

地学試料の電子顕微鏡的観察

その1：石英砂粒の表面構造

大久保 雅弘・物 種 成 晴

(島根大学文学部地学教室)
(1973.10.1 受理)

Electron Microscopy of the Geologic Materials.
Part 1. The surface textures of quartz sand grains.
Masahiro OKUBO and Shigeharu MONODANE

まえがき

堆積物を構成する粒子が、運搬過程や堆積場所によって、表面構造や外形に差異を生じるであろうことは、十分に期待されることである。故三位秀夫博士は、多年にわたる現世堆積物および海岸地形の研究、とりわけ砂丘に関するそれらの研究をつうじて、構成物質の由来を明確にするために、砂粒とくに石英砂の微細表面構造に注目するに至った。そして、松江・出雲近辺の現世砂丘砂、第四紀の風成砂などを採集して、水成砂との比較を行ない、それらの表面構造を電子顕微鏡で観察した結果、石英砂の表面に見られる割れ目模様や溝模様の発達状況にいくつかの型があり、それぞれ異った成因を現わしているものと推論するに至った¹⁾。すなわち、次のように述べている：「石英粒の表面構造として、水成砂では、鮮明な溝（巾 $0.5\mu\sim 4\mu$ の三角溝・楕円溝など）が密集して発達し、風成砂では不鮮明な不規則な凹凸や樹枝状溝によって特徴づけられる。石英粒を実験的に浸食すると、水中では各種の溝が発達し、空中では滑らかな表面になる。溶食させると不規則な凹凸などが現われる。」

この研究は、同氏の急逝（1970）によって中断されたが、その所論は協力者の手によって、遺稿集²⁾の中にまとめられている。

筆者の一人、大久保は島大地学教室に着任して以来、同氏の研究遺品を折にふれて調べてきたが、砂粒表面の研究に使用された電顕用シートメッシュがそのまま保存されていることを知ったので、その追視を思いたった。というのは、前記遺稿集に掲載された写真は、電顕写真としては余りにも粗雑すぎるため、同氏の折角の研究が十分に報いられていないと考えたからである。

従って、本論文は、同氏が作成した同一シートメッシュについて再検討した結果を述べたものである。なお、筆者の一人物種は卒業論文作成の一部として、この研究に協力したものである。

研 究 史

砂粒表面の微細構造に関しては、海外においては1960年頃より観察例が発表されており、初期には透過型電顕で、近年は走査型電顕を中心として研究が進められている。いま手許の文献は限られているが、それでも次のような事情が伺える。

Porter³⁾は石炭系の砂岩を中心に、2段レプリカ法による電顕観察をした結果、表面構造は次の5型に分類できることを指摘した。すなわち、出現頻度の多い方から順に、磨滅構造 (abraded)、つぎはぎ構造 (lobate)、溶食構造 (corroded)、平滑構造 (smooth)、および平面構造 (faceted) などと名づけている。

同じ頃、Biedeman⁴⁾は、堆積物と堆積環境の相関関係について論じた際に、砂粒の表面構造を、成因をさぐる手がかりの1つとして観察した。彼によれば、水成砂の場合には、結晶形を反映した溶食溝がみられるが、風成砂のときには、不規則な衝突溝がみられるという。

また、石炭岩中の石英粒について、Krinsley and Donahue⁵⁾表面構造に4型あることを指摘し、それぞれ基質物質との相互関係で生じることを論じた。

これらの研究は、いずれも透過型電顕を用いたものであって、そのために、忠実度の高いレプリカのとり方についても、いく人かの研究者が手法の紹介をしている。

近年、Krinsley⁶⁾は、従来の研究を要約し、走査型電顕による石英砂表面の写真集を世に出した。

故三位博士が、このような海外における研究状況をどのようにみていたが、いまでは知ることが出きない。しかし、同氏は、たんに近代化の流行を追って、砂粒の表面構造を研究したものではなかったと思われる。多年にわたる堆積物の研究過程で、風成砂と水成砂の差異を識別しうる決定的な手がかりを探し求めていたにちがいない。また、同じ風成砂であっても、現世のものとの地質時代のものとの差異、といった時代的要素に関しても、区別の基準を考えていたはずである。そして、解決の有力な手段として、電顕像に期待を抱くに至ったものであろう。

従って、同氏が残したこの研究は、フィールドワークの基礎の上に立って、さらに微細構造へと進んだものであって、その意味において正統派的発想であり、また、今後の堆積物の研究に、貴重な先鞭をつけたものといえることができる。

試料およびその調整

試料は、出雲近辺の洪積世以降（現世を含む）のもの約15種類が当教室に保存されていたが、本論文に図示した8種類について、それらの産地は下記のとおりである。

1. 石英の破断面
2. 石英をボールミルにて、50時間空中回転したもの
3. 前期洪積世の風成砂、都野津層群 (F 3 の下位)、温泉津町菰口
4. リス・ウルム間氷期～ウルム氷期前期の風成砂 (古砂丘)、差海層上部、出雲市差海

5. 石英を、ボールミルにて50時間水中回転したもの
6. 現世の海浜砂，出雲市差海
7. リス・ウルム間氷期の水成砂，差海層下部，出雲市差海
8. 中新世の水成砂，布志名層，出雲市湖陵町

電顕は、スーパースコープ（日本電子KK，30B）を使用し、予めグレイティングレプリカにより倍率補正をして、2000倍で撮影した。

筆者らが使用した検鏡用メッシュは、2段レプリカ法によるものである。かつて、この研究の協力者であった藤井一泰（浜田・国府中学校）の談話によると、アセチルセルローズ膜の上に砂粒を分散させ、それをアセトンを入れた容器内において1段目のレプリカをとった、とのことである。この手法は、杉原・吉田⁷⁾⁸⁾が微小物体のレプリカ法について紹介したものと同様であったと思われる。この手法によれば、アセトン蒸気の濃度、砂粒の大きさ（重さ）などによって結果が左右されるので、その加減が難しい。

このような物体については、筆者らは次のような順序でレプリカをとっているのので、参考までに紹介しておきたい。

- ① 砂粒を洗浄し、乾燥させる。
- ② スライドガラス上に、接着剤アラルダイトまたはセメダインスーパーを、適度の厚さに塗布する。
- ③ その上に、砂粒をばらまく。
- ④ 接着剤が固化したのち、常法により2段レプリカをとる。

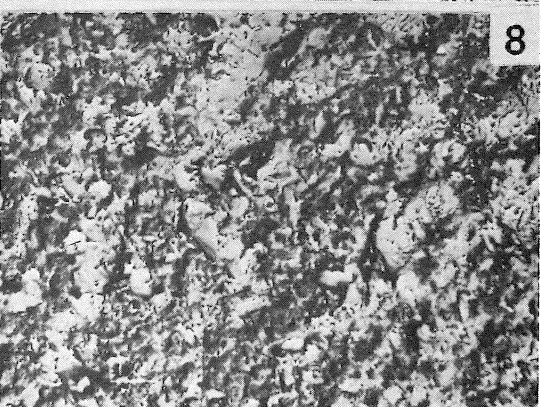
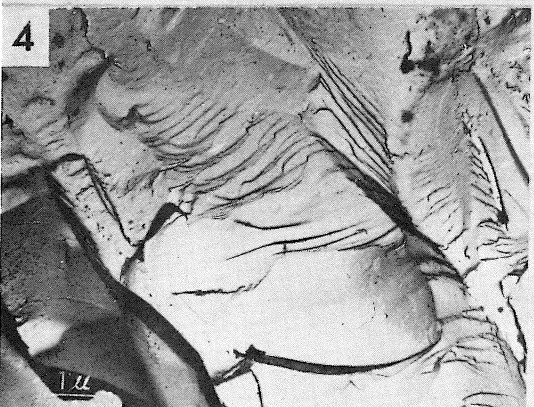
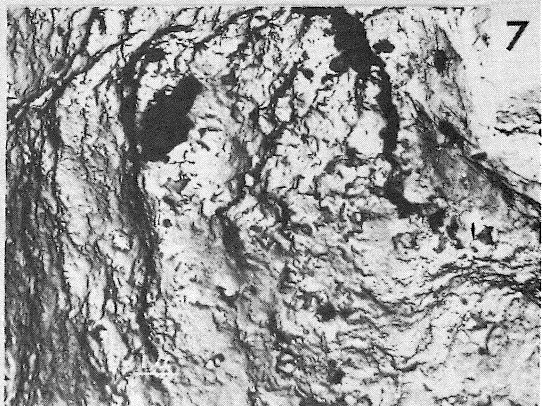
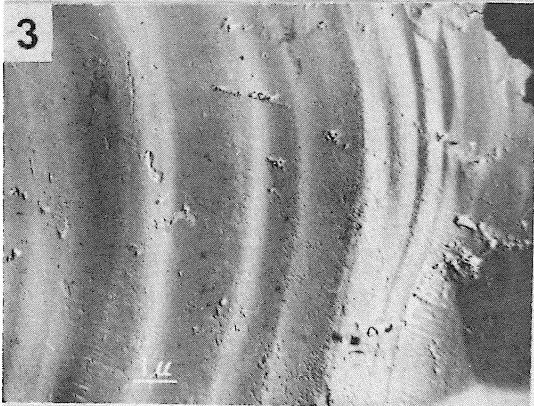
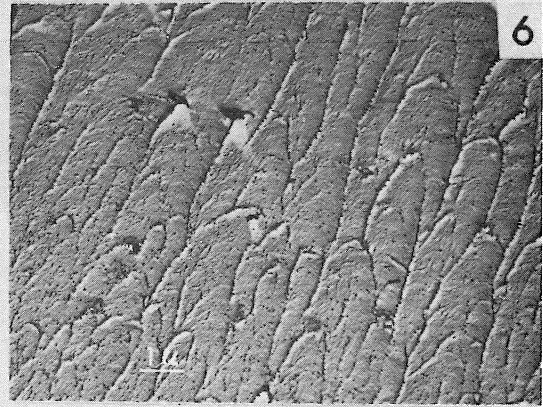
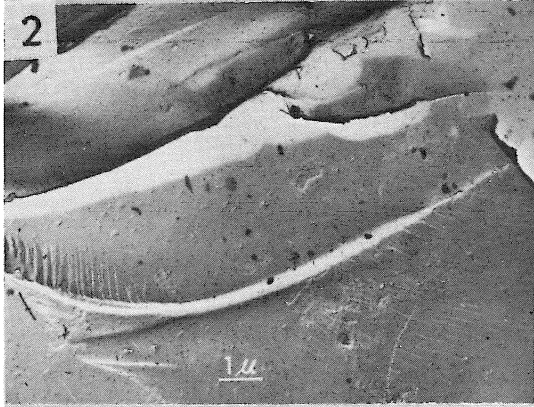
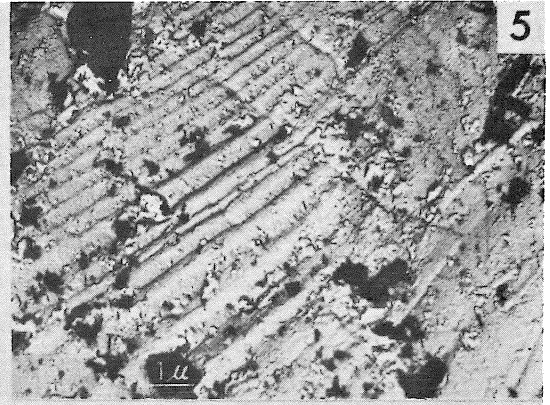
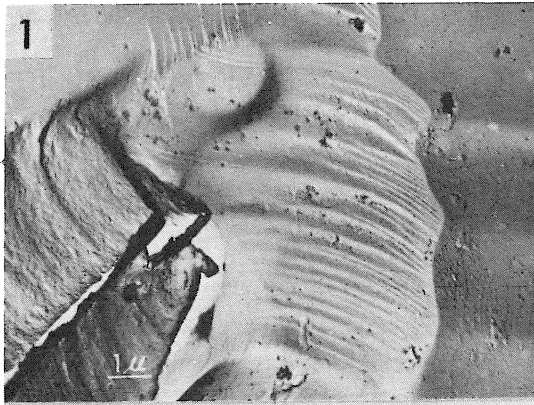
この際、接着剤の層が厚すぎると、砂粒が回転したり、埋没するし、逆に薄すぎると、鋭利な砂粒子の角が突出してレプリカがとり難いが、簡単に作業できる利点がある。

なお、多くの研究者が指摘しているように、前処理として、試料の洗浄が大切である。未処理のままでは、シュードレプリカの付着が検鏡の妨げになるし、その反面、洗浄処理の過度のものは、原構造を破損する恐れがある。筆者らが検鏡したレプリカは、この前処理が不充分であったようだが、もとの砂粒試料が無いので、保存中のシートメッシュをそのまま用いた。

観 察

石英砂の表面には、磨滅や溶解に起因するさまざまな微細構造が見られる。それらは、いずれも極めて局所的な現象であるので、連続性に乏しく、いくつかの構造が重複して複合的に現われていたり、また、小範囲で異質構造と隣接していることが多い。そのために、成因を反映した特徴的な構造を明確にすることは容易ではない。その上、これを記録する電子顕微鏡写真の範囲は小面積（2000倍のとき約 $15\mu^2$ ）であるから、個々の写真像をもって、すぐに全体を代表にさせることはできない。得られた電顕像が、どのような試料の、どの部分に相当するかを常に念頭に置かななくてはならない。

このような制約はあるが、表面構造をいくつかの型に分類することは可能であり、前項でも



紹介したように、既に数型の構造が識別されている。筆者らは、約15種類の試料を観察したが、これらの微細構造はしばしば認められた。しかし、多くの試料を、繰り返して観察しているうちに、問題点を、風成か水成か、という点に絞って、その相違を考察することにした。というのは、故三位博士の意図も1つはその点にあったことだし、用意されていた試料も、風成の標本と水成の標本の両者が含まれていたからである。

そこで、数型の表面構造のうち、貝殻状破断面とよばれるものに着目すると、風成のときは鋭利な割れ口ないし縁がみられることが多いのに対して、水成の場合には、多少とも丸味をおびたり、縁が磨耗したり、かつ、衝突や溶食によってできた溝（孔）や溶食溝（孔）がしばしばみられることが分かった。まず、石英粒の破断面においては、予期されるような鋭利な割れ口が現われる（第1図）。この石英粒を、空中および水中において人為的に回転させたのち、再びそれらの表面構造を観察すると、両者の間でかなり著しい差異が現われる。すなわち、空中回転のときは全体が平滑な中に、もともと同様の鋭利な貝殻状の割れ口が認められる（第2図）のに対して、水中回転の試料においては、表面全体に複雑な構造が生じていることがわかる（第5図）。

これは人為的・実験的な結果であるが、野外で採集した試料に関しても同じような現象がみられるのである。第3・4図は、野外において風成砂と判断された試料の表面構造であって、鋭利な破断面を示す。ただし、先にも述べたように、試料面全面にわたって、このような構造があるのではなく、むしろ逆に、局所的に残った構造である。水成砂の場合には、破断面の鋭利さはみられないが、その代わりに、溝や孔が多数散在している。そのために、不規則な細かい凹凸を生じていることが多いようである（第7・8図）。なお、海浜砂の1つの試料（第6図）においては、樹枝状の溝が発達していることが認められた。

従って、表面構造が全体として磨滅が進んで平滑化されているものの、その一部に鋭利な貝殻状破断面がみられるものは風成環境を指示するといえるだろう。これに対して、三位のいう三角溝や長溝などの発達が目立ち、一見して粗雑な感じのする表面構造を呈するものは、海成環境を示すものであろう。

ただし、砂粒子が、地質時代をつうじて、異った環境を経過したときに、どのような表面構造の変遷をたどるのか、その点の解明がきわめて不十分である。たとえば、砂粒子の堆積が、海成から水成へ、さらに海成へと変化したときを考えると、そこには新旧の表面構造が同時に刻まれているはずである。現在のところ、この点は不明確であるが、地質学的には大切な今後の課題である。

写真説明 第1図：石英の破断面、第2図：石英粒の空中回転後の破断面、第3・4図：風成砂の表面、第5図：石英粒の水中回転後の破断面、第6図：海浜砂の表面、第7・8図：水成砂の表面

要 約

- (1) 砂粒子の堆積相を考察する際に、その構成粒子の微細表面構造が1つの手がかりを与えてくれることを、石英砂を例にとって述べた。
- (2) 貝殻状割れ口の形態は、風成砂の場合には非常に鋭利であるのに対して、水成砂においては丸味を帯び、かつ破壊が進んでいることが多い。また、水成砂の表面には、細かい不規則な溝や孔が散在していることも多い。
- (3) この種の研究は、極めて局所的な現象をもって、全体を推論しがちであるが、今後は、なお多くの試料、特に個々の堆積相を代表する典型的な試料について、観察例を飛躍的に増やすことが必要である。
- (4) 観察手段としては、透過型電顕と走査型電顕の、それぞれの長所を併用することが、今後の方向であろう。

引 用 文 献

- 1) 三位秀夫・藤井勇 (1970). 風成砂と水成砂の粒度分布と砂粒表面構造 (演旨). 地質雑, 第76巻, 87-88頁
- 2) 三位秀夫 (1972). 石英砂粒の表面組織について. 三位秀夫博士遺稿論文集, 55-58頁
- 3) Porter, J. (1962). Electron microscopy of sand surface texture. *Jour. Sed. Petrol.*, Vol. 32, pp. 124-135.
- 4) Biedeman, E. W. (1962). Direction of shoreline environments in New Jersey. *ibid.*, Vol. 32, pp. 181-200.
- 5) Krinalley, D. and J. Donahue. (1968). Diagenetic surface textures on quartz grains in limestone. *ibid.*, Vol. 38, pp. 859-862
- 6) Krinsley, D. H. and Doornkamp, J. C. (1973). Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge Univ. Press.
- 7) Sugihara, K. and M. Yoshida. (1968). A Replica Technique for Small Particles and Fibres (Self-Moulding Replica). *J. Electronmicroscopy*, Vol. 17, pp. 156-157
- 8) 杉原和人・吉田稔 (1970). セルフモールディングレプリカ法. 電子顕微鏡試料技術集, 60頁. 誠文堂新光社