

誰かに教えたくなる 科学技術の話 52

枯渇が危惧される 「砂」



東京大学名誉教授 月尾 嘉男

尽きつつある浜の真砂

安土桃山時代の稀代の盗賊の首領であった石川五右衛門は豊臣秀吉の手勢に逮捕され、京都の三条河原で子供とともに釜茹でにより処刑された(図1)。そのときの有名な辞世の一首が「石川や浜の真砂は尽くるとも世に盗人の種は尽くまじ」であった。真砂という言葉は無限に存在する象徴として使用されたのであるが、現在、その真砂が無限ではなくなってきた。

地球の表面は七割が海洋、三割が陸地であり、そのうち砂漠は定義によって相違するが、陸地の一五%から二〇%程度になる。カナダの国土面積が世界の陸地の八%であるから、その二倍以上に相当する。したがって砂は地球に潤沢に存在



図1 釜茹でになる五右衛門

していると想像しがちであるが、現実には有限であり、不足が懸念されはじめてきた。砂の用途が拡大し、急速に需要が増大してきたからである。

都市を構築してきた砂

アフリカ大陸の西部にあるマリ共和国の首都バマコからニジール川沿いを東側に約六〇〇キロメートル移動するとジエンネという人口約三万人の都市に到着する。この約二〇〇〇年の歴史のある古都の中心の広場に高さ二〇メートル、幅一〇〇メートルにもなる壮麗なモスクが存在するが、これは内部も表面もすべて

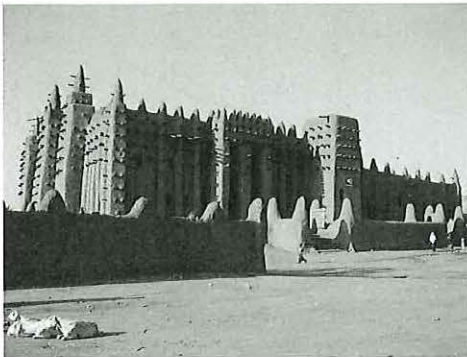


図2 ジェンネのモスク

泥で構築されており、世界遺産（現在は危機遺産）に登録されている（図2）。

ここまで「砂」「泥」という言葉を使用してきたが、正式の定義があり、「泥」は規模が一六分の一ミリメートル以下の岩石の細粒、それ以上で二ミリメートル以下の細粒が「砂」、それ以上が「石」と区分されている。「土」は砂や泥に有機物質が混在した細粒である。古来、これらの鉱物を利用して人間は建物などを構築してきたが、セメントの発明により巨大な変化が発生した。

セメントは水と混合すると硬化する性質のある粉体であり、すでに古代のエジプト、ギリシャ、ローマなどで建築工事業や土木工事に使用されていた。ところが、この方法は硬化するのに時間がかかるため、一七九〇年代に粘土と石灰と一緒に焼成して硬化時間を短縮する製品がイギリスで開発され、さらに一八四〇年代に現在も使用されている**ポルトランドセメント**が開発された。

このセメントに骨材といわれる砂を混合して使用するのがコンクリートであるが、これも古代ローマの時代から使用されており、ローマ市内にある円形のドーム建築のパンテオンはコンクリートで建



図3 古代ローマのパンテオン

造されている（図3）。さらなる発展は十九世紀のフランスで躯体の内部に鉄筋を配置して頑丈にする鉄筋コンクリートが発明され、現在の建築・土木工事の主流になっている。

コンクリートに使用できない砂漠の砂

世界の人口は一九五〇年の二五億人から現在では七九億人に増加し、二〇五〇年には九三億人になると予測され、一〇〇年で四倍になる。さらに一九五〇年には全体の三〇%であった都市人口が現状で五六億人、二〇五〇年には六二億人になり、六七%が都市に生活することにな

る（図4）。その結果、都市を維持する社会基盤を整備する需要が増大し、大量のコンクリートが使用されることになる。

これは建設に使用されるコンクリートの骨材のための砂が現状の年間三五〇億トンから四三〇億トンに増加することを意味する。その大半は河川が岩肌を掘削して下流へ運搬して河口や海岸に堆積させている砂であるが、毎年、世界すべての河川が下流へ運搬してくる砂の二倍に相当する。人間は様々な地球の資源を採掘して利用しているが、その八五%は砂と推定されるほど大量である。

そのような状況であれば、冒頭に紹介したように、地球の陸地面積の二〇%近

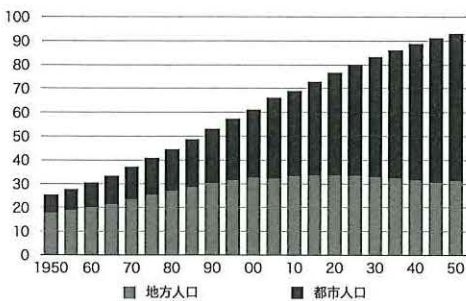


図4 世界の人口と都市人口 (億人)

くは砂漠であるから、そこに存在する大量の砂を使用すれば問題は解決しそうである。しかし、コンクリートの骨材に使用する砂は相互に密着して一体となるために角張っている必要があるが、砂漠の砂は風化して表面が円滑であるため、残念ながら骨材として使用するには適切な素材ではない。

シェールオイルの採掘に必須の砂

建設工事に必要な砂だけでも大変な資源問題をもたらしていることが理解できるが、これまで存在しなかった新規の需要も登場してきた。一九七〇年代に発生した二度の石油危機でアメリカの貿易収支が赤字に転落したが、一因は輸入に依存していた石油や天然ガスの価格高騰であった。ところが二〇一九年にアメリカは輸入から輸出に転換した。新規の国内の資源が利用可能になったためである。地下の頁岩頁岩に含有されるシェールオイルといわれる成分を採掘するフラッキングフラッキング（水圧破砕）という技術が二〇〇〇年頃から実用になり、国内生産が急増してきた効果である。これは地下まで掘削した管路から砂粒や薬品を混入した水を高圧で送出して岩盤に亀裂を発生させ、そ

の隙間から浸出する油分を回収する技術である。効率よく採掘できるが、問題は大量の水と砂を必要とすることである。

白砂青松を維持する砂

和歌山県の南紀白浜は延長六〇〇メートル以上の真白な砂浜が人気の観光地帯であるが、その白砂は輸入されたものである（図5）。次第に減少していく砂浜を補充するため国内各地を調査したが適切なものがなく、オーストラリアの白砂を約一四万トンも輸入して実現した。世界規模で有名なハワイのワイキキビーチの砂浜もカナダから輸入された白砂で実現した人工の産物である。



図5 南紀白浜

二〇二〇年に発行されたイギリスの気候変動を対象とする科学雑誌に「気候変動と海面上昇のため二一〇〇年までに世界の砂浜の半分が消滅する」という論文が発表された。その兆候は日本にも存在し、減少していく砂浜を復活させる養浜事業が各地で実施されている。千葉県の太平洋側の九十九里浜は全長六〇キロメートルの海岸であるが、急速に砂浜の奥行きが減少してきた。

これまでは海岸の崖崩れや河川が運搬してくる土砂のため砂が補充されていたが、崖崩れを防止する工事や河川整備のため砂の供給が減少し、海岸全体に三十六箇所あった海水浴場のうち半数が消滅してしまった。そこで漁港に貯留した砂を回収して海岸に投入するとともに、海岸から沖合に先頭を丁字にした堤防を建設して復活を目指している。このような事業は全国各地で実施されている。

埋立を実現する大量の砂

さらなる問題は世界各地で進展している埋立事業である。世界で最大の埋立事業を推進してきたのはシンガポールである。一九六五年の独立時点の面積は東京都二十三区の九割程度であったが、現在

では一・二倍の七二八平方キロメートルに拡大している。近隣から大量の砂を輸入して埋立工事を推進してきた成果であるが、この砂を輸出したインドネシアでは二十四の島々が水没して消滅した。

さらに巨大な埋立てをしているのがアラブ首長国連邦(UAE)である。ペルシャ湾岸にある北海道と同等の面積の国家であるが、国土の大半は砂漠のため住民の多数は海岸地域に居住している。石油の産出のため富裕であり、中心都市ドバイには一〇〇棟以上の高層建築が林立し、現状で世界最高の八二八メートルの建物(図6)を凌駕する一〇〇〇メートルの高層建物も今年完成予定である。



図6 ドバイの光景

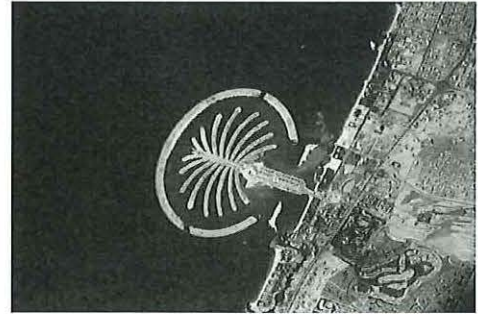


図7 パーム・ジュメイラ

これらには大量のコンクリートが使用されるが、首都の前面の海上には、上空から俯瞰すると椰子を連想させる形状の「パーム・アイランド」という三個の人工島が造成されている。すでに完成した最初の「パーム・ジュメイラ」には三億八五〇〇万トンの砂、全体が完成するまでには八億三五〇〇万トンの砂が投入されるが、前述の南紀白浜の海岸に投入した砂の六〇〇〇倍である(図7)。

情報社会を支配するシリコン

ここまでは土木工事と資源採掘に大量に使用される砂を紹介してきたが、最後に、少量ではあるが現代の先端技術に必

須の砂を紹介する。現在の社会を維持しているのは情報技術であるが、その技術に必須の砂がある。コンピュータもテレビジョン受像装置も携帯電話も情報機器の心臓は集積回路といわれる素子であるが、これは硅素(シリコン)という鉱物を素材として製造される。

地球に存在する元素の一位は酸素で四七%、二位は硅素(シリコン)で二八%、この一位と二位が化合した物質が**石英**である。石英を電炉で加熱して酸素を除去してシリコンを製造するが、それを純度九九・九九九九%にする太陽電池の素材、九九・九九九九九九九九%にすると集積回路の素材になる。工業社会はセメントという砂が、情報社会はシリコンという砂が維持していることになる。

石英は地球に遍在するのでシリコンは簡単に製造できそうであるが、純度が高度なほど有利になり、アメリカのノースカロライナ州の人口二〇〇〇人の小村**スプルスバイン**から産出する石英の純度が世界最高で、この小村の石英が世界の大半のシリコンの原料になっている。世界を席卷する情報社会がブルーリッジ山中の小村の資源に依存している現実は興味ある構造である。