

深海資源からつくられる新しい窯業製品

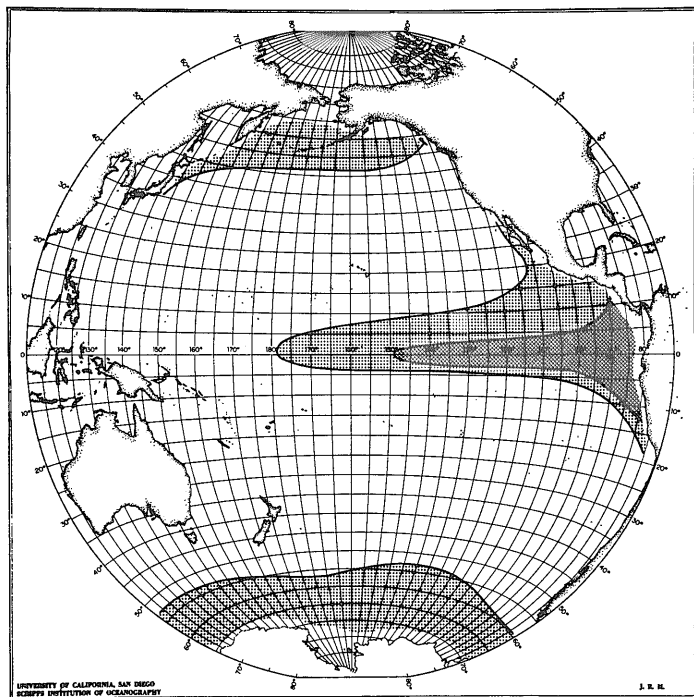
G. アレーニウス 著 中尾 征三 訳 (海洋地質部 スクリップス海洋研滞在研究中)

訳者まえがき

本文は ARRHENIUS, G. (1977): New ceramic material from deep-sea resources. (Scripps Institution of Oceanography (SIO) Ref. Ser. no. 77—27. 6p) のもとになった資料 (正式の ref. では 本文が3頁けずられ 内容が簡略になっている) を訳したものである。 Prof. Gustaf ARRHENIUS は有名な地球化学者のひとりであり 1952年からカリフォルニア大学 (サン・ディエゴ) スクリップス海洋研究所のスタッフとして活躍してきた人である。 また ノーベル賞で有名なスウェーデンの Svante ARRHENIUS (1859—1927) の孫でもある。 1958年に やはり長年スクリップス海洋研究所で活躍している Prof. Edward D. GOLDBERG と共著で発表した論文 (GOLDBERG, E. D. and ARRHENIUS, G. O. S., 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 13:

153—212) は 海洋堆積物の地球化学的研究の草分けとして有名であり 彼は その後もマンガン・ノジュールの鉱物学・化学を中心にして海洋堆積物の研究をすすめてきている。 また最近 は 月の科学や太陽系の起源に関する研究にも精力を注ぎ 昨年 Evolution of the Solar System (H. ALFVÉN と共著) という大著を出版した。

本文で “新しい窯業製品” として注目されているのは 要するに 将来 マンガン・ノジュールと一緒に採掘されるであろう珪質堆積物中の放散虫骨格を主成分とするセラミックスで 建築材・濾過剤・吸着剤・耐火材などとして用いる場合に 放散虫骨格の形態から予想されるように 密度が同じ場合には珪藻土に比べて はるかに大きな強度 (三次元的強度) が得られることが眼目になっている。 また やはり珪藻殻に比べて高純度のシリカが比較的簡単に得られるため 半導体用のシリコン原料



第1図
太平洋海底への生物源シリカの蓄積度に反映している大洋表層における生物の一次生産量の一般的分布 植物プランクトンの一次生産量とその結果ひきおこされる動物プランクトンや より高次の生物生産が 海底へ降ってゆく “雨” の量を支配する もちろん 海底では (訳注: あるいはそこにゆくまでに) 生物源堆積物は部分的に溶解したり 陸源および海底火山源の鉱物と混合されて 形を変えてゆく 赤道高生産帯では 主に石灰質の藻類や原生動物 および珪質原生動物 (放散虫 第2図) からなる特徴的な生物源堆積物がみられる

MASS OF BIOGENIC SILICA ACCUMULATING PER CM² IN A THOUSAND YEARS

0.2—8.0g
 >0.8g

として用いることも同時に検討されている。

一方 訳者は 科学技術庁長期在外研究員として 1978年2月から1年間の予定で スクリップス海洋研究所に滞在しており マンガン・ノジュールの地球化学的研究とここに紹介する“New ceramic material”に関連する深海堆積物の化学的分離（堆積物中の微小なマンガン・ノジュール 魚類骨格の破片 粘土鉱物 放射虫を主体とする珪質生物遺骸などの分離定量）に関する研究に従事している。

訳者は不幸にして この方面の研究が日本でどの程度進んでいるかを知らないが スクリップス海洋研究所でこのような資源利用の研究と純粋に地球化学的な研究（たとえば 実際に Radiolarite Ceramics という名のプロジェクトの中で希土類元素の堆積地球化学に関する研究やマンガン・ノジュールの地球化学的・鉱物学的研究などが行われている）が うまく一体となって進められていることをお知らせする意味を含めて訳文を作成した。

地質ニュースへの投稿にあたり 原図を提供していただいた著者に心からの謝意を表す。

1. 要 旨

放射虫の微小な骨格をつくっているオパール質シリカ

($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) は北部赤道帯太平洋における深海堆積物の重要な構成成分である。そして その堆積物は 深海採鉱の大きな目標であるマンガン団塊の下層の役を果たしている。

放射虫シリカは独特の性質をもち 深海採鉱の際に副産物として得られる鉱物資源として注目に値する。

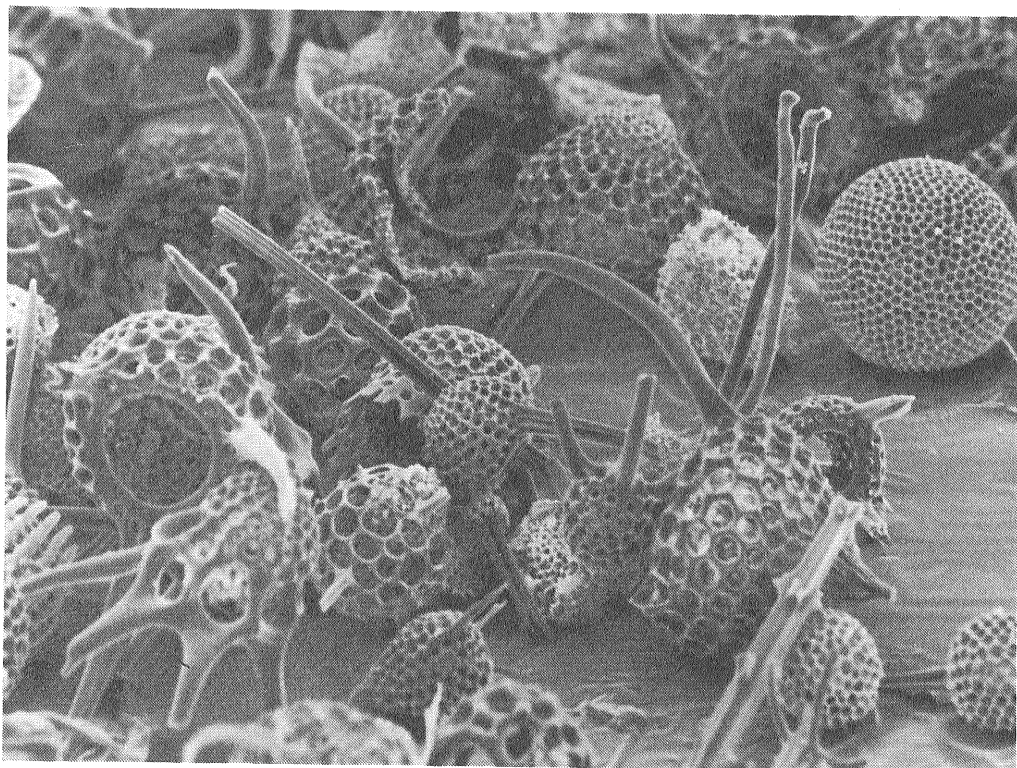
われわれは 国家のおよび国際的資源としての“ラディオアライト（訳注・ラディオアライトは元来 放射虫遺骸の卓越するチャートを指す岩石名であるが ここでは固結していない放射虫軟泥とその加工品であるセラミックスに対して用いられる。）”について 一連の工業的ならびに経済的評価を行うことを提起する。

2. 背 景

2-1. ラディオアライト堆積物の属性と分布

中部および東部太平洋の赤道に沿って 生物生産量の高い帯状域 (Equatorial High Productivity Zone) が地球円周の約4分の1にわたって延びている (第1図)。

大洋表層に生活している浮遊性微小物の遺骸は 大洋底に沈んでゆが いく分かは途中で溶け 他は数1,000m下の海底にたまる。これらの浮遊生物は その骨格や



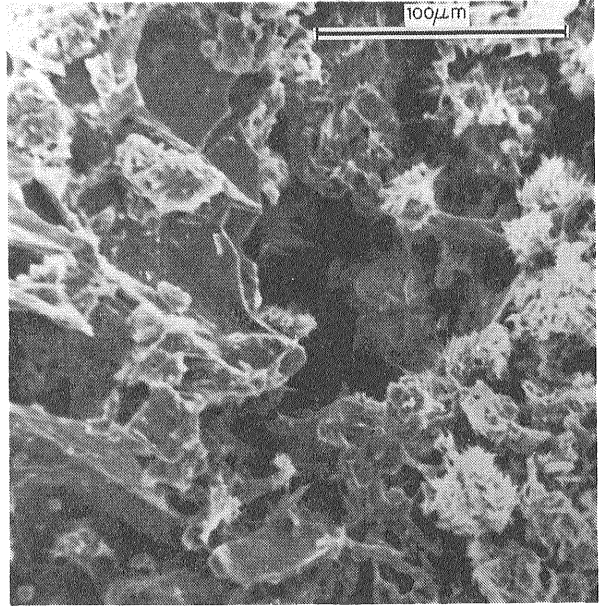
第2図 マンガン団塊分布域で 赤道帯ラディオアライト堆積物の特徴的な構成物となっている放射虫化石群集 (走査電顕写真：右上にみえる球体の直径が約200 μm)

軟組織のうちに 海水からある種の元素を濃縮する。そのように濃縮され 沈積によって海底に堆積物として蓄積されるものなかで 珪素はおもに放射虫の骨格の主成分としてみられるものである (第2図)。

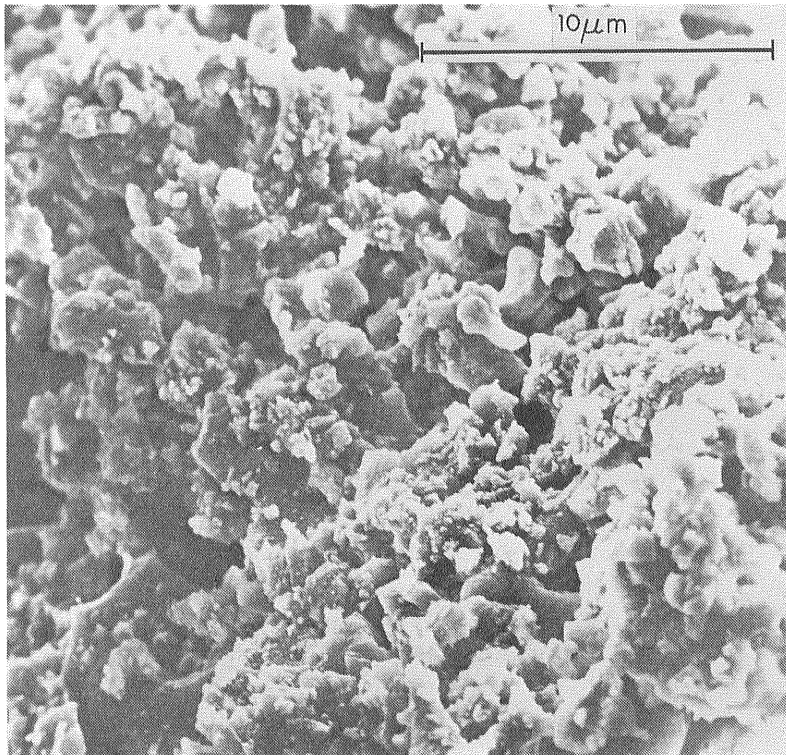
濃縮される他の元素 (訳注: 生物活動によらないと思われるものも含めて) のなかには 炭酸カルシウム の形で堆積物中に存在するカルシウムおよびマンガン団塊を構成する鉄 マンガン ニッケルおよび銅などが含まれる。

放射虫骨格は 繊維状の分子配列をもつオパール質シリカからなり そのため弾性に富み強度も大きい。骨格構築の原則は 小さな質量で大きな強度が得られるという自然の選択の良い一例を示している。すなわちその骨格は種々の対称的配列をもつレース編物のようであり 多くの種の骨格が 棘をつけた球体であったり球根状の錐体であったりする (第2図)。

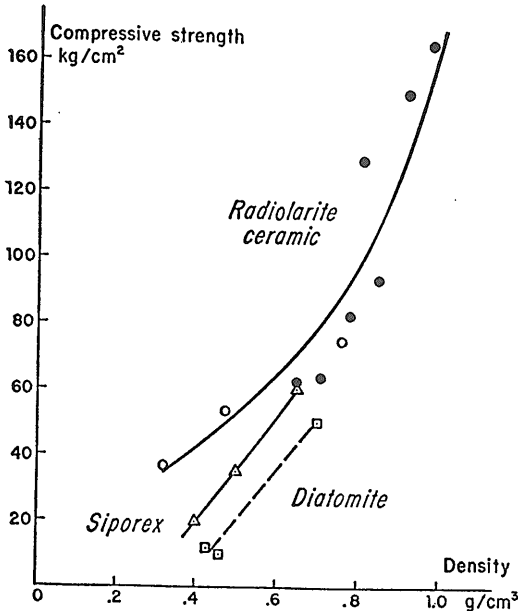
深海珪質軟泥の主要な部分は 放射虫骨格や銅・ニッケルに富むマンガン団塊に加えて 細粒の加水雲母 石英 長石および他の鉱物 (大陸からの風化砕屑物と海底火山活動の産物) からなっている。これらの鉱物は窯業原料として有用なものではあるが 目的によっては種々の度合で除去されねばならない。



第3図 ラディオラライト・セラミックスの破断面 (走査電顕写真)
これは 700°C の温度下で sintering によって加工されたもので 密度 0.32g/cm³ の場合の圧縮強度は 37kg/cm² である



第4図
破碎した放射虫遺骸を原料としたラディオラライトの特徴的な組織 (密度 1g/cm³ 圧縮強度 165kg/cm²) (走査電顕写真)



第5図 実験的につくられたラディオラライト・セラミックス 代表的な細胞質コンクリート (商品名 Siporex) および特許文献 (SCHREWELIUS 1962) 中の珪藻土セラミックスの強度と密度の関係 白丸は Sintering 型 黒丸は水硬型のラディオラライト・セラミックスを表わす 現在までに研究されたラディオラライトの密度は Sintering については 0.3~0.8g/cm³ 水硬型で 0.6~1.0g/cm³ であるが 原理的には両者とも 通常関心のもたれる密度範囲全体 (約 0.1~2.0g/cm³) をカバーするようにつくられる

第1表

密度 g/cm ³	圧 縮 強 度 kg/cm ²			
	細胞質コンクリート (Siporex)	ラディオラライト・セラミックス		珪藻土-鉄質珪酸塩セラミックス
		Sintering 型	水 硬 型	
.32			37	
.40	20			
.43				12
.46				10
.47			53	
.50	35			
.65	60		62	
.70				50
.71			64	
.76			75	
.78			83	
.81			130	
.85			94	
.92			150	
.98			165	

珪藻土に関する資料は SCHREWELIUS (1962) より。

2-2. 深海ラディオラライトの工業的利用の可能性

2-2-1. 窯業面での利用

2-2-1-1. ラディオラライト・セラミックスの性質

最近の2~3年間 われわれは深海のラディオラライトを 独特の有用性をもつ窯業製品に仕上げる技術を開発してきた。 放散虫シリカに匹敵する強度をもたせるような接合剤を用いてつくられた製品は 放散虫の微視的な特徴を巨視的にも引継いでいる。 ラディオラライト・セラミックスのひとつの型は sintering によってつくられるもので その結合力は放散虫軟泥の中に適当に含まれる深海粘土や炭酸カルシウムから得られる。 この場合 比較的低い温度 (500~1,000°C) で溶融し 放散虫の本来の化学性や構造をほとんど失わせないか (第3図) または粘性があって 閉鎖的で高い孔隙率をもつシリカ・ガラスに転移させる媒体をつくるような添加剤 (たとえば 海水からとったアルカリ塩化物またはアルカリ珪酸塩) を加える。

ラディオラライト・セラミックスのもうひとつの型は 低温処理で得られるもので 構成成分は 150~200°C の温

度下で水蒸気と反応する。 この水硬過程では 深海堆積物または石灰岩から得た焼石灰をもとにして水酸化カルシウムがつくられ これが放散虫のオパールや粘土と反応して 接合剤としての水和珪酸塩をつくる。 ポートランド・セメントの場合には これらの水和珪酸塩が空気中でひき続きゆっくりと 炭酸ガスと反応して強度を増してゆく。 この硬化作用は 温度を一定に保った二酸化炭素——炭酸溶液に浸すか またはオートクレーブで高温処理をすることによって促進される。

われわれが実験的につくったラディオラライト・セラミックスで得られた圧縮強度は 第5図と第1表に示される。 それは 密度 0.32g/cm³ で 37kg/cm² から密度 0.98g/cm³ で 165 kg/cm² という程度のものである (ちなみに塊状コンクリートの密度は 2.5 氷は 0.9 コルクは 0.15~0.25g/cm³ である)。 ラディオラライト・セラミックスの強度は上記の範囲をこえても さらに密度とともに増えつづける。 逆にいえば 断熱材として用いるような時には 0.32g/cm³ よりも低い密度で適当な強度をもつセラミックスができるということである。

第4図に示した水硬型のラディオラライト・セラミッ

クスは 限界強度に達して破壊するまで 広範囲にわたって弾性変形する。 実験的につくったセラミックスの弾性圧縮係数は 0.15×10^6 psi から 0.25×10^6 psi の範囲にある。 ちなみに 従来のこの種の建材の弾性圧縮係数は非常に低く たとえばコンクリートでは $3.5 \sim 5.5 \times 10^6$ psi 通常のれんがでは 2×10^6 psi である。

2-2-1-2. ラジオラライト・セラミックスの応用

低密度のラジオラライト・セラミックスは 深海探鉱の副産物として大量に生産される可能性をもっている。 前述したような新しいセラミックスの構造物への応用として特筆すべきものは 安価・軽量で絶縁性に富む耐震性構造物の建材と耐火性で 軽量の断熱および防音材である。 前者に関していえば ラジオラライト・セラミックスは 既に市販されている細胞質 (cellular) コンクリート (Brooks 1968) に比べられる。 けれども 同じ密度で比較するならば ラジオラライト・セラミックスの方がはるかに大きな強度をもっている。 また強度に関していえば 珪藻上からつくられる同様の物質よりもはるかに大きい(第5図 第1表)。 絶縁性に関してはアスベスト (石綿) と同様であるが 産業衛生のうえから重要な問題となっているアスベストの毒性からして間違いなくそれにとってかわる物質を供給することになるう。

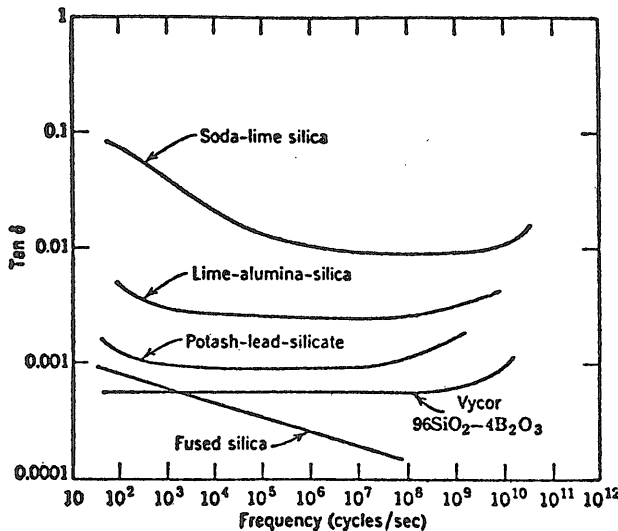
細胞質コンクリートの特徴は 砂とセメントの混合物の中にある反応成分 (通常は金属アルミニウムの粉末) から出るガスの化学変化によって硬化する間——そして通常はその後 200°C の蒸気で更に固化される——につくられ

ることである。 このような製品は 北欧 カナダ メキシコ 日本 オーストラリアおよびソ連では かなり広く市販されているが 米国では最近まで断熱やエネルギー節約があまり行われていなかったせいもあって それらの国々ほどには広まっていない。 細胞質コンクリートのひとつの利点は 軽量なので はり 線板 (すじいた) あるいは平板のような組立式構造物の 大きなモジュールを使う建築を可能にすることである。 ふたつめの利点は 孔隙率が高いので すぐれた断熱・防音効果をもっていることであり そのため厳しい気候のもとにある国々で広まっているのである。

細胞質コンクリートの強度は 塊状コンクリートや鉄筋コンクリートに比べてかなり小さいので 耐荷重性の部分に使われる場合は 1階建または2階建の建築物に限って使用される。 しかしながら カーテン・ウォールや隔壁として用いるときには 耐荷重性の鉄骨でできた高層ビルの中にも使われる。 ラジオラライト・セラミックスは細胞質コンクリートよりかなり強く より弾性に富むが 以上のような用途については同様の限界があると思われる。 ただし そこでの性能はずっと優れていると想像される。

1972年に Siporex という商品名で売り出された細胞質コンクリートの価格は 1m^3 あたり23ドル (1y^3 あたり18ドル) そしてこれに鉄筋がはいっている場合は 1m^3 あたり46~58ドルである。

この細胞質コンクリート (Siporex) の強度——密度関係が ラジオラライト・セラミックスの場合とともに第5図に示されている。 密度 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ で比較すると



第6図 いくつかの珪酸質ガラスについての $\tan \delta$ (訳註: 電磁波吸収係数) の周波数依存関係 (KINGERY 1960より)

——密度がより高い場合には 差はそれほどではないが
——ラディオラライト・セラミックスの強度は 細胞質
コンクリートの約2倍である。そして ラディオラ
ライト・セラミックスの強度は 今後の研究によって 広
い密度範囲にわたり もっと高められるようである。

シリカが高周波領域において 例外的に小さな減衰率
(訳注：電磁波の吸収に関して)をもつことは ラディオラ
ライト・セラミックスにたいする もうひとつの興味で
ある。それは とくに厳しい気候下にあるレーダーの
マイクロウェーブのアンテナ・ドームや人工衛星追跡局
の建材として適していると思われる(第6図)。

セラミックスとしてのもうひとつの興味は まだ ほ
んのわずかしか研究されていないが スティール・ウレ
タンの骨組の上にふきつけるコンクリートにまぜる“砕
石”として利用することである。このまったく新しい
建築方法は 建設業における省力化・省エネルギー化の
点からみて 魅力的なものを持っている。

固まっていないラディオラライトの粉末は その優れ
た断熱性とオパール質シリカの無毒性の故に 既設およ
び新設の建物の断熱材として 広範な用途を見出すこと
であろう。

2-2-2. 工業的濾過 吸着および触媒への利用

液体および気体の濾過 ならびにそれらからの活性成
分の吸着は 工業的には大規模に行われている。そこ
では吸着性をもつと同時に高流量で使える濾過剤が求め
られている。現在 そのような目的に使われるものの中
で傑出しているのはダイアトマイドである。これは
おもに浮遊性藻類のオパール骨格を多量に含む天然の堆
積物(訳注：珪藻土)を精製してつくられる。

ダイアトマイドは 材質としてはラディオラライトに
似ているが セラミックスとして利用する場合には 可
なり強度が小さく(第2図 第1表) また濾過能力もより
低い。既存の測定資料によれば ラディオラライトの内
表面積(internal surface area)および吸着性は 珪藻土
と同様かあるいは大きくなっている。

もし ラディオラライトが大量にしかも安価が利用で
きるようになれば 広範囲に使える工業用濾過剤として
珪藻土にとってかわり また この方面での利用を広げ
るであろう。

ラディオラライトの大きな内表面積 適当な孔隙サイ
ズの分布 大きな強度 それに耐火性は 現在すでに珪
藻土でまかなわれているいくつかの用途を含めて 上に
述べた以外にも数多くの工業利用の可能性を示している。
それらは 塗料やエマルジョンの濃度コントロール防火

壁の耐火材 粉末展延剤(powder extender)そして下水
処理剤として使った後に土壌改良剤として利用すること
を含んでいる。

ラディオラライトは 大規模な工業用の触媒キャリア
としての要求に応じられるように いくつかの性質を良
く兼ね備えている。そこで要求される大きな表面積と
通液性は 背の高い反応塔の底荷重を支えるために要求
される十分な強度と矛盾する。たとえば 粒状のアル
ミナ・キャリアは 1%濃度の触媒を支えることしかで
きない。

受身的な触媒支持材としての他に ラディオラライト
は それ自身が同時に支持骨格および活性表面を提供し
て いくつかの工業的に重要な反応を促進する。

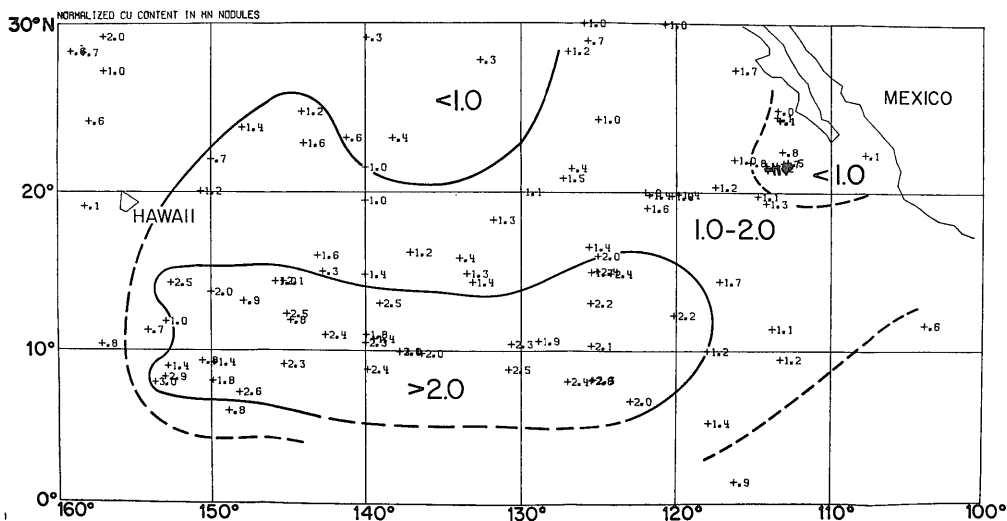
2-2-3. 石綿の代用物としてのラディオラライト

石綿は その良く知られる特異な性質によって 耐火
性セラミックス 濾過剤 触媒キャリアおよび濃度制御
剤として広く利用されてきた。しかしながら この10
年以上にわたる医学的な研究の結果は 採鉱やその他の
利用段階でできることのできない石綿繊維の吸入が 重
大な健康阻害の原因となっていることを如実に示してい
る。そのため 石綿が採掘されている開発途上国の労働
者が危険にさらされることに反対して 労働組織が活
動してきた。スウェーデンでは政令によって 石綿産
業はすべて永久に閉鎖されている。

同様の動きは 米国を含めた他の国々でもおこってい
るようである。したがって 石綿にとってかわる適当
な物質をさがしておくことは重要である。前述のよう
なラディオラライトの特性は オパール質シリカの低毒
性(訳注：ここで著者が低毒性と書いたのは 石綿の明らかな
毒性と比較した言葉のあやであって もちろん 乾燥したラ
ディオラライトの粉末を吸入することがあれば珪肺の危険が予想
されるけれども 建材への応用に関して著者が表現してい
るように“化学的には”無毒と考えて差し支えないだろう)と合わ
さって 間違いなくそれ自身を石綿の代用物にすると思
われる。ラディオラライトに 繊維状の性質を要求さ
れる耐火性織物のような場合を除けば 大半の用途につ
いて石綿よりも優れていると思われる。その耐火性織
物については 珪酸塩ガラス アルミナおよび石墨の人
工繊維が 多分 石綿の役割を果たすことになる。

2-2-4. 半導体に使われる高純度金属珪素の原料として のラディオラライト

深海採鉱にともなって生産されるかなりの量のラ
ディオラライト・シリカが 高純度の金属珪素の原料として
使われるであろうことは既に提案されている。その可



第7図 マンガン団塊中の銅含有量 銅含有量がもっとも高い団塊は アメリカ大陸に向かって北東にのびる赤道高生産帯(第1図)の北の限界に産する ここに示される銅含有量は マンガンと鉄の酸化物中に占める濃度であって 団塊全体に対する濃度は この約半分である ニッケルの含有量は 一次近似としてみた場合 銅の含有量と平均的である

能性は まだ実用的な意味で研究されていないが 評価に値するものである。

原料としてのラディオラライトは 高い純度をもっていない。機械的には他の鉱物とまざっているし さらに珪質堆積物内部の化学反応による二次成長部分を含んでいる。しかしながら 珪素の原料として 他に高純度のシリカを見出すことは難しい。光学的に最も純粋な石英でさえ 低品位鉄の金の含有量と同程度に鉄を含んでいる。

放射虫オパールの場合の利点は それが多孔質(空隙サイズ: $10^{-1} \sim 10^{-7}$ cm)であることで そのためすべての不純物が実質的に表面に露出していて 多分 能率的に溶脱されると考えられる。これと対照的に 石英中の不純物は 分子置換によってしっかりと結晶構造の中にしばられていたり(たとえば Al や P の酸化物が SiO_2 を置換しているように)あるいは結晶内部に埋め込まれた微小な包有物として溶けていたりする。そして その石英をどんな細かい粉末にしたところで 不純物を 10ppm 以下のレベルにおさえることはできない。

珪質の原料物質を完全に溶かすことは 超純粋な金属珪素をつくるもうひとつのやり方である。 その場合でも ラディオラライトの非常に大きな内表面積は 細粒の石英粉末と比較して 溶媒(たとえば弗化水素)との反応速度をはるかに大きくすることができる。

原子質量分離技術による超純粋物質の精製が(NASAの軌道衛星実験所のプロジェクトのひとつとして開発されるべ

き) 未来の技術として予見されている。珪素の精製に関して考えられる障害は主に近隣の元素すなわちアルミニウムとリンに由来するが これを回避することも石英の場合はラディオラライト・シリカの場合よりもずっと困難である。

2-3. ラディオラライトとニッケル-銅を含むマンガン団塊資源の組合せ; 同時回収の意義

珪質の放射虫軟泥はニッケル-銅の鉱石でもあるマンガン団塊の下層堆積物を形成している。 そのためにマンガン団塊の回収と放射虫軟泥の回収を組合わせて行うことが技術的に可能(そして多分不可欠)となる。

もし ラディオラライトと その開発が活発に追求されているマンガン団塊との組合せがなければ ラディオラライトの回収は未来派の見果てぬ夢となるであろう。そしてまた 現存するそれらの組合せが 政治的・経済的問題をはらんでいる深海探鉱の不確実性からんで 1980年代におけるラディオラライトの回収と利用を困難なものにしている。

マンガン団塊は 堆積物と水との境界にある単一層中の鉱床である。 この鉱石は球状の塊で その大きさ(訳注:直径)が 10cm 程度に達することもまれではない。マンガン団塊は世界中の海底の多くに産するけれども 鉱床として重要な 銅・ニッケル含有量の高い団塊(第7図)が分布するのは 赤道高生産帯下(第1図)のような 2~3 の特殊な海域に限られる。 赤道高生産帯の直

下では マンガン団塊の面積密度 (areal density) は低い が その両側では増大する。 シリカ含有量の非常に高い珪質堆積物も その赤道高生産帯の両側に分布する (第8図)。 北部赤道帯太平洋の2~3の地点でラディオラライト堆積物の一部または全部が深海掘削で貫通されており その厚さは数 100m 面積は約 490,000 平方マイルにおよんでいる。 この北部赤道帯太平洋のものだけで 体積は少なくとも 10^{14} m^3 乾燥重量は 約 $2 \times 10^{14} \text{ t}$ となる。 このように マンガン団塊の採鉱が予想されるこの地域内に ラディオラライト物質の十分な原料があることになる。

現在 考えられているマンガン団塊のいくつかの採掘システムのいずれを用いるにしても ラディオラライト堆積物は不可避免的に団塊と一緒に回収されるので その回収費用は一次近似としてみれば無視できるであろう。 堆積物を捨てることを試みるよりも 一緒に回収する方が採鉱装置を簡単にし また 水力システムにおける垂直輸送をより容易にすることによって コストを減少させることになるだろう。 粘土成分の一部を除去して堆積物をより価値あるものにする (訳注: これは堆積物を団塊と一緒に回収した場合に必要な) は採鉱費用を増加させるが 通常は排棄されてしまう大きさ (2~3cm 以下) の団塊を回収することによって その費用の増大は相殺されるであろう。 それらの (細粒の) 鉱石粒子は堆

第2表 1968年中の世界の生産量 (単位 100万ドル)

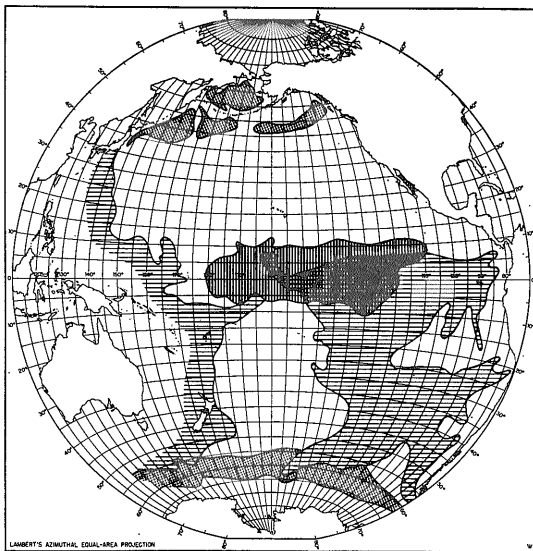
銅	4,965	セメント	1,000
ニッケル	661	石膏	168
計	5,626	砂	3,900
		砕石	5,100
燃料 (計)	56,600	計	10,168

積物にもともと含まれているが また 大きな団塊が回収中に割られたり削られたりして新たにつくられもする。 回収されてから後の船舶輸送コストを 団塊についての資料 (MERO, 1965; BOIN and MÜLLER, 1975) から類推してみると それは回収または生産に要する費用に比べて小さなものである。

ラディオラライト資源をマンガン団塊の精錬に結びつけると エネルギーの大きな節約ができる。 マンガン団塊の精錬に要するエネルギー費用のうち主要な部分は原材料から水を除去するのに使われる (TINSLEY, 1975)。 100°C の温度下で水抜きされた団塊の約半分の量の水 (訳注: 要するに 100°C で乾燥すると 除去される水と残る団塊の量が 1:2 になる) が蒸発した後でさえも その団塊はまだ 30% の水を含んでおり そのうちの 10% (水酸基の形) は 600°C 以上の熱を加えないと除去されない。 セラミック加工 (訳注: ラディオラライトをつくるときの) の余熱を 団塊の乾燥とその後の加熱の予備段階に使えば 団塊の精錬費用を減少させることができる。

セラミック産業の経済的重要性を 深海金属鉱物の場合と比較して第2表に示した。 それによれば 非金属材料の総生産高が 銅・ニッケルのような非鉄金属のそれを はるかにしのいでいることがわかる。

第3表には マンガン団塊 (訳注: 団塊から回収される各金属元素) と比較した珪質堆積物の値打が示されている。 その資料によれば 天然のままでも 10~30% の放散虫遺骸を含む堆積物を 細胞質建材セラミックス (訳注: 要するにラディオラライト) の原料になるように船上で処理 (放散虫遺骸約 50% 程度に) すれば 処理後の堆積物は団塊中



第8図 太平洋における堆積物分布の概略 この図は赤道帯のラディオラライトが 高生産帯の炭酸塩堆積物と部分的に重なっていることを示している 北極と南極の互に相応する発散帯では主要なプランクトンとして珪藻が生産され 珪藻堆積物の帯がつくられている

第3表 マンガン団塊 細胞質コンクリートおよび珪藻土の価値の比較

乾燥したマンガン団塊 (銅含有量 1.5%) 1 トンから	
回収される銅の価格 (1.70ドル/kgとして)	26ドル
上と同じ条件でのニッケル価格 (ただし 3.50ドル/kgとして)	53
細胞質コンクリート (比重 0.6 g/cm ³ のもの) の トンあたり価格 (1972年) ^a	40
珪藻土のトンあたり価格 (1972年)	65

a: この細胞質コンクリートは 現在すでに大型の建材として使われているもので 予想されるラディオアライト・セラミックスと類似の性質をもつものである。しかしラディオアライト・セラミックスは密度が同じならば 既存のものよりも強度が大きい。

の銅の約2倍で ニッケルに近い価値をもつようになる (訳注: 第3表からわかるように 上記の文章では “処理後の堆積物……”と書かれているが比較されているのは 商品化されたラディオアライト・セラミックスに関して予想されるトンあたり価格と やはりマンガン団塊から精錬されて単元素金属になったときの銅およびニッケルの予想価格である)。このように ラディオアライト原料の価値は 銅-ニッケル鉱石としてのマンガン団塊の価値に匹敵するといえる。

第4表では ある鉱業関係の協会が試算された 1年間に回収されるであろう船上処理後の珪質堆積物と 環太平洋諸国で壁用建材として生産されているセメントの量が比較されている。これらの資料は マンガン団塊副産物としてのラディオアライト・セラミックスが 環太平洋諸国の建築材の重要な部分を供給する可能性を示している。

参 考 文 献

BOIN, U. and E. MÜLLER, 1975. Economic Aspects of Manganese Nodule Deep Ocean Mining, in *Manganese Nodules—Metals from the Sea*, Review of Activities, Edition 18 (Metallgesellschaft, AG, Frankfurt).

BROOKS, A. E., ed., 1968, 1970. *International Congress on Lightweight Concrete*, Vols. 1 & 2 (Cement and Concrete Association, London).

Bureau of Mines, 1975. *Minerals in the U.S. Economy: Ten-year supply-demand profiles for mineral and fuel commodities* (Government Printing Office, D.C.)

第4表 環太平洋諸国における建築用セメントの生産量と比較したラディオアライト・セラミックスの可能生産量

1971年中に環太平洋諸国で生産された建築用硬型セメントの総量 (単位 百万トン) ^a		
総生産量	177.8	
アメリカ	78.3	チリ 1.5
日本	65.5	ニュージーランド 0.9
カナダ	9.2	エクアドル 0.5
メキシコ	8.3	グアテマラ 0.3
オーストラリア	5.1	エル・サルバドル 0.2
台湾	4.7	パナマ 0.2
コロンビア	3.1	
壁材用硬型セメントの需要と国際共同企業体による ラディオアライト・セラミックスの可能生産量 (単位 百万トン)		
環太平洋諸国における壁材用セメントの総需要 (1971年) ^b	45	
単一の国際共同企業体による可採生産量		
マンガン団塊 ^c	10	
随伴する堆積物	30	
処理されたラディオアライト	15	

a: U.S. Bureau of the Census (1973) より引用した。
 b: セメント総生産量の25%をあてた。その根拠はまず 1971年に米国で生産された水硬型セメントの50%が混合コンクリートに使われたこと (Bureau of Mines 1975) であり さらに混合コンクリートの75%が建築用 またさらに その3分の2が壁材用に使われると仮定した。
 c: BOIN and MÜLLER (1975) より引用した。

KINGERY, W. D., 1960. *Introduction to Ceramics* (Wiley, New York).

MERO, J. L., 1965. *The Mineral Resources of the Sea* (Elsevier, Amsterdam).

SCHREWELIUS, N. G., 1962. Pierre isolante a base de fabrication, French Patent No. 1316107 (available from the Scientific Library of the U.S. Patent Office).

TINSLEY, R., 1975. Processing—no longer a problem, *Mining Engineering*, April, 1975.

U.S. Bureau of the Census, 1973. *Statistical Abstract of the United States* (94th Edition), (Government Printing Office, Washington, D.C.).

