

南極リュツォ・ホルム湾で採取したコア中の 石英砂粒の表面組織

清水文健*¹・森脇喜一*²・伊藤真人*³

Surface Textures of Quartz Grains Obtained from an Iceberg and Submarine Sediments in Lützow-Holm Bay, Antarctica

Fumitake SHIMIZU*¹, Kiichi MORIWAKI*² and Mahito ITO*³

Abstract: Observation of the surface textures of quartz grains contained within glacial and glacio-marine sediments which were obtained from the Lützow-Holm Bay area was made by the scanning electron microscopy. These quartz grains contain from 55 to 80 per cent glacial ones. Many quartz grains have not only glacial but also wind-shaped characteristics. These characteristics indicate that the sediments passed through both glacial and windy environments. A few quartz grains have many V-shaped pits on their surfaces. This fact shows that some of the sediments received wave action near shore.

要旨: リュツォ・ホルム湾で採取された海底堆積物や、氷山中の shear plane に含まれていた石英砂粒の表面組織を、走査型電子顕微鏡で観察した。これらの堆積物は、位置から判断して明らかに大陸氷床による氷河成堆積物であり、氷河成と認められた砂粒の含有率は最低でも 55%、一般に 65~80% の値を示した。ところがこれらの砂粒のなかには、氷河成特有の表面組織を備えてはいるものの、丸みを帯びた凸型の外形や、風の影響を示す衝突痕と見られる凹みをもつものもあり、砂漠地域の砂粒の表面組織とも酷似するものが含まれていることがわかった。したがって、上記の堆積物は氷河の環境下だけではなく、強風の卓越する環境下にもおかれていたものと判断した。また、一部ではあるが、波浪の影響と判断される表面組織も認められた。

1. はじめに

大陸氷床によって形成された堆積物中の石英砂粒の表面組織については、南極大陸周辺の堆積物を対象とした。MARGOLIS and KENNETT (1971), MARGOLIS and KRINSLEY (1974) など多くの研究報告がある。しかし昭和基地周辺に分布する堆積物を対象とした研究報告はこれまでなかった。筆者らは、第 15 次、第 18 次、第 22 次南極観測において、その東端に昭和基地が位置するリュツォ・ホルム湾で採取された海底堆積物や氷山中の shear plane に含ま

*¹ 国立防災科学技術センター。National Research Center for Disaster Prevention, Science and Technology Agency, Tennodai 3-chome, Tsukuba 305.

*² 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

*³ 気象庁高層気象台。Aerological Observatory, Japan Meteorological Agency, 2, Nagamine 1-chome, Tsukuba 305.

れていた石英砂粒の表面組織を、走査型電子顕微鏡で観察し、いくつかの特徴を把握することができたので記載し、若干の考察をおこなう。なお、ここで記載した氷河成砂粒の含有率については、すでに伊藤・清水 (1988) で発表している。

2. 採取地点と観察方法

採取した堆積物は図1に示す通り、ホノール氷河沖の海底表層の堆積物 (Nos. 1, 2, 3), オングル海峡の海底堆積物 (Nos. 4, 5, 6), オングル島付近の冰山の中のティル (Nos. 7, 8), オングル海峡の海底の表層堆積物 (No. 9), およびリュツォ・ホルム湾中央部の海底の表層堆積物 (No. 10) の5地点の堆積物である。

石英砂粒表面組織の観察は、サンプルの化学的処理方法ならびに観察方法等、小疇ら (1974), 清水 (1975), 小疇ら (1978), 清水 (1980) に基づいている。すなわち、堆積物の化学的処理を行い、粒度をそろえ、それらの中から石英砂粒を無作為に20粒程度選んだ。そして砂粒表面に金蒸着を行った後、電子顕微鏡で観察した。

観察 (同定) は、KRINSLEY and TAKAHASHI (1962), KRINSLEY and DOORNKAMP (1973), MARGOLIS and KRINSLEY (1974) などの観察結果から得られた氷河成表面組織の特徴を基準

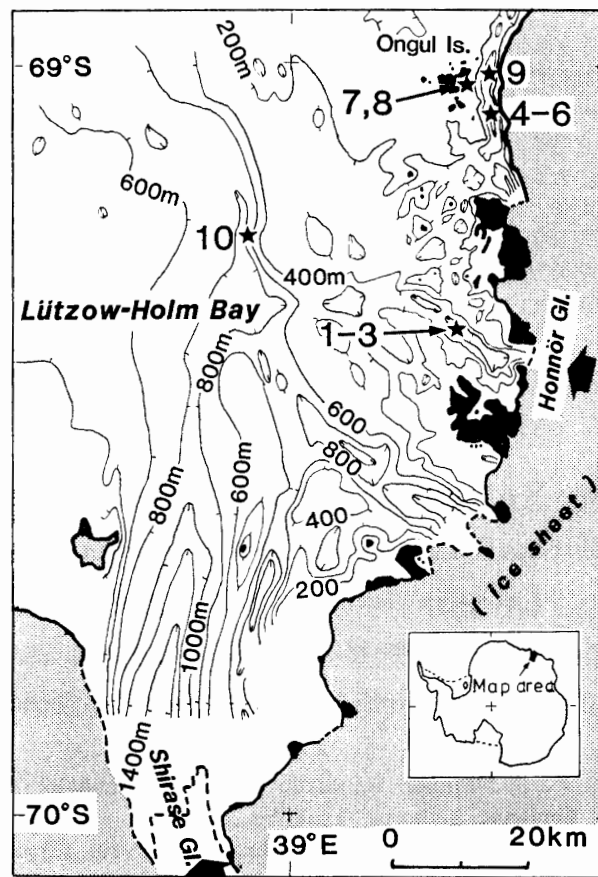


図1 試料採取地点位置図
Fig. 1. Position of sampling points.

とした。すなわち、大規模な貝殻状破断面、大きな破断ブロック、直線的な溝、ステップ状の破断面、弧状のステップ、角ばった外形、などの特徴である(清水, 1975)。また、表面の10%以上に氷河成表面組織が認められる場合、その砂粒を氷河成、選んだ石英砂粒の少なくとも50%以上にその氷河成砂粒が含まれる場合、その砂粒が含まれていた堆積物を氷河成堆積物、と認定した(MARGOLIS and KENNETT, 1971; 小疇ら, 1974; 伊藤・清水, 1988)。

3. 観察結果

観察(同定)結果、ならびに粒度分析結果(伊藤, 1987)を表1に示し、具体的な表面組織を写真1~40に示す。次に、試料採取地点ごとに観察結果や表面組織の特徴を記載する。

3.1. ホノール氷河沖の堆積物の試料(Nos. 1~3)

これらの試料は、ホノール氷河沖の水深641mのトラフから重力式採泥器で採取した40cmコアに含まれていた粘土質の堆積物である。なお、表層からの深さは表1に示すとおりである。粒度分析結果では、粘土とシルトの含有率が97%を超える。また、比較的観察が容易な0.5mm以上の砂粒は、試料約300g中2g程度と日本山岳地域のティルと比べ、極端に少ない。

観察には径0.062~2mmの砂粒を対象とするが、その中で氷河成と認定された石英砂粒の含有率は、3試料とも70%前後であった。この割合は、日本山岳地域に分布するティルより10%以上高い(伊藤・清水, 1988)。以下に特徴的な表面組織について述べる。

写真1~3, 5, 7, 8, 11, 12のような貝殻状破断面や大きなステップといった氷河成の特徴と考えられている表面組織が、数多くの試料に認められる。外形については、氷河成砂粒特有の鋭い外形を示すものもあるが、なかには丸みを帯びたものも少なくない。特に写真1, 4, 6, 9, 10などは、丸みをもった凸形の外形を示す。このような特徴をもつ砂粒のなかには、所々に明確な貝殻状破断面やステップといった氷河成の表面組織も認められる。写真9, 10では、丸みを帯びた表面に、氷河成擦痕状の溝が認められる。このような表面組織は、日本アルプスの試料ではあまり認められない。また写真10をよく見ると、写真左上にV字型ピット状の溝も認められる。このようなピットは波浪作用の影響と考えられている(MARGOLIS and KRINSLEY, 1974)。リュツォ・ホルム湾沿岸では、夏季に開水面がしばしば生じており、露岩地域には、小規模ではあるが砂浜海岸も存在し、現在も比重の異なる砂粒の選別が波浪により行われている。また、そこにはmarine-boulder pavementや波食台までも含む隆起汀線が形成されており(吉田, 1971; HIRAKAWA *et al.*, 1984)、過去にはかなり強い波浪が発生していたと考えられる。こうした環境下にあった砂粒が、後にのべるような過程を経て海底に堆積したものであろう。しかし、このようなピットを示す砂粒はまれにしか含まれず、No. 1からNo. 3の3試料では、表面組織のちがいはほとんど認められず、前述したように氷河成と認められる砂粒の含有率も大きく変わらない。

表 1 試料採取地点, 観測結果, 粒度組成

Table 1. Characteristics of samples.

No.	Sampling point and core number	Quartz grain			Grain size (%)			Photo No.
		Total number	Glacial grain		Sand	Salt	Clay	
			number	content				
1	Off Honnör Glacier (641 m deep), 15-101801 Core depth: 0 to 18 cm	18	13	72%	2.5	40.5	57.0	1, 2
2	Off Honnör Glacier (641 m deep), 15-101801 Core depth: 18 to 28 cm	21	14	67%	—	—	—	3- 7
3	Off Honnör Glacier (641 m deep), 15-101801 Core depth: 28 to 38 cm	18	12	67%	—	—	—	8-12
4	Ongul Strait (608 m deep) 15-110703b Core depth: 0 to 10 cm	21	17	81%	2.8	50.5	48.7	13-20
5	Ongul Strait (608 m deep) 15-110703b Core depth: 10 to 20 cm	23	17	74%	2.7	45.8	51.5	21, 22
6	Ongul Strait (608 m deep) 15-110703b Core depth: 20 to 30 cm	18	10	56%	2.9	48.7	48.4	23, 24
7	Coarser part of shear plane till in an iceberg near Ongul Islands 18-112101a	22	17	77%	86.4	8.1	5.5	25-29
8	Finer part of shear plane till in an iceberg near Ongul Islands 18-112101b	23	17	74%	70.1	23.4	6.5	30-33
9	Ongul Strait (539 m deep) 81-102701 Surface of sea bottom	20	11	55%	2.5	57.3	40.2	34-36
10	Central trough in Lützow-Holm Bay (778 m deep), 81-110401 Surface of sea bottom	19	15	79%	—	—	—	37-40

Sampled year (Nos. 1-6: 1974; Nos. 7, 8: 1977; Nos. 9, 10: 1981)

ところで砂粒を 500 倍以上で観察すると, 写真 11 に認められるような斑点状の付着物が存在している場合が多い。おそらく, これは シリカの沈澱が始まる初期の状態を示すものと考えられ, 明らかに氷河成の表面組織や上記のまるみを帯びた表面組織が形成された後につけられたものである。

3.2. オングル海峡の堆積物の試料 (Nos. 4~6)

これらの試料は, オングル海峡の 608 m 深の海底の 30 cm コアに含まれていた粘土質な堆積物である。これら 3 つの試料ともに粘土含有率は 50% 程度を示し, 粘土とシルトの含有率合計値は 97% 以上である。したがってこれらの試料も, ホノール氷河沖の No. 1~No.

3 と同様、観察可能な砂粒は少数しか含まれていない。

氷河成と認定された砂粒の含有率は、コアの下部ほど低い値を示すものの、最も低い No. 6 でも日本山岳地域のティルとほぼ同じ値である。

表面組織は写真 13~16, 18~23 に示すように、Nos. 1~3 と同様の氷河成表面組織の特徴がみられる。特に No. 4 (写真 18) では氷河成擦痕状の溝が認められる。なお、写真 10 と同様に、V 字型ピット状の溝も一部に認められる。外形についても、写真 13, 15 のように丸みを帯びたものも多い。この傾向は、下部ほど顕著である。しかし、コアの下部ほど氷河成砂粒の含有率が低く、丸みを帯びた砂粒が多いことは、なんらかの意味をもつと思われるが、現在のところその意味するところはわからない。

また Nos. 1~3 と同様、斑点状の付着物(シリカの沈澱物)が写真 16, 17, 24 のように認められる。いずれも、一ないし複数回のシリカのコーティングが行われた表面組織の上に、再度シリカの沈澱が始まりつつあるように見える。

3.3. 氷山中のティルの試料 (Nos. 7, 8)

Nos. 7, 8 は、オングル島付近の氷山の中に介在する堆積物、すなわち氷河中の shear plane のティルである。Shear plane は数層存在するが、それらの中で No. 7 が粗粒な層のもの、No. 8 がやや細粒な層のものである。粒度分析値では、両層とも粘土含有率はそれほど異ならないが、No. 8 の方がシルトを多く含み、砂は少ない。このように、両試料とも砂質ではあるが、表 1 に示す通り、氷河成と認められた砂粒の含有率は両試料とも 75% 前後と高い値を示す。

砂粒表面には、写真 26, 27, 31, 32 などのように大小さまざまな貝殻状破断面や弧状ステップなど氷河成の表面組織が顕著である。しかし外形は、Nos. 1~6 に比べより丸みを帯びている特徴がある。これらの丸みを帯びた砂粒のなかには、写真 25, 29, 30 のように氷河成の表面組織がほとんど認められないものもある。

両試料ともに斑点状のシリカの沈澱が認められるが、その付着基盤のより広範囲にわたるシリカの沈澱の形状は、No. 7 (写真 28) と No. 8 (写真 33) では若干異なっているようである。写真 28 の場合は、斑点状のシリカの沈澱がより発達し、島状になったもの。写真 33 は、シリカの斑点がいくつか認められるものの、その斑点が付着する表面組織、完全にコーティングされてしまった状態を示すと考えられる。しかし、写真 33 のひびわれ状の模様についてはよくわからない。

貝殻状破断面や弧状のステップは、砂粒の片理面としてある一定の方向に形成されたものが多いが、写真 27, 31 などにみられるように複数の方向のものも認められることがある。

3.4. オングル海峡の堆積物の試料 (No. 9)

この試料は、オングル海峡の 539 m 深の海底の表層堆積物である。粘土、シルトともに多く含み、両者の含有率合計値は 97.5% と高い。ところが、氷河成と認定された砂粒の含有率

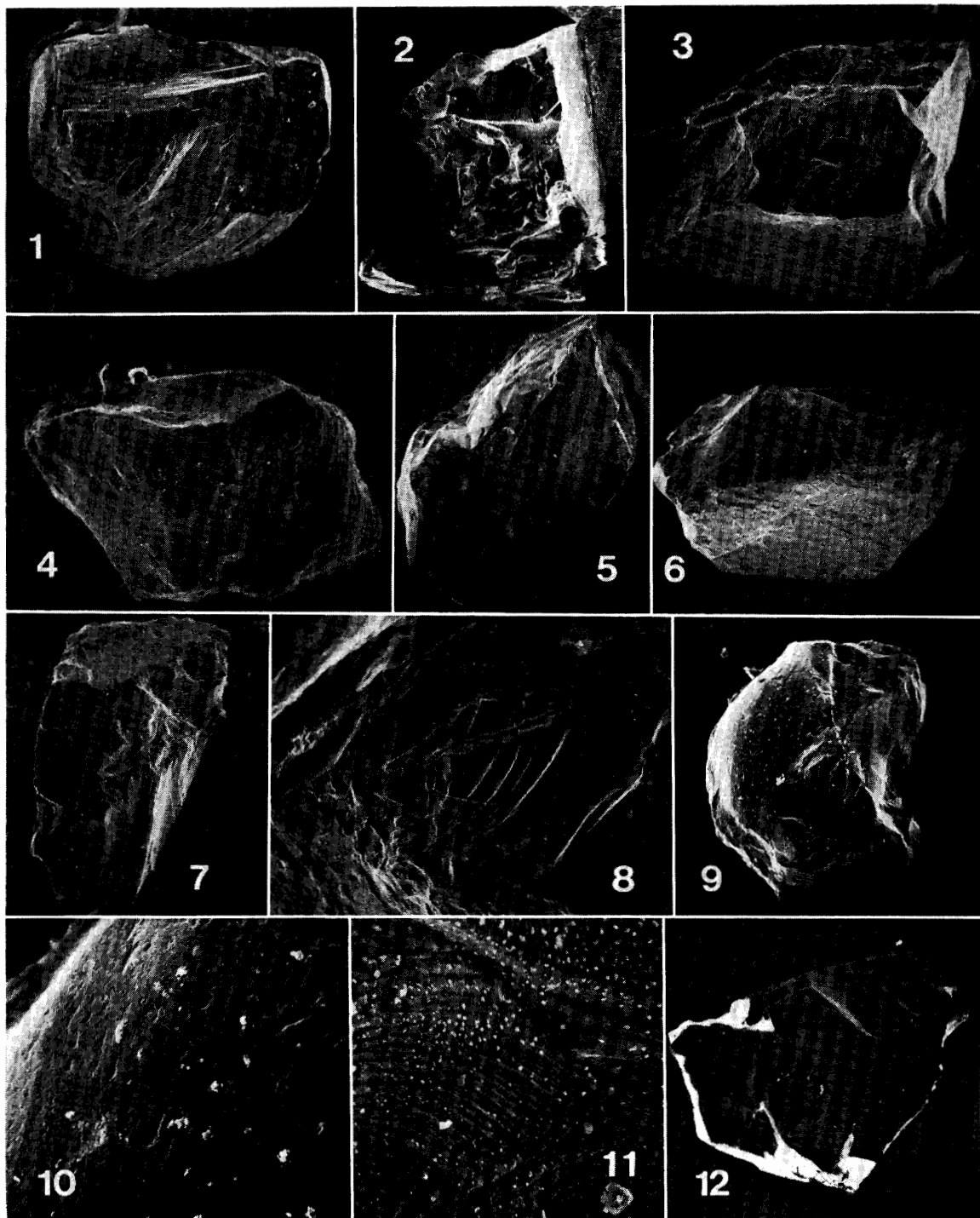
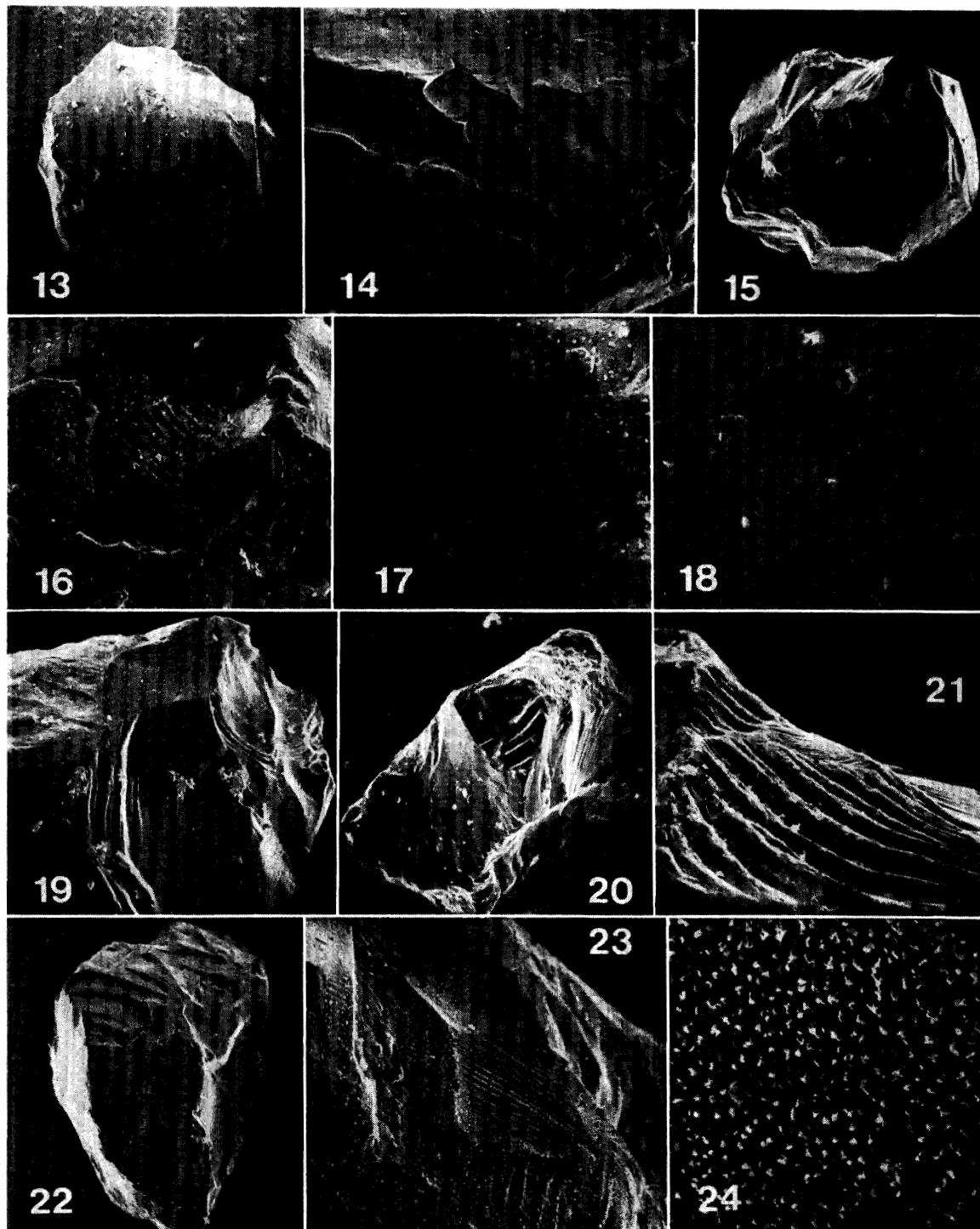


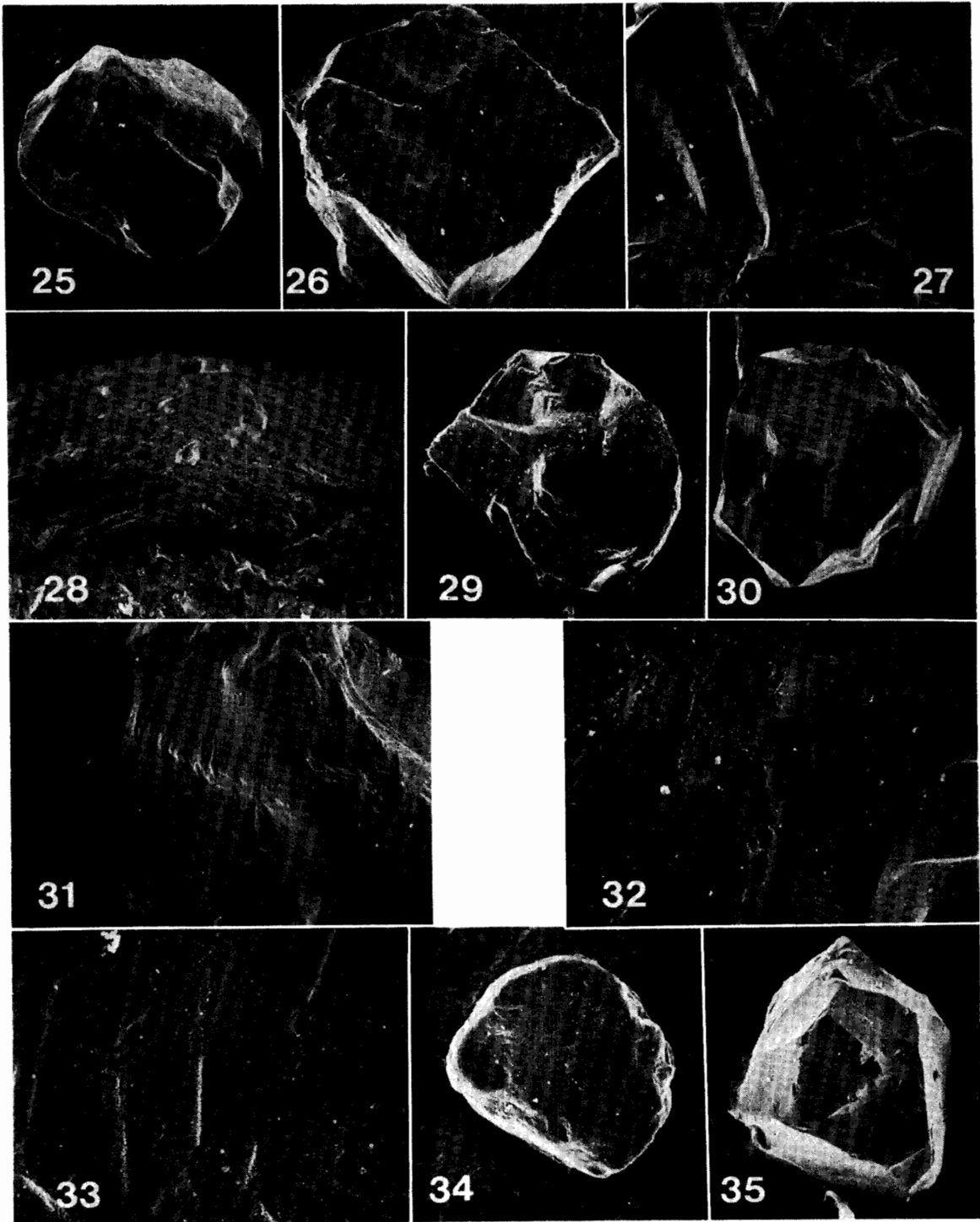
写真 1-40 電子顕微鏡による石英砂粒表面組織. 1, 2: No. 1, 3-7: No. 2, 8-12: No. 3, 13-20: No. 4, 21,22: No. 5, 23, 24: No. 6, 25-29: No. 7, 30-33: No. 8, 34-36: No. 9, 37-40: No. 10. なお, 写真 10, 22, 30, 31, 35 は, 伊藤・清水 (1988) に掲載したものと同一ものである.

Photos 1-40. Surface textures of quartz grains observed by the scanning electron microscope (shown in Table 1).



は 55% で、日本山岳地域のティルの含有率平均値 (伊藤・清水, 1988) に近いものの、今回観察した南極の試料の中では最も低い値となった。

この理由は、観察した砂粒の多くが、丸みを帯びた凸形の外形を呈していることにある。No. 9 の試料, 20 粒中, このような外形を呈するものは 16 粒ほどあり, 全く氷河成の痕跡を示さない砂粒は 6 粒もある。写真 34, 36 がその例である。写真からもわかるように, シリ

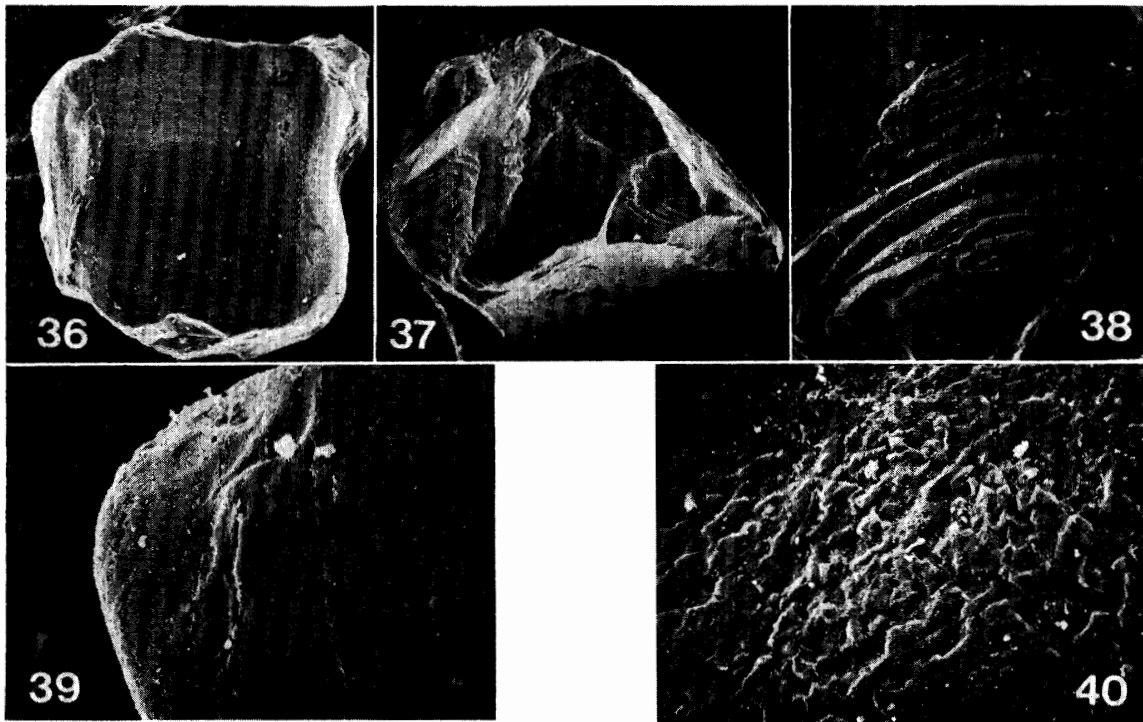


カのコーティングがかなり厚いため、完全に基の表面組織がかくされてしまっている。

3.5. リュツォ・ホルム湾の堆積物の試料 (No. 10)

No. 10 は、リュツォ・ホルム湾中央部のトラフ中、778 m 深の海底の表層堆積物である。砂を多く含むため、粒度分析はできなかった。

この試料の氷河成と認められた砂粒の含有率は、79% と高い値を示した。写真 37, 38 に



<u>0.64 mm</u>	Nos.5,7,9,12,13,30,37	<u>0.24</u>	6,14,19,31,36,38	<u>0.06</u>	18,21,39,40
<u>0.48</u>	15,20,22,25,29,34, 35	<u>0.14</u>	8,27	<u>0.05</u>	11,24
<u>0.32</u>	1,2,3,4,26	<u>0.10</u>	10,16,17,23,28,32	<u>0.03</u>	33

示すように、貝殻状破断面や弧状のステップ、鋭角なリッジをもつ外形を呈するものが多い。しかし、丸みを帯びた砂粒も含まれ、写真 39 のように全くリッジがないものも認められる。

この試料も No. 8 や No. 9 と同様、シリカの沈澱が広範囲に認められる。また 1 粒ではあるが、写真 40 のように白蟻が木片を食したようなシリカの沈澱模様を示す表面組織も認められた。シリカの沈澱の仕方にも、何種類かのパターンがあるらしい。

4. 考察 (まとめ)

南極地域、特に昭和基地周辺の氷山中に介在するティル、および海底堆積物に含まれる石英砂粒の表面組織を電子顕微鏡で観察した。

これらの堆積物は、分布している位置から判断して、明らかに大陸氷河の氷河作用によって削剝・磨耗され、運ばれてきたものと考えられる。事実、氷河成と認定された砂粒の含有率は、最低値でも 55%、一般に 65~80% の値を示すことがわかった。これらの値は、伊藤・清水 (1988) が報告したように、日本山岳地域のような山岳氷河によって形成されたティルの平均含有率に比べ、10% 以上も高い。

ところが、これらの砂粒の中には、貝殻状破断面や弧状のステップといった氷河成特有の

表面組織を備えてはいるものの、丸みを帯びた凸形の外形を示すものも多い。なかにはほとんど円礫に近い形状を示すものも含まれている。周辺の環境や堆積物の位置から判断しても、大規模な河流によって砂粒が磨耗したとは考えられない。さらに上記の特徴は KRINSLEY and DOORNKAMP (1973) の示した砂漠地域の砂粒の一般的な表面組織に酷似し、同じく南極露岩地域の現成砂丘堆積物中の砂粒の表面組織と一致した。

ほぼ定常的に強風が吹く環境下では、風によって砂粒が飛ばされ、砂粒同士が衝突することによって角がとれ、全体的に丸みをおびるようになる。倍率を上げて砂粒表面を観察すると、全体的に丸く見えた表面には、細かい凹凸があり、決してなめらかとなっていない。写真 39 では、左上に、不明瞭ながら、衝突痕と思われる凹みが認められる。このような特徴は、南極大陸に吹く強い風の影響によるものと考えざるを得ない。また Nos. 7, 8 のように、採取時になお氷中に夾在していたサンプルに丸みを帯びた砂粒が多かったのは予想外であった。この事実から、後に示すように、砂粒が風食を受けた後に氷河に取り込まれたという過程を考えた。さらに一部ではあるが、波浪の作用による V 字型ピットなどの特徴をもつ砂粒が含まれていることから、一度、海岸部に堆積したものが、沿岸流で運ばれたり、風で海氷上に吹き飛ばされ、海氷の漂流に伴って運ばれて、その融解によって海中に落下して再堆積したのがあると考えられる。

ところで、強風の卓越する環境から別の環境へ変わると、表面の凹凸をかくすように、シリカの沈殿が始まり、なめらかな表面を示す石英砂粒が出現する。逆に溶解作用が激しいと、むしろ凹凸を強調するようになる。また、風食された後、シリカに厚くコーティングされた石英砂粒が、再度強風の卓越する環境下におかれると、なめらかな表面に衝突痕が掘られることになる。したがって砂粒の形成過程を考える場合は、このような複数の形成過程も考慮しなければならない。

いずれにしても、前に述べた事実より、観察した石英砂粒は、基本的に氷河地域と強風の卓越する地域の両方の環境下で、その表面組織が形成されたものと考えてよいであろう。この場合、砂は氷食作用、あるいは露岩地域では周氷河作用（凍結-破碎作用）によって生産され、その後、風による磨耗作用を受け、氷河によって運搬されたと考えた方がよいであろう。しかし、氷河の前進期には、逆に風食された後、砂粒が氷河中にとり込まれ、氷河成表面組織を有するようになることもあろう。これらの前後関係についての結論は、今回の観察からは明確に決めることは困難であった。今後、より細部にわたる詳細な観察による吟味が必要となる。また風による磨耗作用をどこで受けたか、一部ではあるが波浪の作用を示す V 字型ピットがいつ形成されたかなどについても今後の研究課題である。

謝 辞

ここで観察した試料は、第 15 次、第 18 次、第 22 次南極観測隊員の協力を得て採取さ

れたものであり、記してお礼申し上げます。

文 献

- HIRAKAWA, K., ONO, Y., HAYASHI, N., ANIYA, M., IWATA, S., FUJIWARA, K., MORIWAKI, K. and YOSHIDA, Y. (1984): Antarctic geomorphological map of Langhovde (with explanatory text, 63 p.). Spec. Map Ser. Natl Inst. Polar Res., No. 1, Tokyo, Natl Inst. Polar Res.
- 伊藤真人 (1987): 日本山岳地域における氷河性堆積物のマトリックスの粒度特性. 地形, **8**, 183-192.
- 伊藤真人・清水文健 (1988): 日本山岳地域に分布する氷河性堆積物に含まれる氷河成石英砂粒の含有率. 地形 (投稿中).
- 小疇 尚・杉原重夫・清水文健・宇都宮陽二郎・岩田修二・岡沢修一 (1974): 白馬岳の地形学的研究. 駿台史学, **35**, 1-86.
- 小疇 尚・杉原重夫・清水文健・下川和夫 (1978): 氷河堆積物中の石英砂粒表面組織. 明治大学人文科学研究所紀要, **17**, 1-10.
- KRINSLEY, D. H. and DOORNKAMP, J. (1973): Atlas of quartz sand grain surface textures. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 91 p.
- KRINSLEY, D. H. and TAKAHASHI, T. (1962): Surface texture of sand grains—An application of electron microscopy: glaciation. Science, **138**, 1262-1263.
- MARGOLIS, S. V. and KENNETT, J. P. (1971): Cenozoic paleoglacial history of Antarctica recorded in Subantarctic deep-sea cores. Am. J. Sci., **271**, 1-36.
- MARGOLIS, S. V. and KRINSLEY, D. H. (1974): Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. Am. J. Sci., **274**, 449-464.
- 清水文健 (1975): 白馬松川谷における氷河堆積物中の石英砂粒表面組織. 日本の氷期の諸問題, 式正英編. 東京, 古今書院, 72-87.
- 清水文健 (1980): 氷河堆積物に含まれる石英砂粒の化学的作用による表面組織. 国立防災科学技術センター防災科学技術研究資料, **50**, 1-29.
- 吉田栄夫 (1971): 東南極プリンスオラフ海岸の隆起汀線と塩湖. 現代の地理学, 東京, 古今書院, 93-118.

(1988年5月9日受理)