂の産地であり、現在もガラス業界を始め、様々な工業製品に同地区産の珪砂が利用されているのは、約1,150万年前から始まる地球の活動の一端が、この地域で重なったことに他ならない。瀬戸地区の珪砂鉱床と同じ成立の珪砂鉱床は、管見の限りにおいて、国内あるいは海外においても存在しない。つまり、瀬戸地区の珪砂鉱床は、複数の地殻変動、風化浸食作用あるいは堆積作用等が本地区において重なり合い、その最大公約数として生じた希少な鉱床としての側面を有する。この側面（希少性）を理解することで、瀬戸地区の資源を大切に利用していくモチベーションにしたいと筆者は考えている。

珪砂に限らず、天然資源の効率的な利用を考慮する上で、鉱床の形成過程を理解しておくことは、今後より重要になると思われる。これは、瀬戸地区のみならず、他の地域（あるいは海外）においても同様である。瀬戸地区と同様に、一つの鉱山（あるいは一つの切羽）において、珪砂および粘土が同時に採掘されるような

場合は、選鉱工程を経て、それぞれの原料の用途に応じて、その純度が高められる。そして、ガラス原料として用いられない資源（副産物）は、異なる製品の原料として利用されることも少なくない。このように、天然資源とは、採掘（採取）するだけでなく、選鉱（加工）や品質管理の工程を経て、初めて人が利用可能な工業用原料となる。これらの工程を理解することもまた、鉱床の形成過程の理解と同様に重要である。さらには、これまで利用されてこなかった資源について、新たな知見に基づいた利用法が開発されれば、その利用の幅も広がる。それ故に、珪砂を含む天然資源の効率的な利用法の開発が促進され、今後も国内資源の活用が継続されることに期待する。

※傾動運動：地塊が断層面に沿って傾き、一方は急斜面の崖面を、他方は緩やかな斜面を形成する運動。

5. まとめ

本誌では、珪砂鉱床の国内分布および瀬戸地区における珪砂鉱床の形成過程を概説した。それらの項目を以下に整理する。

- 1) 海外で産出する珪砂の多くは、現世（第四紀）に堆積した海浜砂あるいは砂丘堆積物等である。一方、日本国内における、珪砂の主な鉱山は、第三紀後期（新第三紀）に堆積した山砂を採掘対象としている。
- 2) 新第三紀に堆積した国内の主要珪砂鉱床は、瀬戸地区（愛知県）および温泉津地区（島根県）に集中している。両地区が、国内のガラス用珪砂の主要鉱山と重なる。
- 3) 瀬戸陶土層に含まれる珪砂層が、瀬戸地区に集中している理由は、現在の濃尾平野に相当する地域の傾動地塊運動により、その西部（現三重県側）が断層の影響により大きく沈降することで、地表面への露出箇所が瀬戸地区（およびその周辺）に限られたためである。
- 4) 珪砂鉱床を形成する碎屑性粒子（風化珪

物)は、瀬戸地区東方の現愛知県内に分布する花崗岩類および領家変成岩類等が起源とされ、これらの岩体の中でも、堆積時期あるいは堆積場所毎に供給源が変化したと考えられている。

謝辞

本誌への執筆を薦めて頂いた日本板硝子株式会社 研究開発部の長嶋廉仁氏、本誌への投稿の機会を与えて頂いた日本板硝子株式会社 技術研究所の服部明彦所長、そして、本稿の査読を頂き、貴重な助言を賜った日本板硝子株式会社 研究開発部の酒井千尋博士に、この場を借りて心よりお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 地学団体研究会・地学辞典編集委員会編集(1986): 増補改訂版地学辞典改訂版第5刷, 平凡社.
- 2) 吉田國夫(1978): 最新版鉱産物の知識と取引(第9版), 丸善株式会社.
- 3) 日本地質学会(2015): 日本語版国際年代層序表(2015年度版).
- 4) 山田正春・小泉久直・井上秀雄(1965): 愛知県下の鋳型用珪砂鉱床(知多・篠岡 渥美地区), 地質調査所月報, 第16巻第8号, pp. 1-16.
- 5) 中山勝博(1991): 瀬戸市北部の新第三系瀬戸陶土層の堆積過程, 地質学雑誌, 第97巻第12号, pp. 945-958.
- 6) 中山勝博・陶土団体研究グループ(1989): 瀬戸層群の堆積盆地, 地球科学, 43第6号, pp. 392-401.
- 7) 都野津団研グループ(1983): 島根県中部の都野

- 津層と大江高山火山群, 地団研専報, 25号, pp. 151-160.
- 8) 井上秀雄・植田芳郎・寺島滋(1977): 島根県彦摩郡温泉津町三子山周辺の珪砂鉱床, 地質調査所月報, 第28巻第7号, pp. 15-29.
- 9) 「けい砂」編集委員会(1970): けい砂, 愛知県珪砂鉱業協同組合.
- 10) 須藤定久・平野英雄(1994): 日本の工業原料鉱産資源(その1), 地質ニュース, 484号, pp. 25-32.
- 11) 原田種成(1978): 九州の珪砂資源その1, 地質調査所月報, 第29巻第10号, pp. 37-49.
- 12) 須藤定久(2010): 砂と砂浜の地域誌(25) 石見東部の砂と砂浜-大田から浜田へ-, 地質ニュース 672号, pp. 50-60.
- 13) 牧野内猛・中山勝博(1990): 特集 東海湖と古琵琶湖/やきもの用粘土 1 東海層群 東海層群-1 伊勢湾東岸地域, アーバンクボタ, No. 29, pp. 2-12.
- 14) 松原義雄・横田信行(1974): 瀬戸市周辺の珪砂中のシリマナイトの分布について, 旭硝子研究報告, [24] 1, pp. 97-110.
- 15) 芝崎靖雄・前田武久・堀尾正和・詹前峰(1979): 瀬戸層群中の重鉱物, 特にイルメナイト, 鉱物学雑誌, 第14巻第3号, pp. 188-196.
- 16) 下坂康哉・中山勝博・倉林三郎(1990): 特集 東海湖と古琵琶湖/やきもの用粘土 3 やきもの用粘土をめぐって -木節粘土・蛙目粘土を中心に-, アーバンクボタ, No. 29, pp. 48-64.
- 17) 桑原徹(1978): 濃尾平野(1) その自然史と社会史との交流, 地質ニュース, No. 283, pp. 21-27.
- 18) 桑原徹(1968): 濃尾盆地と傾動地塊運動, 第四紀研究, 第7巻第4号, pp. 235-247.