

東南極・宗谷海岸の陸上沿岸露岩域に点在する未固結細粒堆積物の
粒度組成の特徴と成因岩崎正吾¹・三浦英樹¹・前杵英明²Grain-size distribution and origins of unconsolidated fine sediments in ice-free areas,
Sôya Coast, East Dronning Maud Land, East AntarcticaShogo Iwasaki¹, Hideki Miura¹ and Hideaki Maemoku²

(2005年6月10日受付; 2005年9月30日受理)

Abstract: Unconsolidated fine sediments (UFS), sporadically deposited in Sôya Coast ice-free areas, have often been described as glacial deposits (till) or subglacial till in previous studies, but their genesis and depositional environments have never been discussed so far. In this study, 95 samples of UFS were analyzed for grain-size distribution, and their properties and origins were examined by contrast with the grain-size distribution of primary subglacial-debris (PSD): debris in basal ice and lodgement tills. Primary subglacial-debris is composed of a very broad range of grain size from clay to sand, and exhibit a typically bimodal frequency distribution with peaks in sand and clay parts. In contrast, some of the UFS covered by gravel or raised beach deposits have the same grain-size distribution with PSD, although almost all UFS consist mainly of clay and/or silt and exhibit various frequency distributions. Therefore, it seems reasonable to conclude that the UFS contains abundant reworked materials from the PSD, which were widely deposited on the Sôya Coast formerly ice-free areas.

要旨: 宗谷海岸露岩域に点在する未固結細粒堆積物は、従来の研究で氷成堆積物(ティル)や氷河底ティルと記載されてきたが、その成因や堆積環境について検討されたことはなかった。本研究では、未固結細粒堆積物95試料の粒度を測定し、氷河底成岩屑(底面氷中の岩屑とロジメントティル)の粒度組成との比較によって、それらの成因を検討した。その結果、氷河底成岩屑は粘土から砂までの幅広いサイズの粒子で構成され、砂分と粘土分にモードが現れるバイモーダルな頻度分布で特徴づけられることが明らかとなった。一方、未固結細粒堆積物の大部分は主に粘土とシルトから成り、多様な粒径頻度分布を持つ。ただし、礫や隆起海浜堆積物に覆われる未固結細粒堆積物には氷河底成岩屑と同じ粒度組成を持つものがある。これらのことから、宗谷海岸露岩域の未固結細粒堆積物は、その地域にかつて広く堆積していた氷河底ティル由来の堆積物が再移動した物質を大量に含むと考えられた。

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

² 広島大学大学院教育学研究科. Graduate School of Education, Hiroshima University, Kagamiyama 1-chome, Higashi-hiroshima 739-8524.

1. はじめに

第四紀にたびたび氷床に覆われた東南極・宗谷海岸の陸上沿岸露岩域(図1)は、その氷床の変動史や氷床底における侵食・堆積環境を様々な地形・地質学的証拠として記録している。それらの観察事実から過去の氷床の変動史や融解史を帰納的に復元するという試みは、日本の南極観測(JARE)が開始された当初から多くなされてきた。近年の研究では、東南極氷床の拡大がLGM(Last Glacial Maximum)よりも前の45-35 ka BPに大規模であったこと(Miura *et al.*, 1998a)や、最終氷期における急激な氷床融解の可能性(Sawagaki and Hirakawa, 1997, 2002; Miura *et al.*, 1998b)が指摘され、Miura *et al.* (1998c)が示した相対的海水準変動データを用いたグレイシャル-ハイドロアイススタシーの計算に基づく新たな氷床モデルの構築(Nakada *et al.*, 2000)もなされている。

これら従来の研究では、隆起海浜地形とそれを構成する主に砂サイズ以上の粗い粒子からなる堆積物やストリエーションなどの基盤岩侵食痕などの面的分布のよい野外の証拠が注目されてきたが、存在が知られていたものの分布の悪い堆積物や地形にはほとんど注意が払われてこなかった。宗谷海岸露岩域に点在する未固結細粒堆積物もその一つである。その堆積

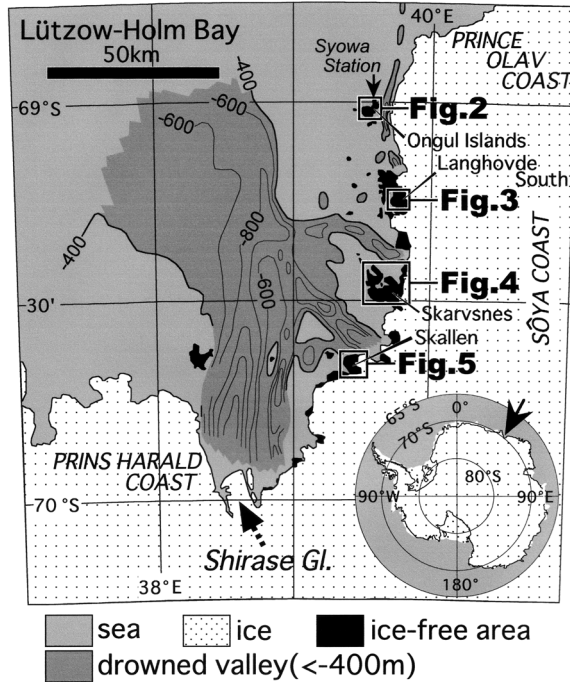


図1 宗谷海岸の陸上沿岸露岩域

Fig. 1. Terrestrial ice-free areas along the Sôya Coast in East Antarctica, and study areas (rectangular areas).

物は、従来の報告で砂やシルトからなると記載され、グラウンドモレーン（底堆石）に由来する氷成堆積物（ティル）（Yoshida, 1983; 吉田・森脇, 1986）、あるいは氷河・氷床底で形成された典型的ティル（氷河底ティル）（Sawagaki and Hirakawa, 2002）と解釈されている。もし、それらが一次堆積（初生）の氷河底ティルあるいはその二次堆積物であるなら、その存在は第四紀の東南極氷床の底面環境と変動史に関して重要な意味を持つ。なぜなら、氷河底ティルの存在は、かつての氷床が底面氷中に岩屑を伴っていたか氷床下で未固結堆積物を生成・変形していたこと、すなわち氷床底面が少なくとも部分的に融解していたことを示し、同時に氷床が比較的容易に流動できる状態にあったことを意味するからである（例えば、Hart, 1998）。このことは、東南極氷床は底面凍結状態の比較的安定な氷体であるため、グローバルな海水準変動・気候変動に対するその影響は北半球氷床や西南極氷床に比べて小さい、という従来の研究における一般的な見解（例えば、Benn and Evans, 1998）と異なる。

しかし、従来の報告における宗谷海岸露岩域の未固結細粒堆積物の成因に関する解釈には、明確な根拠が示されていないのが現状である。第3章で述べるように、堆積物が氷河底ティルであるか否かの判断は、構成物質の粒度組成や堆積・変形構造などから総合的に行う必要があるが、宗谷海岸露岩域に分布する大部分の未固結細粒堆積物は明瞭な堆積・変形構造を示さない。そこで本研究では、堆積物のもっとも基本的な物性の一つである粒度組成に着目し、氷河底成岩屑（subglacial debris: 氷河底ティルの起源物質である底面氷中の岩屑と氷河底ティルの一種であるロジメントティル）と確実に認定しうる試料の粒度組成の特徴を明らかにした上で、それとの比較によって本調査地域に分布する未固結細粒堆積物の成因を検討する。

2. 試料と分析方法

本研究で用いた試料は、著者らが第45次南極地域観測隊（JARE-45）での夏調査時（2003年12月-2004年2月）に採取したものである。氷河底成岩屑と確実に認定しうる試料は、スカーレンにおいて現在の氷床末端に露出している底面氷中の岩屑（3試料）と、スカルスネス北部のオーセン湾東岸に堆積しているロジメントプロセスによって形成された氷河底ティル（ロジメントティル）（Yoshida, 1983）（19試料）である。未固結細粒堆積物の採取は、堆積場の地理的位置（露岩域の違い）・巨視的な地形的位置（山頂付近の凸形斜面・山腹の直線状斜面・谷底付近の凹形斜面・隆起海浜を含む過去から現在の海岸地域）の違いを考慮して行った。礫を混在する場合は礫を除いた部分を採取した。試料の採取地点と数は、オングル諸島（約11.4 km², 図2）の5地点からの5試料およびラングホブデ南部（約24.4 km², 図3）の12地点からの12試料、スカルスネス（約61.1 km², 図4）の26地点からの47試料、スカーレン（約14.4 km², 図5）の19地点からの49試料、計62地点113試料である。これらには、未固結細粒堆積物と同じ露頭に現れていた隆起海浜堆積物などの比較的粗粒な堆

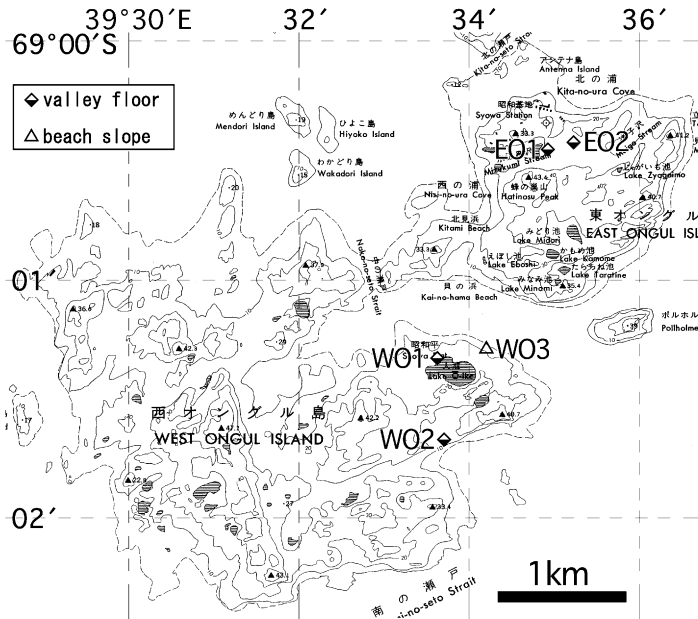


図 2 オングル諸島における試料採取地点・番号・地形的位置
 Fig. 2. Sites, numbers and locations of samples from the Ongul Islands.

積物 (15 試料) と融氷水の懸濁物質 (3 試料) を参考試料として含めた。

それらの粒度分析に際しては、まず始めに風乾した試料約 100 g に分散剤として 0.2% ヘキサメタリン酸ナトリウム水溶液約 10 ml を加え、約 5 分間の超音波処理を行った。次いで、分散処理直後の懸濁液を直ちにレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置 SALD-3100 (島津製作所製) の攪拌槽に投入し、粒度を測定した。この装置は、粒子直径 0.05–3000 μm の範囲でのシームレスな測定が可能であり、光源として赤色半導体レーザー (波長 690 nm) を、受光部として合計 81 素子の変形同心円センサーを備えている。本研究では、受光部センサーごとに光強度を 128 回検出し、それを 2 秒の間隔をあけて 16 回測定した光強度分布データの平均値から、粒子の屈折率を 1.70–0.20i として粒度分布が自動計算されるように測定条件を設定した。本論では、 μm スケールで出力された測定結果を、碎屑性堆積物の構成粒子の粒度を表現するのによく用いられる ϕ (ファイ) 尺度 (例えば、宮本ら, 1998) に変換して示した。その尺度は、mm 単位の粒子径を d , 1 mm を d_0 とすると $\phi = -\log_2 d/d_0$ で定義される無次元数である (McManus, 1963)。なお、本文中では堆積物試料の粘土 ($\leq 8\phi$, 1/256000 μm)・シルト ($\leq 4\phi$, 1/16000 μm)・砂 ($\leq -1\phi$, 2000 μm) の端成分比 (Wentworth, 1922) を採取高度・堆積場の地形的位置とあわせて表に示し、詳細な粒度分析結果や地理情報については今後の研究に資することを意図して巻末に付録として示した。なお本調査地域では、氷床の被

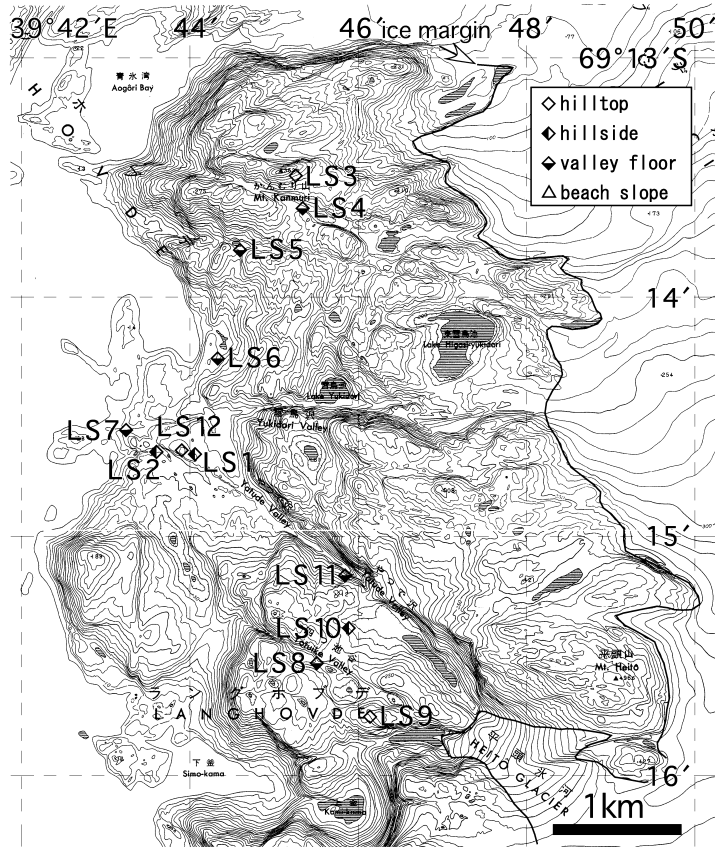


図3 ラングホブデ南部における試料採取地点・番号・地形的位置
 Fig. 3. Sites, numbers and locations of samples from the Langhovde South.

覆から解放されて以降、ほぼ無植被の環境が継続してきたと考えられることから、本研究では、粒度分析に際して有機物の除去処理を省略した。

本稿では、多数の未固結細粒堆積物の粒度組成の特徴と成因を確実な氷河底成岩屑と確実に認定しうる試料との比較によって検討する。このように多数の堆積物を比較する研究は、粒子の大きさやそろい方を表す代表値（平均粒径値・中央粒径値・標準偏差値・最頻値・淘汰度・歪度・尖度）に基づいて行われる場合が多い。しかし後述するように、基準となる試料である底面氷中の岩屑とロジメントティルの粒度組成は、共に粘土から砂までの幅広いサイズの粒子からなり、砂分と粘土分においてそれぞれ主モードと副モードが現れるというバイモーダルな粒径頻度分布を持つことに特徴があり、そのような特徴は上記の代表値では十分に表現されない。したがって本稿では、粘土・シルト・砂の端成分比と粒径頻度分布に注目して堆積物の粒度組成の特徴を表現する。なお、端成分比による堆積物の分類は

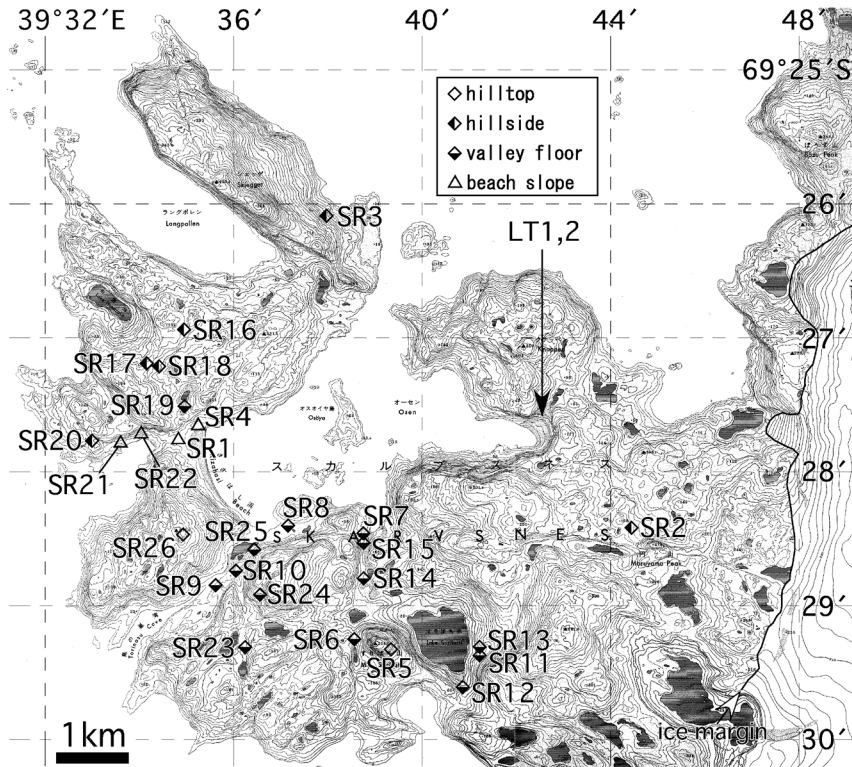


図 4 スカルプスネスにおける試料採取地点・番号・地形的位置
 Fig. 4. Sites, numbers and locations of samples from the Skarvsnes.

Shepard (1954) によって提唱された区分に従い、また粒径頻度分布については調査結果から明らかとなった類型パターンの違いによって次のような 12 種類のタイプ区分を行った。すなわち、

- ・タイプ 1: 砂分に主モード、粘土分に副モードを持つ。
- ・タイプ 2: 砂分から粘土分にかけてほぼ一定。
- ・タイプ 3: シルト分に主モード、粘土分に副モードを持つ。
- ・タイプ 4: 砂分/シルト分境界に主モード、粘土分に副モードを持つ。
- ・タイプ 5: シルト分から粘土分にかけてほぼ一定。
- ・タイプ 6: 砂分/シルト分境界に主モード、砂分に副モードを持つ。
- ・タイプ 7: シルト分/粘土分境界から粘土分にかけて主モード、シルト分に副モードを持つ。
- ・タイプ 8: 粘土分にモードを持つ。
- ・タイプ 9: シルト分にモードを持つ。
- ・タイプ 10: シルト分/粘土分境界にモードを持つ。

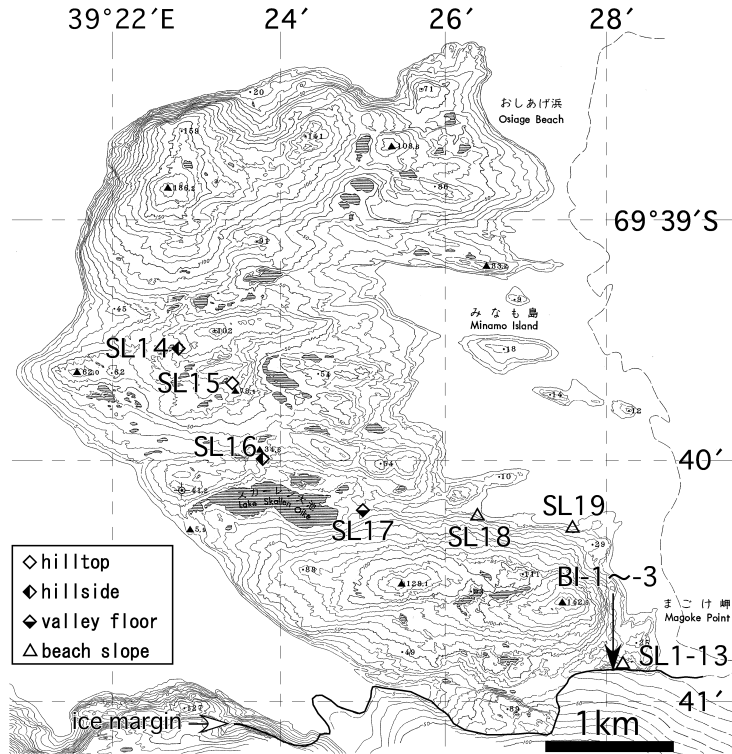


図 5 スカーレンにおける試料採取地点・番号・地形的位置
 Fig. 5. Sites, numbers and locations of samples from the Skallen.

- ・タイプ 11: 砂分/シルト分境界にモードを持つ。
- ・タイプ 12: 粘土分に主モード，砂分から砂分/シルト分境界にかけて副モードを持つ。

3. 試料の産状と粒度組成

3.1. 底面水中の岩屑

本研究で基準試料とした底面水中の岩屑は，スカーレン南東端付近の氷崖から採取したものである（図 6A）。高さ 10m 前後のその氷崖では，基盤にはほぼ平行な層構造が全体的に観察される。肉眼での観察によると，その層構造は氷崖基底から鉛直方向に次のように区分される。すなわち，1) 岩屑に富む氷層と岩屑の乏しい氷層の互層からなる厚さ 1m 以下の層状相（stratified facies; Lawson, 1979; Hubbard and Sharp, 1995），2) 水中に岩屑が散在する厚さ約 1m の分散相（dispersed facies; Lawson, 1979），3) 厚さ約 0.5–2.0m の層状相，4) 厚さ約 1–2m の分散相，そして 5) 厚さ約 3m 以上の層状相，である（図 6B）。

本研究では，氷崖下部に現れている厚さ約 1m の分散相を呈する氷（図 6B・C）の一片

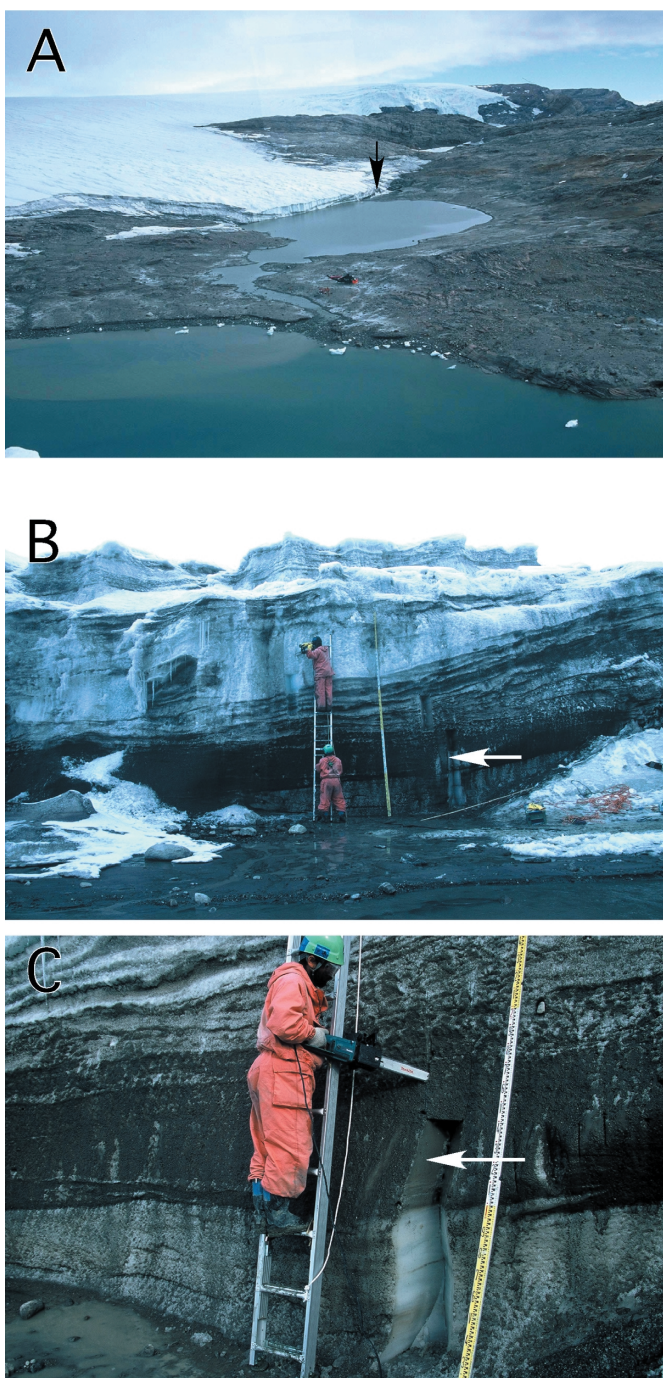


図 6 スカーレンの氷床縁 (A) と底面氷中の岩屑の採取位置 (B・C)

Fig. 6. Ice marginal area (A) and sampling points of debris in basal ice (B and C) at the Skallen.

表 1 底面水中の岩屑試料 (BI-1~3) とロッジメントティル試料 (LT1, 2) の採取高度と端成分比

Table 1. Sampling altitudes and contents of clay, silt and sand of debris in basal ice (BI-1~3) from ice cliff near the Skallen ice-free area, and lodgement till (LT1, 2) from the eastern beach of Osen Bay in the Skarvsnes ice-free area. Sampling sites are given in Figs. 4 and 5.

Sample No.	Altitude (m)	End-members (%)		
		Clay	Silt	Sand
BI-1	5.0	26.9	37.5	35.6
BI-2	"	22.7	35.4	41.9
BI-3	"	17.0	24.1	58.9
LT1-1	48.0~53.5	31.6	14.4	54.0
LT1-2	"	35.3	31.3	33.4
LT1-3	"	40.1	28.5	31.4
LT1-4	"	45.7	45.7	8.6
LT1-5	"	41.1	22.3	36.6
LT1-6	"	30.6	19.6	49.8
LT1-7	"	31.4	22.3	46.3
LT1-8	"	36.3	25.9	37.8
LT1-9	"	46.4	45.4	8.2
LT1-10	"	45.2	46.6	8.2
LT1-11	"	45.8	43.8	10.4
LT1-12	"	37.2	27.9	34.9
LT2-1	31.0~34.0	38.3	23.5	38.2
LT2-2	"	40.0	28.0	32.0
LT2-3	"	34.4	29.3	36.3
LT2-4	"	44.4	45.7	9.9
LT2-5	"	41.3	31.3	27.4
LT2-6	"	33.4	26.5	40.1
LT2-7	"	33.5	24.5	42.0

(約 1000 cm³) を採取・融解させて懸濁液を作製した。それを乾燥させて取り出した岩屑を 3 分割したものが試料 BI-1・BI-2・BI-3 であり、その粒度分析結果を表 1 に示した。それら試料は、端成分比の範囲が粘土 17.0~26.9%・シルト 24.1~37.5%・砂 41.9~58.9% (平均で粘土 22.2%・シルト 32.2%・砂 45.5%) という粘土から砂までの広いサイズの岩屑粒子からなる。そのうち試料 BI-1・2 は砂質泥に、試料 BI-3 は砂質泥に近いシルト質砂に分類される (図 7)。それら 3 試料はいずれもタイプ 1 (砂分に主モード、粘土分に副モードを持つタイプ) の粒径頻度分布を示す (図 8A)。

3.2. ロッジメントティル

もう一つの基準試料として採取したロッジメントティルは、スカルプスネス北部のオーセン湾東岸において、オーセン湾方向に開いた馬蹄形の平面形を呈する基盤の凹地を埋めてい

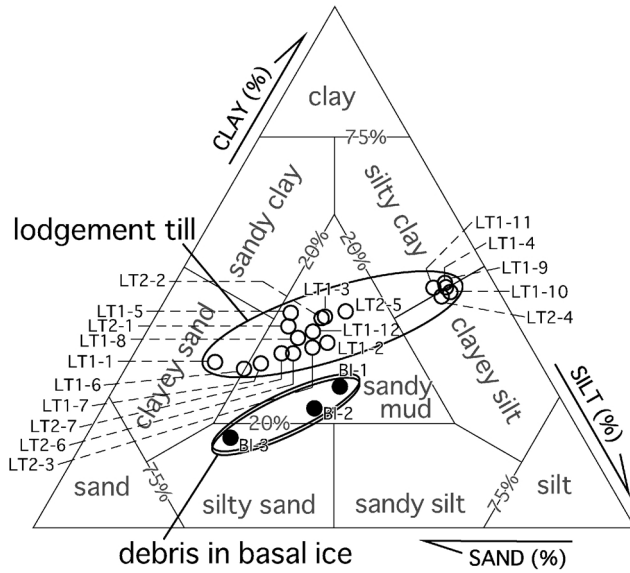


図 7 水底成岩屑の端成分比

Fig. 7. Triangular diagram showing ratios among three end-members (clay, silt, sand) of basal debris: debris in basal ice at the Skallen and lodgement till at the Skarvsnes. Sampling sites and analytical data are given in Figs. 4 and 5, and Table 1. Sediment types, such as silty clay and sandy mud, are based on end-member ratios proposed by Shepard (1954). Ellipses drawn by single and double solid lines designate approximate areas of end-member ratios of debris in basal ice and lodgement till, respectively.

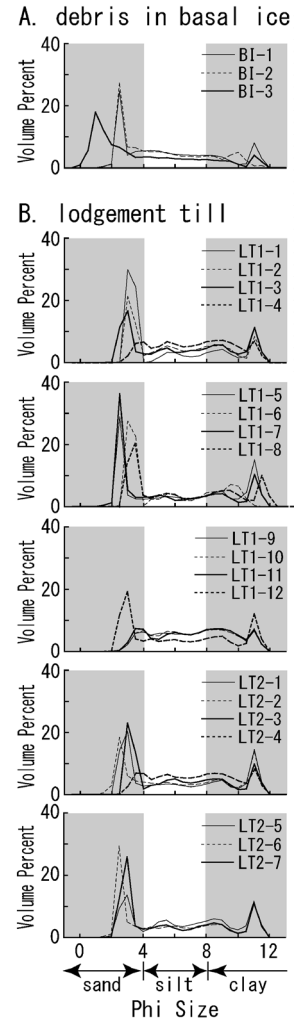


図 8 水底成岩屑の粒径頻度分布

Fig. 8. Frequency grain-size distribution of primary basal debris: debris in basal ice (A) and lodgement till (B).

る堆積物である (図 9A). その堆積物の表層の垂直断面が、北東-南西方向に連続する二列のガリー壁に現れており、そのうち相対的に西側に位置する露頭 (西側露頭) は幅が約 160 m、高さが最大で約 7 m であり、東側に位置する露頭 (東側露頭) は幅が約 80 m、高さが最大で約 5 m である (図 9B). Yoshida (1983) は、それら露頭での肉眼による観察結果に基づいて、その堆積物をロッジメントティルと解釈したが、観察結果から成因解釈に至る具体的な根拠

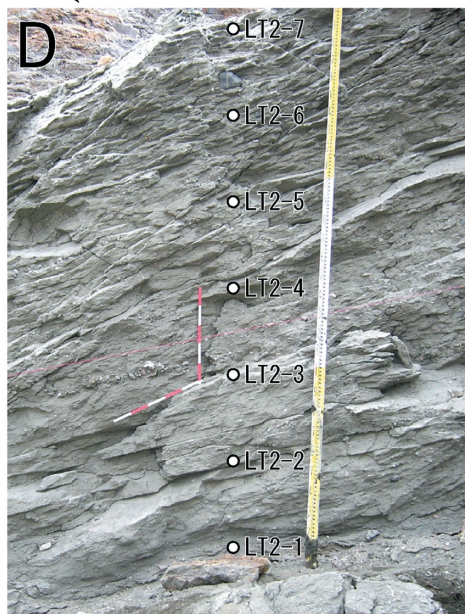
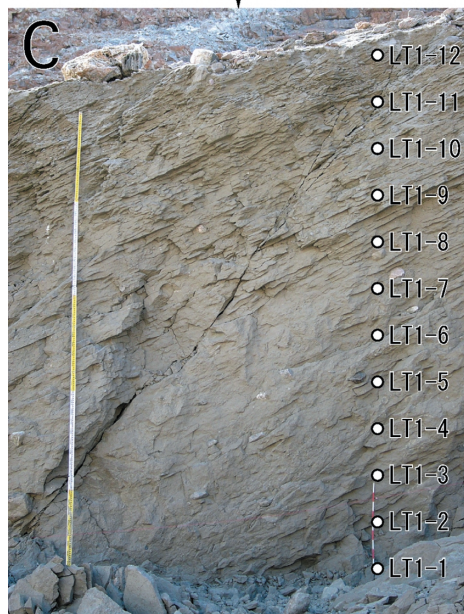
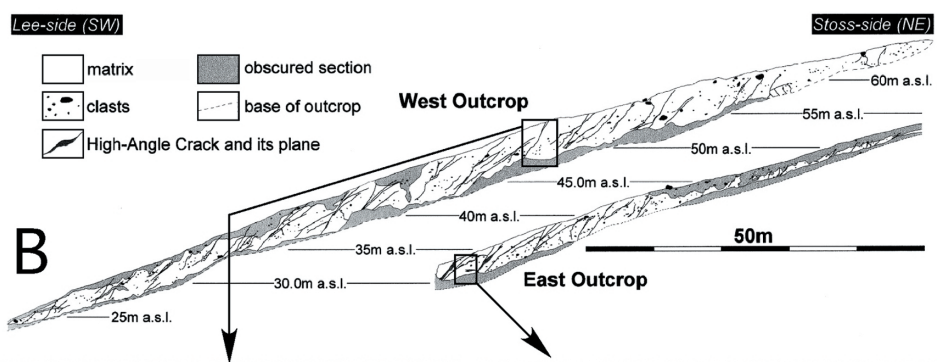
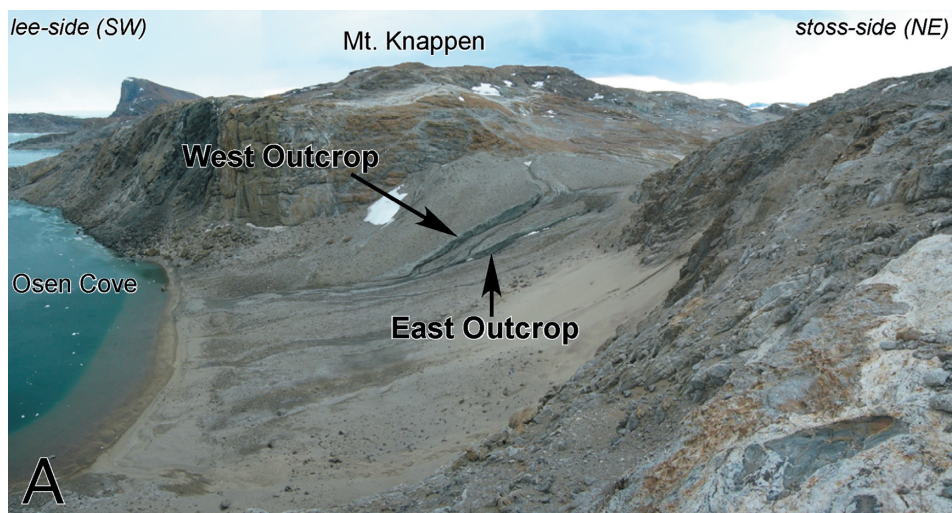


図 9

を述べていない。筆者らの観察によると、その堆積物は締まった基質支持層であり、そこに含まれる礫の長軸は氷床下流方向（オーセン湾方向）への選択的配向性を示す。また、その基質部には氷床下流方向（オーセン湾方向）に緩傾斜する無数の割れ目が発達しており、それらは極めて平滑な面構造を成している。これらの記載的特徴は、典型的なロジメントティルの堆積学的特徴（例えば、Benn and Evans, 1998）と一致する。すなわち、締まった産状は氷荷重による圧密を、そして氷床下流方向への選択的配向性を示す礫と割れ目はオーセン湾方向に前進していた氷床下の地層表面への底面水中の岩屑の塗りつけ（plastering）を反映していると解釈できることから、筆者らもこの堆積物をロジメントティルと見なした。

本研究では、上記の西側露頭と東側露頭のそれぞれの基底から頂部にかけて約 50 cm 間隔で堆積物を採取し（図 9C・D）、その粒度を測定した（表 1）。西側露頭からの 12 試料（LT1-1~1-12）と東側露頭からの 7 試料（LT2-1~2-7）はすべて、粘土から砂までの広いサイズの粒子から成り、全試料の端成分比平均は粘土 38.4%・シルト 30.5%・砂 31.1% である。ただし、それら試料は砂の含有率の違いによって二つのグループに大別される。すなわち、比較的多くの砂を含み、主に砂質泥に分類される LT1-1~1-3・1-5~1-8・1-12・2-1~2-3・2-5~2-7 と、相対的に少量の砂を含み、シルト質粘土と粘土質シルトに分類される LT1-4・1-9~1-11・2-4 である（図 7）。前者はタイプ 1 の、後者はタイプ 2（砂分から粘土分にかけてほぼ一定のタイプ）の粒径頻度分布を示す（図 8B）。

3.3. 未固結細粒堆積物

未固結細粒堆積物は、宗谷海岸のオングル諸島、ラングホブテ南部、スカルブスネス、スカレンの各露岩域において様々な高度の山頂・山腹・谷底・海岸に点在的に広く分布していることを野外調査で確認した。微視的にみると、山頂と山腹に分布する未固結細粒堆積物は基盤岩の浅い凹地を 10 cm 以下の厚さで埋めており、谷底と海岸の未固結細粒堆積物は緩やかな斜面上において砂や礫を主要な構成物質とする粗粒堆積物を厚さ 5-10 cm 程度で覆っているか、粗粒堆積物に覆われていることが多い（図 10）。

オングル諸島では、谷底から 4 試料（WO1・WO2・EO1・EO2）、海岸から 1 試料（WO3）の未固結細粒堆積物を採取した（図 2, 表 2）。それらすべての試料は、主に粘土とシルトだけで構成されており、砂をほとんどあるいは全く含まない。谷底からの試料 WO2・EO1・EO2 と海岸からの試料 WO3 が粘土質シルトに、谷底からの試料 WO1 だけが粘土質シルト

図 9 スカルブスネス北部・オーセン湾東岸のロジメントティル

A: オーセン湾東岸の鳥瞰。 B: 露頭のスケッチ。 C: 西側露頭からの試料採取箇所。 D: 東側露頭からの試料採取箇所

Fig. 9 (opposite). Lodgement till deposited on the eastern beach of Osen Cove in the northern part of Skarvsnes. A: Northward view of the eastern beach of Osen Cove and occurrence of lodgement till mentioned in this paper. B: Schematic cross-section. C: Sampling points from West Outcrop. D: Sampling points from East Outcrop.

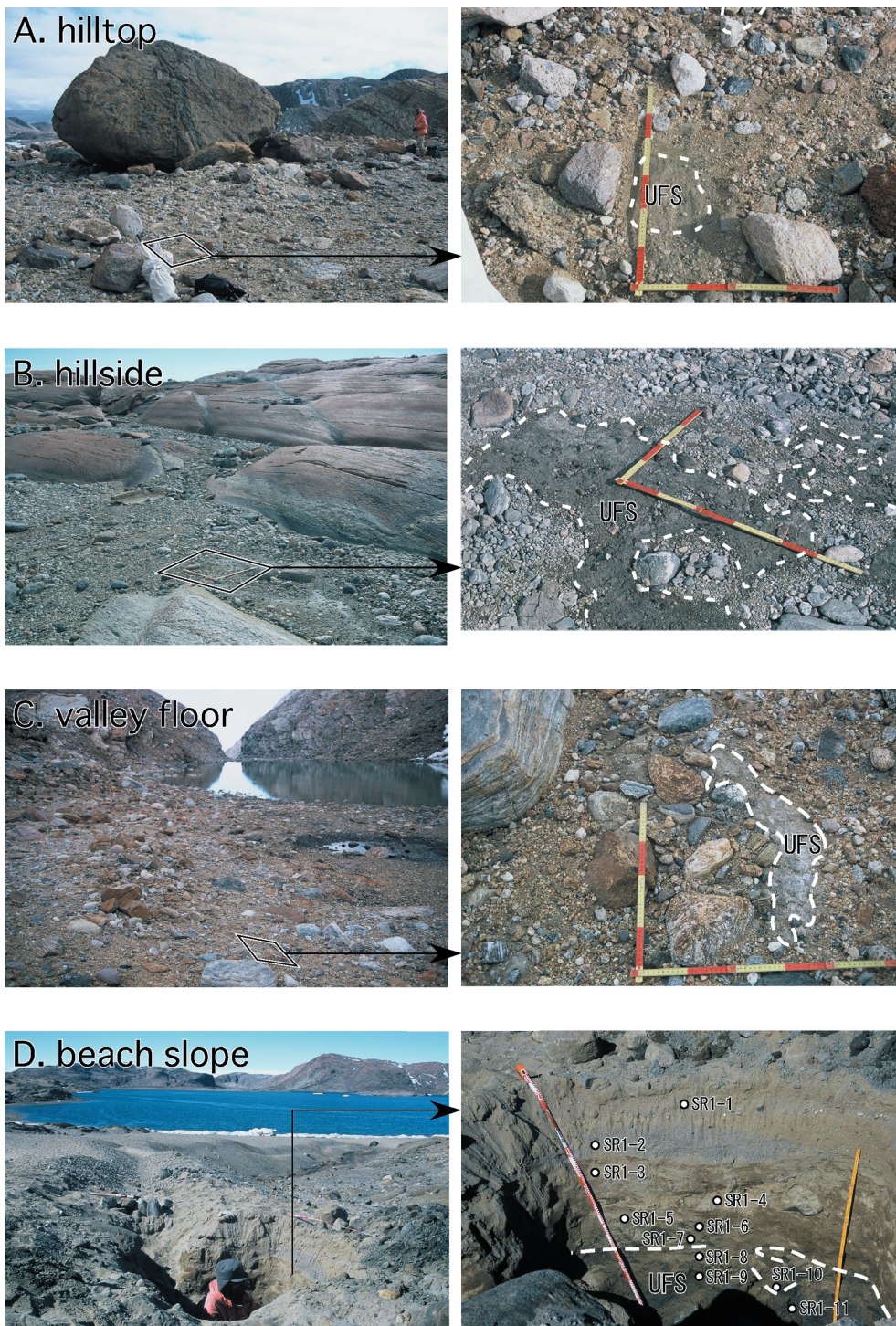


表 2 オングル諸島 (WO, EO) とラングホブテ南部 (LS) から採取した未固結細粒堆積物の試料データと端成分比

Table 2. Sample data and contents of clay, silt and sand of unconsolidated fine sediments (UFS) collected from the Ongul Islands (WO, EO) and the Langhovde South (LS) ice-free area. Sampling sites are given in Figs. 2 and 3.

Sample No.	Type	Location	Altitude (m)	End-members (%)		
				Clay	Silt	Sand
WO1	UFS	valley floor	12.0	50.4	49.6	0.0
WO2	"	"	12.0	48.6	51.4	0.0
WO3	"	beach slope	8.0	35.7	63.3	1.0
EO1	"	valley floor	21.0	42.3	57.7	0.0
EO2	"	"	23.0	45.4	54.6	0.0
LS1	UFS	hillside	70.0	22.3	47.7	30.0
LS2	"	"	40.0	42.2	57.8	0.0
LS3	"	hilltop	330.0	26.3	50.9	22.8
LS4	"	valley floor	230.0	52.7	47.3	0.0
LS5	"	valley floor	140.0	20.3	40.4	39.3
LS6	"	"	30.0	24.8	73.3	1.9
LS7	"	"	20.0	11.2	43.1	45.7
LS8	"	"	180.0	22.8	53.9	23.3
LS9	"	hilltop	25.0	20.1	56.0	23.9
LS10	"	hillside	180.0	45.8	53.6	0.6
LS11	"	valley floor	140.0	35.8	60.3	3.9
LS12	"	hilltop	80.0	24.4	25.0	50.6

に極めて近いシルト質粘土に分類される (図 11). それらすべての試料は, タイプ 3 (シルト分に主モード, 粘土分に副モードを持つタイプ) の粒径頻度分布を示す (図 12).

ラングホブテ南部では, 山頂から 3 試料 (LS3・9・12), 山腹から 3 試料 (LS1・2・10), 谷底から 6 試料 (LS4~8・11) の未固結細粒堆積物を採取した (図 3, 表 2). それら試料は, 主に砂質泥に分類される比較的多くの砂を含むグループと, 主に粘土質シルトに分類される砂をほとんどあるいは全く含まないグループに大別される (図 13). 山頂からのすべての試料 LS3・9・12 は前者のグループに含まれる. また, 山腹からの試料のうちの LS1 と谷底からの試料のうちの LS5・7・8 が前者のグループに, 山腹からの LS2・10 と谷底からの LS4・6・11 が後者のグループに含まれる. それら試料の粒径頻度分布を図 14 に示した. それによると, 山頂からの試料はタイプ 1 (LS3・12) とタイプ 4 (砂分/シルト分境界に主モード, 粘土分に副モードを持つタイプ) (LS9) の粒径頻度分布を示す. また, 山腹からの試料

図 10 山頂 (A)・山腹 (B)・谷底 (C)・海岸 (D) における未固結細粒堆積物の産状
Fig. 10 (opposite). Occurrence of unconsolidated fine sediments (UFS) on hilltop (A, case of LS12), hillside (B, case of SL14), valley floor (C, case of LS5) and beach slope (D, case of SR1).

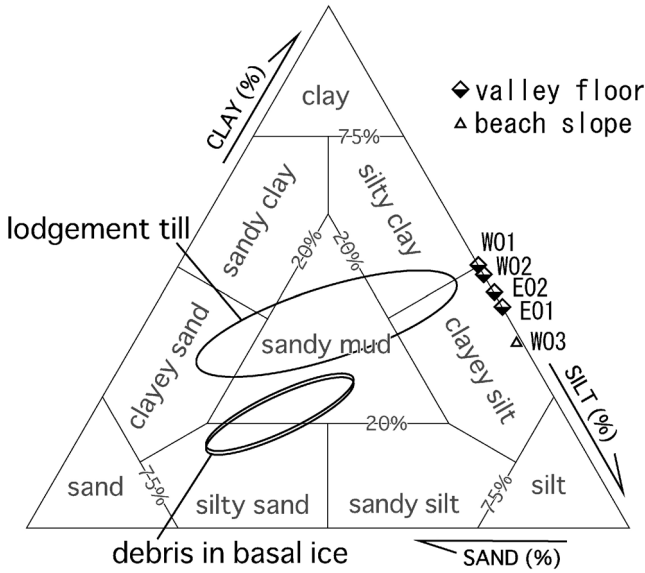


図 11 オングル諸島から採取した未固結細粒堆積物の端成分比
 Fig. 11. Ratios among three end-members of unconsolidated fine sediments from the Ongul Islands. Sampling sites and analytical data are given in Fig. 2 and Table 2. Ellipses drawn by single and double solid lines designate approximate areas of end-member ratios of debris in basal ice and lodgement till, respectively (see Fig. 7).

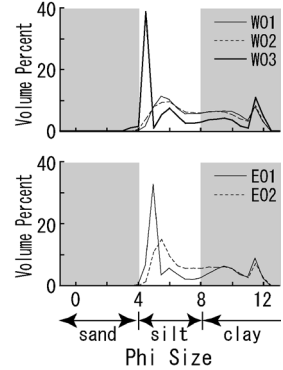


図 12 オングル諸島から採取した未固結細粒堆積物の粒径頻度分布
 Fig. 12. Frequency grain-size distribution of unconsolidated fine sediments from the Ongul Islands.

はタイプ 3 (LS2・10) とタイプ 4 (LS1) の粒径頻度分布を示す。谷底からの試料の粒径頻度分布には、タイプ 1 (LS5) とタイプ 4 (LS6・8・11) の他に、タイプ 5 (シルト分から粘土分にかけてほぼ一定のタイプ) (LS4) とタイプ 6 (砂分/シルト分境界に主モード、砂分に副モードを持つタイプ) (LS7) が見られる。

スカルプスネスでは、山頂と山腹からそれぞれ 2 試料 (SR5・26) と 6 試料 (SR2・3・16~18・20) の未固結細粒堆積物を、そして谷底の 14 地点から 20 の未固結細粒堆積物試料 (SR6~10・11-3・12-1~12-4・12-6・13-1・14・15・19・23~25) と五つの参考試料 (未固結細粒堆積物と同じ露頭に現れていた比較的粗粒な堆積物である SR11-1・11-2・12-5・12-7・13-2) を採取した (図 4, 表 3)。また、海岸の 4 地点から六つの未固結細粒堆積物試料 (SR1-8・1-9・1-11・4・21・22) と八つの参考試料 (未固結細粒堆積物と同じ露頭に現れていた比較的粗粒な堆積物である SR1-1~1-7・1-10) を得た (図 4, 表 3)。そのうち、未固結細粒堆積物試料は、主に砂質泥に分類される比較的多くの砂を含むグループと、主に粘土質シルトに分類される砂をほとんどあるいは全く含まないグループに大別される (図 15)。山頂・山腹・谷底からのすべての未固結細粒堆積物試料は後者のグループに含まれる。また海岸からの未固結細粒堆積物試料のうちの SR1-8・1-9・1-11・21・22 は前者のグループに、SR4 は後者の

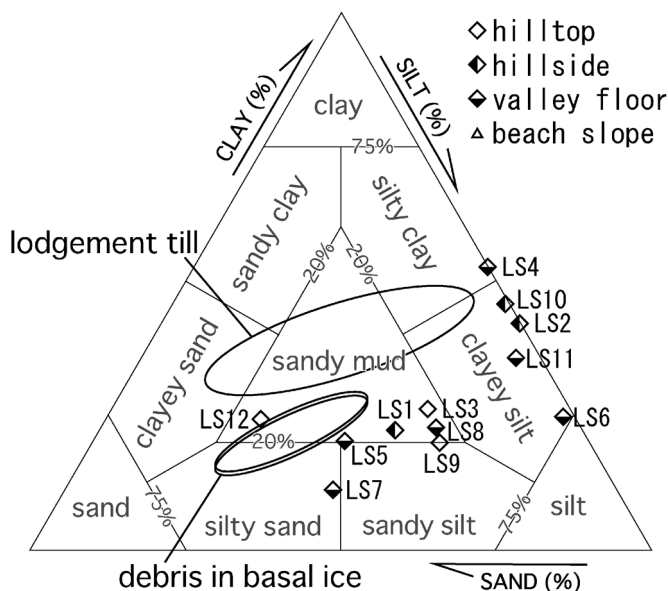


図 13 ラングホブデ南部から採取した未固結細粒堆積物の端成分比
Fig. 13. Same as Fig. 11 except the Langhovde South and Fig. 3

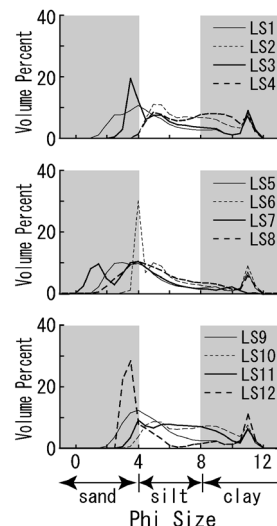


図 14 ラングホブデ南部から採取した未固結細粒堆積物の粒度頻度分布

Fig. 14. Frequency grain-size distribution of unconsolidated fine sediments from the Langhovde South.

グループに含まれる。それら未固結細粒堆積物試料の粒度頻度分布を図 16 に示した。山頂からの試料はタイプ 3 (SR26) とタイプ 7 (シルト分/粘土分境界から粘土分にかけて主モード、シルト分に副モードを持つタイプ) (SR5) の粒度頻度分布を示す。また、山腹からの試料はタイプ 3 (SR2・20) とタイプ 5 (SR16・17), タイプ 7 (SR3), タイプ 8 (粘土分にモードを持つタイプ) (SR18) の粒度頻度分布を示す。谷底からの試料の粒度頻度分布には、タイプ 3 (SR6・7・9・10-2・10-3・12-3) とタイプ 4 (SR15・23), タイプ 5 (SR8・12-1・12-2・12-4), タイプ 7 (SR10-1・14), タイプ 9 (シルト分にモードを持つタイプ) (SR11-3・25), タイプ 10 (シルト分/粘土分境界にモードを持つタイプ) (SR12-6・13-1), タイプ 8 (SR19), タイプ 11 (砂分/シルト分境界にモードを持つタイプ) (SR24) が見られる。海岸からの試料はタイプ 1 (SR1-8・1-9・1-11) とタイプ 4 (SR21), タイプ 5 (SR4), タイプ 12 (粘土分に主モード、砂分から砂分/シルト分境界にかけて副モードを持つ) (SR22) の粒度頻度分布を示す。

スカーレンでは、山頂・山腹・谷底からそれぞれ 1 試料 (SL15)・2 試料 (SL14・16)・1 試料 (SL17) の未固結細粒堆積物を、そして海岸の 14 地点から合計 40 の未固結細粒堆積物試料 (SL1-1・1-2・1-4~1-6・2・3・4-1・4-2・5~9・10-1・10-2・10-4・11-1・11-2・11-4・

表 3 スカルプスネス (SR) から採取した未固結細粒堆積物の試料データと端成分比
 Table 3. Sample data and contents of clay, silt and sand of all samples including unconsolidated fine sediments (UFS) collected from the Skarvsnes ice-free area (SR). Sampling sites are given in Fig. 4.

Sample No.	Type	Location	Altitude (m)	End-members (%)		
				Clay	Silt	Sand
SR1-1	other	beach slope	12.0~13.0	0.0	0.0	100.0
SR1-2	"	"	"	0.0	0.3	99.7
SR1-3	"	"	"	0.2	3.1	96.7
SR1-4	"	"	"	0.0	0.0	100.0
SR1-5	"	"	"	0.2	8.8	91.0
SR1-6	"	"	"	0.0	8.9	91.1
SR1-7	"	"	"	0.1	6.9	93.0
SR1-8	UFS	"	"	20.4	21.2	58.4
SR1-9	"	"	"	21.3	36.2	42.5
SR1-10	other	"	"	4.8	11.4	83.8
SR1-11	UFS	"	"	20.3	34.4	45.3
SR2	"	hillside	170.0	43.2	53.0	3.8
SR3	"	"	60.0	64.3	35.7	0.0
SR4	"	beach slope	3.0	50.7	49.3	0.0
SR5	"	hilltop	180.0	55.1	44.8	0.1
SR6	"	valley floor	65.0	48.5	51.4	0.1
SR7	"	"	18.0	43.4	55.9	0.7
SR8	"	"	3.0	48.7	51.3	0.0
SR9	"	"	10.0	38.9	60.3	0.8
SR10-1	"	"	10.0	51.8	48.2	0.0
SR10-2	"	"	9.0	41.3	57.9	0.8
SR10-3	"	"	8.0	47.5	52.5	0.0
SR11-1	other	"	20.0	0.7	1.9	97.4
SR11-2	"	"	19.0	13.4	2.0	84.6
SR11-3	UFS	"	18.0	36.8	62.5	0.7
SR12-1	"	"	-10.0~-9.0	41.6	58.4	0.0
SR12-2	"	"	"	46.0	54.0	0.0
SR12-3	"	"	"	22.2	75.9	1.9
SR12-4	"	"	"	42.8	57.2	0.0
SR12-5	other	"	"	0.7	1.9	97.4
SR12-6	UFS	"	"	53.9	46.1	0.0
SR12-7	other	"	"	4.3	34.5	61.2
SR13-1	UFS	"	29.0~30.0	58.3	41.7	0.0
SR13-2	other	"	"	8.7	43.8	47.5
SR14	UFS	"	20.0	53.8	46.2	0.0
SR15	"	"	22.0	40.1	55.9	4.0
SR16	"	hillside	125.0	50.5	48.7	0.8
SR17	"	"	125.0	52.8	47.2	0.0
SR18	"	"	100.0	74.7	25.3	0.0
SR19	"	valley floor	55.0	60.9	39.1	0.0
SR20	"	hillside	55.0	41.6	57.6	0.8
SR21	"	beach slope	10.0	15.2	54.9	29.9
SR22	"	"	10.0	35.4	51.9	12.7
SR23	"	valley floor	85.0	40.4	55.9	3.7
SR24	"	"	130.0	36.3	60.8	2.9
SR25	"	"	10.0	42.9	57.1	0.0
SR26	"	hilltop	193.0	37.0	63.0	0.0

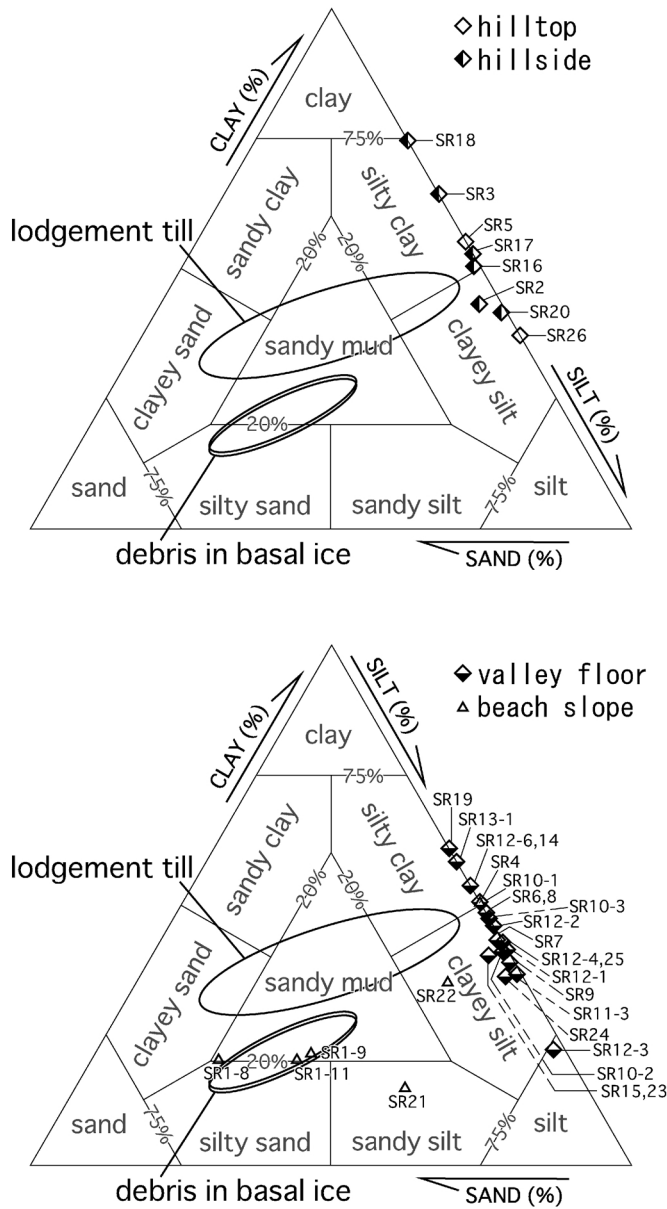


図 15 スカルプスネスから採取した未固結細粒堆積物の端成分比

Fig. 15. Same as Fig. 11 except on hilltop and hillside (upper figure) and valley floor and beach slope (lower figure) from the Skarvsnes, Fig. 4 and Table 3

12-1~12-3・13・18・19) と五つの参考試料 (未固結細粒堆積物と同じ露頭に現れていた比較的粗粒な堆積物である SL1-3・融氷水の懸濁物質である SL10-3・11-3・12-4) を採取した

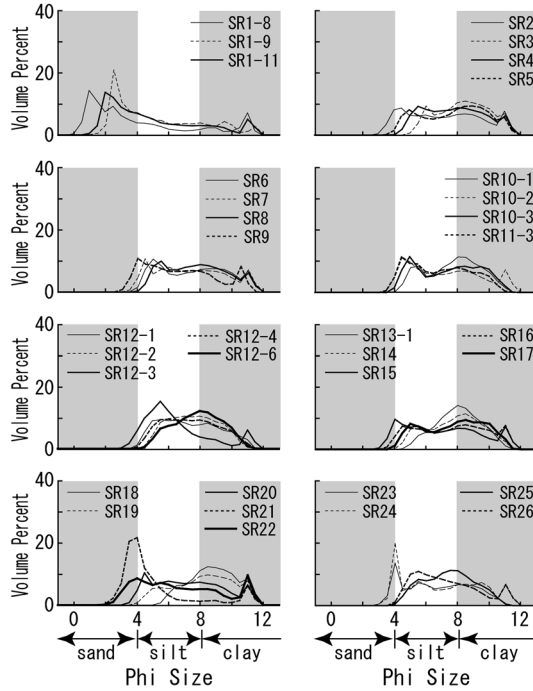


図 16 スカルプスネスから採取した未固結細粒堆積物の粒径頻度分布
 Fig. 16. Frequency grain-size distribution of unconsolidated fine sediments from the Skarvsnes.

(図 6, 表 4). そのうち未固結細粒堆積物試料は, 主に砂質泥・砂質シルトに分類される比較的多くの砂を含むグループと, 主に粘土質シルトに分類される砂をほとんどあるいは全く含まないグループに大別される (図 17). 山頂・山腹からのすべての未固結細粒堆積物試料 (SL14・15・16) と谷底からの唯一の未固結細粒堆積物試料 (SL17) は後者のグループに含まれ, 海岸からの未固結細粒堆積物試料のうちの極少数 (SL1-2・1-4・1-6・10-4・11-2・12-1・18) だけが前者のグループに, 残りのすべてが後者のグループに含まれる. それら未固結細粒堆積物試料の粒径頻度分布を図 18 に示した. 山頂からの試料はタイプ 5 (SL15), 山腹からの試料はタイプ 3 (SL14・16), 谷底からの試料はタイプ 3 (SL17) の粒径頻度分布を示す. また, 海岸からの試料の粒径頻度分布には, タイプ 1 (SL4-3・12-1・18) とタイプ 3 (SL1-1・1-2・1-4・1-5・9-2・10-1・10-2・13・19-1-19-3), タイプ 4 (SL1-6・10-4・11-1・12-2), タイプ 5 (SL3-1・3-2・4-1・4-2・5-1・6-1・6-2・7-1-7-3・8-1・8-3・9-1), タイプ 8 (SL2-1・2-2・3-3・5-2・8-2), タイプ 9 (SL6-3), タイプ 10 (SL3-4・12-3), タイプ 11 (SL11-2), タイプ 12 (SL11-4) が見られる.

表 4 スカーレン (SL) から採取した未固結細粒堆積物の試料データと端成分比
 Table 4. Sample data and contents of clay, silt and sand of all samples including unconsolidated fine sediments (UFS) collected from the Skallen ice-free area (SL). Sampling sites are given in Fig. 5.

Sample No.	Type	Location	Altitude (m)	End-members (%)		
				Clay	Silt	Sand
SL1-1	UFS	beach slope	0.0~20.0	36.2	63.1	0.7
SL1-2	"	"	"	13.0	69.2	17.8
SL1-3	other	"	"	5.2	4.4	90.4
SL1-4	UFS	"	"	15.8	67.2	17.0
SL1-5	"	"	"	29.9	69.5	0.6
SL1-6	"	"	"	19.8	60.2	20.0
SL2-1	"	"	"	33.2	66.3	0.5
SL2-2	"	"	"	37.1	62.9	0.0
SL3-1	"	"	"	37.8	61.4	0.8
SL3-2	"	"	"	38.1	61.1	0.8
SL3-3	"	"	"	33.0	66.2	0.8
SL3-4	"	"	"	77.7	22.3	0.0
SL4-1	"	"	"	49.5	50.5	0.0
SL4-2	"	"	"	38.1	61.1	0.8
SL4-3	other	"	"	18.7	35.5	45.8
SL5-1	UFS	"	"	35.5	64.5	0.0
SL5-2	"	"	"	33.3	66.0	0.7
SL6-1	"	"	"	34.3	65.1	0.6
SL6-2	"	"	"	39.1	60.9	0.0
SL6-3	"	"	"	43.4	56.6	0.0
SL7-1	"	"	"	39.9	60.1	0.0
SL7-2	"	"	"	39.5	60.5	0.0
SL7-3	"	"	"	45.9	54.1	0.0
SL8-1	"	"	"	46.0	54.0	0.0
SL8-2	"	"	"	45.4	54.6	0.0
SL8-3	"	"	"	38.9	61.1	0.0
SL9-1	"	"	"	47.9	52.1	0.0
SL9-2	"	"	"	42.1	57.9	0.0
SL10-1	"	"	"	41.5	58.0	0.5
SL10-2	"	"	"	33.1	66.4	0.6
SL10-3	(Suspended)	"	"	73.2	26.8	0.0
SL10-4	UFS	"	"	12.2	70.5	17.3
SL11-1	"	"	"	27.7	68.7	3.7
SL11-2	"	"	"	29.8	38.5	31.7
SL11-3	(Suspended)	"	"	73.5	26.5	0.0
SL11-4	UFS	"	"	17.1	80.2	2.7
SL12-1	"	"	"	30.6	54.4	15.1
SL12-2	"	"	"	30.7	65.4	3.9
SL12-3	"	"	"	80.0	20.0	0.0
SL12-4	(Suspended)	"	"	61.0	39.0	0.0
SL13	UFS	"	"	36.9	59.3	3.8
SL14	"	hillside	75.0	43.1	56.8	0.1
SL15	"	hilltop	75.0	60.1	39.9	0.0
SL16	"	hillside	34.0	43.5	55.7	0.8
SL17	"	valley floor	17.0	41.2	58.0	0.8
SL18	"	beach slope	3.0	26.6	51.7	21.7
SL19-1	"	"	0.0~1.0	37.4	62.5	0.0
SL19-2	"	"	"	34.4	65.6	0.0
SL19-3	"	"	"	32.5	67.5	0.0

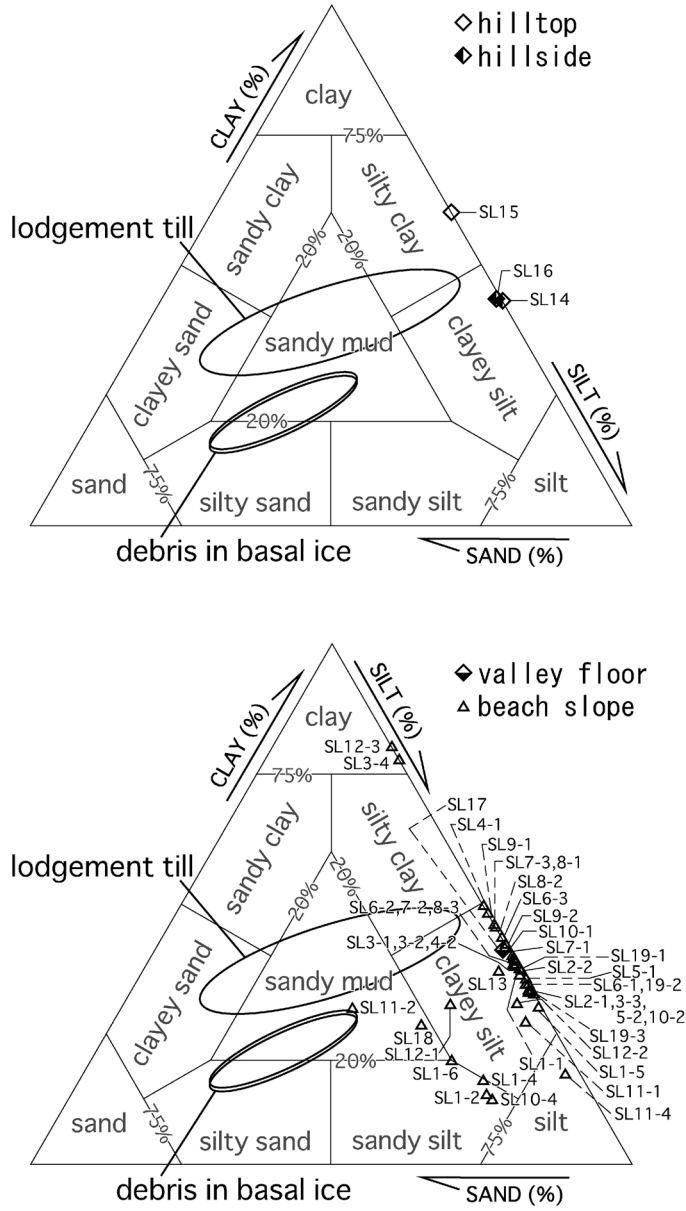


図 17 スカールンから採取した未固結細粒堆積物の端成分比
 Fig. 17. Same as Fig. 15 except the Skallen, Fig. 5 and Table 4

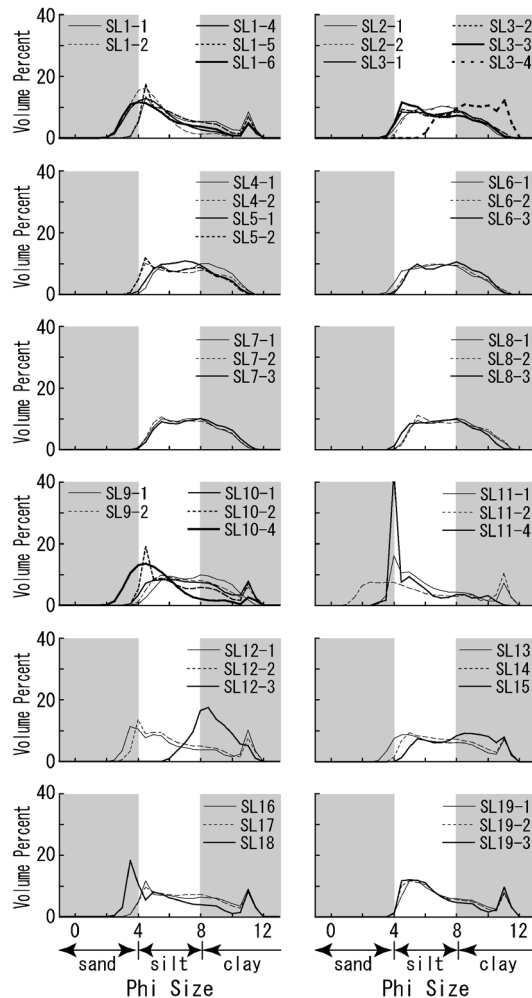


図 18 スカレンから採取した未固結細粒堆積物の粒度頻度分布
 Fig. 18. Frequency grain-size distribution of unconsolidated fine sediments from the Skallen.

4. 考 察

4.1. 底面水中の岩屑の粒度組成の特徴と形成過程

底面水中に含まれる岩屑は、凍着 (Weertman, 1961)、氷床下の地層の氷床底面への局所的復氷 (Kamb and LaChapelle, 1964) や大規模復氷 (Iverson and Semmens, 1995)、氷河底水脈における過冷却水の凍結 (Strasser *et al.*, 1996)、剪断 (Tison *et al.*, 1993) などのプロセスによって氷床下の地層表面から取り込まれたものと考えられている。Lawson (1979) と Knight and Knight (1994) によれば、凍結によって取り込まれた岩屑は底面水中において層状形態で、復氷によって取り込まれた岩屑は水中において分散形態で産する。したがって、底面氷

の氷崖において分散相を呈していた本研究の底面氷中の岩屑試料は、復氷によって氷床のより上流側で取り込まれ、現在の氷縁まで運搬されてきたものと考えられる。

底面氷中の岩屑は、その運搬過程で被る剪断作用によって破碎 (crushing)・削磨 (abrasion) され、その結果として生じる細粒物質は、粘土やシルトから砂の非常に広いサイズの粒子で構成されること、そしてバイモーダルあるいはマルチモーダルな粒径頻度分布で特徴づけられることが知られている (例えば, Kirkbride, 1995; Benn and Evans, 1998)。これらの特徴は、本研究の底面氷中の岩屑試料 BI-1・BI-2・BI-3 の粒度組成にも見られる。すなわち、それらは端成分比の平均で粘土 22.2%・シルト 32.2%・砂 45.5% という非常に広いサイズの粒子で構成され (図 7)、かつ砂分と粘土分にそれぞれ主モードと副モードを持つバイモーダルな粒径頻度分布 (タイプ 1) を示す (図 8A)。

ただし、粒径頻度の二つのモードは、本研究の底面氷中の岩屑試料において砂分と粘土分に現れるのに対し、従来の研究では砂サイズ以上の粒子範囲とシルト分に現れるという点で異なる。従来の研究では、底面氷中の岩屑の粗粒側のモードは主に破碎プロセスによって生産された岩片あるいは石英のような硬い鉱物から成り、細粒側のモードは主に削磨プロセスによって生じた比較的柔らかい雲母や長石などの鉱物から成ると考えられている (Boulton, 1978; Haldorsen, 1981)。また、底面氷中での運搬距離が長く、岩屑の力学的強度が低いほど、その細粒分の比率が高まることが明らかにされている (Dreimanis and Vagners, 1971; Halderson, 1981)。さらに、従来の研究で典型的とされる底面氷中の岩屑の粗粒側と細粒側におけるモードについては、破碎・削磨による細粒化の過渡的な段階のものであり、岩屑の力学的強度がより低く、底面氷中でさらに長い距離を運搬されていれば、より進んだ細粒化が起こった可能性があるとの指摘もある (Haldorsen, 1981; Drewry, 1986)。これらのことから、本研究の底面氷中の岩屑試料に見られる砂分と粘土分におけるバイモーダルな粒径頻度分布は、岩屑の力学的強度や底面氷中での運搬距離の地域特性を反映している可能性があると言える。

4.2. ロッジメントティルの粒度組成の特徴と形成過程

ロッジメントティルは、前進しつつある氷河・氷床の底面氷中の岩屑が圧力融解やその他の力学的プロセスによって氷床下の地層表面に塗りつけられて生じる堆積物 (Dreimanis, 1989) であり、氷床流動に伴う底面氷中での運搬過程とその後の堆積過程で被った剪断作用による破碎と削磨を反映した特徴的な粒度組成をもつ。それは概して粘土やシルトから砂の非常に広いサイズの粒子で構成され、典型的にはバイモーダルあるいはマルチモーダルな粒径頻度分布で特徴づけられることが知られている (例えば, Menzies and Shilts, 1996; Bennett and Glasser, 1996; Benn and Evans, 1998)。これらの特徴は本研究におけるロッジメントティルの多くの試料にも見られる。すなわち、本研究のロッジメントティル試料は端成分比平均で粘土 38.4%・シルト 30.5%・砂 31.1% と淘汰が悪く、その大部分 (LT1-1~1-3・1-5~1-8・

1-12・2-1~2-3・2-5~2-7) が砂分と粘土分にそれぞれ主モードと副モードを持つバイモーダルな粒径頻度分布 (タイプ 1) を示す (図 8B).

そのうち、粒子構成については、底面水中の岩屑試料よりロジメントティル試料の方が細粒分に富む傾向が認められた (図 7). 本研究では、過去の氷床拡大期に形成されたロジメントティル試料をスカルブスネスから、そして現存の底面水中の岩屑試料をスカーレンから採取した. したがって、両者の粒子構成の違いについては、それらの形成時期や形成地域の違いを考慮する必要があるが、底面水中の岩屑とロジメントティルの形成過程の違いによっても説明可能である. すなわち、それらは共に氷床流動に伴う剪断作用によって破碎・削磨されたものであるが、前者は底面水中での運搬過程においてのみ細粒化されるのに対し、後者は底面水中の岩屑が氷床下の地層表面に塗りつけられる過程でさらに細粒化される可能性がある. この違いが、底面水中の岩屑試料よりもロジメントティル試料の方が細粒分に富むという粒子構成に現れているのかもしれない.

また、粒径頻度については、本研究のロジメントティル試料では二つのモードが砂分と粘土分に現れ、従来の研究で典型的とされるロジメントティルの粒径頻度分布におけるモードの位置 (例えば、Menzies and Shilts, 1996; Bennett and Glasser, 1996; Benn and Evans, 1998) よりも細粒側にずれている. その原因については、ロジメントティルの起源物質である底面水中の岩屑試料に関する考察の部分でも述べたように、岩屑の力学的強度と底面水中での運搬距離の地域特性を反映している可能性がある. なお、本研究のロジメントティル試料には、砂分から粘土分にかけてほぼ一定なタイプ 2 の粒径頻度分布を示すもの (LT1-4・1-9・1-10・1-11・2-4) がある (図 8B). このような粒径頻度分布の原因として、破碎・削磨作用による細粒化がタイプ 1 よりもさらに進んだ結果である可能性が指摘できる.

4.3. 未固結細粒堆積物の粒度組成の特徴と成因: 底面水中の岩屑・ロジメントティルとの比較

図 11・13・15・17 から明らかなように、オングル諸島・ラングホブデ南部・スカルブスネス・スカーレンから採取した未固結細粒堆積物試料は、粘土、シルト質粘土、粘土質シルト、シルト、砂質シルト、砂質泥、シルト質砂の領域に分類され、多様な端成分比を有する. また、それらの粒径頻度分布は、バイモーダルなものや、モードが現れないものなど多様であり、12 種類のタイプがある (図 12・14・16・18). それらのうち、底面水中の岩屑・ロジメントティル試料の端成分比エリア (図 7 に示した底面水中の岩屑試料とロジメントティル試料の端成分比のプロットから近似的に求めた範囲) に入るか、もしくはそれに近い端成分比を持つものは、LS5・12・SR1-8・1-9・1-11・SL11-2 だけであり (図 13・15・17)、本研究で採取した未固結細粒堆積物試料全体の 7.8% でしかない. そのうち、LS5・12・SR1-8・1-9・1-11 は砂分に主モード、粘土分に副モードを持つタイプ 1 の粒径頻度分布 (図 14・

16) を、そして SL11-2 は粘土分に主モード、砂分から砂分/シルト分境界にかけて副モードを持つタイプ 12 の粒径頻度分布 (図 18) を示す。これに対し、すべての底面氷中の岩屑試料 (BI-1・BI-2・BI-3) および大多数のロジメントティル試料 (LT1-1~1-3・1-5~1-8・1-12・2-1~2-3・2-5~2-7) はタイプ 1 の粒径頻度分布を示し、残りの少数 (LT1-4・1-9・1-10・1-11・2-4) はタイプ 2 の粒径頻度分布を示す (図 8)。このような底面氷中の岩屑・ロジメントティル試料と同様な端成分比と粒径頻度分布を有する未固結細粒堆積物試料は LS5・12・SR1-8・SR1-9・SR1-11 の 5 試料のみである。ただし、LS5 の粒径頻度分布において砂分に現れているモードは、LS12・SR1-8・1-9・1-11・SL11-2 や BI-1・BI-2・BI-3, LT1-1~1-3・1-5~1-8・1-12・2-1~2-3・2-5~2-7 の粒径頻度分布におけるものより尖度が極めて低い。したがって、粒度組成の特徴の一致という観点から判断すると、未固結細粒堆積物試料のうち LS12・SR1-8・SR1-9・SR1-11 が初生の氷河底ティルである可能性が高いといえる。

次に、堆積している場所の巨視的な地形的位置 (山頂・山腹・谷底・海岸) の違いという観点から、初生の氷河底ティルである可能性が高いと判断された 2 地点の試料を考察する。まず、ラングホブテ南部から採取した LS12 は山頂に堆積していた (図 10A)。このような場所では、一次堆積後の侵食や周囲からの再移動物質の流入・攪拌が起こりにくいので、氷河底ティル本来の粒度組成が残されたと考えられる。また、スカルプスネスのきざはし浜から採取した SR1-8・SR1-9・SR1-11 は、その上位を隆起海浜堆積物によって覆われている (図 10D)。その被覆が、氷河底ティルを一次堆積後の侵食から保護したのであろう。東オングル島の目の浜やラングホブテ南部でも隆起海浜堆積物の下位層準に未固結細粒堆積物の存在が認められており (Miura *et al.*, 1998c)、それらも同様に初生の氷河底ティルである可能性がある。

一方、山腹斜面や谷底、海岸から採取されたその他の多くの試料は、微視的にみると基盤岩の浅い凹地あるいは緩やかな斜面上に堆積している。このような場所が堆積後の流水・風などによる侵食や斜面上部からの物質の流入・攪拌に極めてよい条件にあることは明らかである。このような地形的条件にある未固結細粒堆積物試料が多様な端成分比・粒径頻度分布を持つことは、もともと堆積していた氷河底ティルが、侵食・再運搬・再堆積したことに起因すると考えられる。本研究で採取した未固結細粒堆積物のうち砂をまったくあるいはほとんど含まないものは、融雪水のような物質運搬能力の低い水流によって、粘土やシルトのような細粒物質のみが氷河底ティル中から洗い出されて再堆積したものと解釈できる。また、比較的多くの砂を含む試料は、粘土やシルトが洗い出されたあとに残留したものと考えられる。

粘土やシルトのような細粒物質は氷河底成以外の基盤岩の風化作用によっても生産されるが、スカルプスネスのオーセン湾東岸において 7 m 以上もの厚さで堆積するロジメントティルとスカーレンの底面氷中の岩屑の存在、および上述のような、堆積物本来の粒度組成

が変化しづらい場所に氷河底成岩屑と類似した粒度組成を持つ未固結細粒堆積物があるという事実を考慮すると、未固結細粒堆積物の主要な構成物質である粘土やシルトの起源は、かつての宗谷海岸露岩域に広く堆積していた氷河底ティルであると考えるのが妥当であろう。

5. おわりに

本研究では、氷河底成岩屑（氷河底ティルの起源物質である底面氷中の岩屑と氷河底ティルの一種であるロジメントティル）の粒度組成の特徴を明らかにし、それとの比較によって、東南極氷床縁の宗谷海岸露岩域に分布する未固結細粒堆積物の成因を検討した。その結果、本研究地域の氷河底成岩屑は、粘土から砂までの幅広いサイズの粒子からなり、砂分に主モード、粘土分に副モードが現れるバイモーダルな粒径頻度分布を示すという氷河底成岩屑に典型的な粒度組成の特徴を示した。同時に、従来の研究に比べモードの位置が細粒側にずれるという固有な特徴を有することが明らかになった。これは、岩屑の力学的強度と底面氷中での運搬距離の地域特性を反映している可能性がある。一方、未固結細粒堆積物のうち、礫に覆われる山頂や隆起海浜堆積物に覆われる海岸に分布するものには、氷河底成岩屑と同じ粒度組成を持つものがある。これらは、一次堆積の氷河底ティルであると見なされた。しかし未固結細粒堆積物の大部分は主に粘土とシルトから成り、多様な粒径頻度分布を持つ。これらの未固結細粒堆積物は、主に氷河底ティルが再移動・再堆積した二次堆積物であると考えられた。

これまでオーセン湾東岸のロジメントティル以外に、明確な証拠から氷河底ティルの存在を示した研究例はなかったが、本研究によって、かつての宗谷海岸露岩域では一次堆積の氷河底ティルが広い範囲で存在した可能性が示された。もし、これが正しければ、第四紀後期の東南極氷床は、少なくともリュツォ・ホルム湾周辺において比較的容易に流動できる底面融解状態の氷床であった可能性、さらに東南極氷床も北半球氷床や西南極氷床と並んでグローバルな海水準変動・気候変動に大きな役割を果たしてきた可能性がある。

謝 辞

本稿は、JARE-45において地学部門地形グループが実施した野外観測の結果の一部をまとめたものである。その観測に際しては、観測隊員と「しらせ」乗員の多大な協力を得た。特に生物グループの諸兄からは、長期に及ぶ沿岸調査において温かい協力と励ましを受けた。また、匿名査読者には大変有益な助言をいただいた。以上の方々に、厚くお礼申し上げます。なお、本研究には日本学術振興会特別研究員奨励費（課題番号 02J00189, 代表者: 岩崎正吾）を用いた。

文 献

- Benn, D. I. and Evans, D. J. A. (1998): *Glaciers and Glaciation*. London, Arnold, 197–199, 203–205.
- Bennett, M. R. and Glasser, N. F. (1996): *Glacial Geology: Ice Sheets and Landforms*. Chichester, J. Wiley, 154–161, 167–176.
- Boulton, G. S. (1978): Boulder shapes and grain-size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis. *Sedimentology*, **25**, 773–799.
- Dreimanis, A. (1989): Tills: their genetic terminology and classification. *Genetic Classification of Glacigenic Deposits*, ed. by R. P. Goldthwait and C. L. Matsch. Rotterdam, Balkema, 17–84.
- Dreimanis, A. and Vagners, U. J. (1971): Bimodal distribution of rock and mineral fragments in basal tills. *Till: A Symposium*, ed. by R. P. Goldthwait. Columbus, Ohio State University Press, 237–250.
- Drewry, D. J. (1986): *Glacial Geologic Processes*. London, Edward Arnold, 276 p.
- Haldorsen, S. (1981): Grain-size distribution of subglacial till and its relation to subglacial crushing and abrasion. *Boreas*, **10**, 91–105.
- Hart, J. K. (1998): The deforming bed/debris-rich basal ice continuum and its implications for the formation of glacial landforms (flutes) and sediments (melt-out till). *Quat. Sci. Rev.*, **17**, 737–754.
- Hubbard, B. and Sharp, M. (1995): Basal ice facies and their formation in the Western Alps. *Arct. Alp. Res.*, **27**, 301–310.
- Iverson, N. R. and Semmens, D. J. (1995): Intrusion of ice into porous media by regelation: Mechanism of sediment entrainment in glacier. *J. Geophys. Res.*, **100**, 10219–10230.
- Kamb, B. and LaChapelle, E. (1964): Direct observation of the mechanism of glacier sliding over bedrock. *J. Glaciol.*, **5**, 159–172.
- Kikbride, M. P. (1995): Processes of transportation. *Modern Glacial Environments—Processes, Dynamics and Sediments—*, ed. by J. Menzies. Oxford, Butterworth-Heinemann, 261–292.
- Knight, P. G. and Knight, D. A. (1994): Glacier sliding, regelation water flow, and development of basal ice. *J. Glaciol.*, **40**, 600–601.
- Lawson, D. E. (1979): A sedimentological analysis of the western terminus region of the Matanuska Glacier, Alaska. *CRREL Rep.*, **79-9**, 122 p.
- McManus, D. A. (1963): A criticism of certain usage of the phi notation. *J. Sediment. Petrol.*, **33**, 670–674.
- Menzies, J. and Shilts, W. W. (1996): Subglacial sediments and landforms. *Past Glacial Environments—Sediments, Forms and Techniques—*, ed. by J. Menzies. Oxford, Butterworth-Heinemann, 29–46.
- Miura, H., Moriwaki, K., Maemoku, H. and Hirakawa, K. (1998a): Fluctuations of the East Antarctic ice-sheet margin since the last glaciation from the stratigraphy of raised beach deposits along Sôya Coast. *Ann. Glaciol.*, **27**, 297–301.
- Miura, H., Maemoku, H., Seto, K. and Moriwaki, K. (1998b): Late Quaternary East Antarctic melting event in the Sôya Coast region based on stratigraphy and oxygen isotopic ratio of fossil mollusks. *Polar Geosci.*, **11**, 260–274.
- Miura, H., Maemoku, H., Igarashi, A. and Moriwaki, K. (1998c): Late Quaternary raised beach deposits and radiocarbon dates of marine fossils around Lützow-Holm Bay (with explanatory text, 46 p). *Special Map Series of National Institute of Polar Research*, No. 6, Tokyo, Natl Inst. Polar Res.
- 宮本隆実・立石雅昭・志岐常正・公文富士夫 (1998): 粒度の表現方法. 新版—碎屑物の研究法—, 公文富士夫・立石雅昭編. 東京, 地学団体研究会, 191–207 (地学双書 29).
- Nakada, M., Kimura, R., Okuno, J., Moriwaki, K., Miura, H. and Maemoku, H. (2000): Late Pleistocene and Holocene melting history of the Antarctic ice sheet derived from sea-level variations. *Mar. Geol.*, **167**, 85–103.
- Sawagaki, T. and Hirakawa, K. (1997): Erosion of bedrock by subglacial meltwater, Sôya Coast, East Antarctica. *Geogr. Ann.*, **79A**, 223–238.
- Sawagaki, T. and Hirakawa, K. (2002): Terrestrial evidence of melting of the Antarctic Ice Sheet during the Last Glacial period. *R. Soc. N. Z. Bull.*, **35**, 405–414.
- Shepard, F. P. (1954): Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sediment. Petrol.*, **24**, 151–158.
- Straasser, J. C., Lawson, D. E., Larson, G. J., Evenson, E. B. and Alley, R. B. (1996): Preliminary results of tritium analyses in basal ice, Matanuska Glacier, Alaska, USA: Evidence for subglacial ice accretion. *Ann. Glaciol.*, **22**, 126–133.
- Tison, J. L., Petit, J. R., Barnola, J. M. and Mahaney, W. C. (1993): Debris entrainment at the ice-bedrock

- interface in sub-freezing temperature conditions (Terre Adélie, Antarctica). *J. Glaciol.*, **39**, 303-315.
- Weertman, J. (1961): Mechanism for the formation of inner moraines formed near the edge of cold ice caps and ice sheets. *J. Glaciol.*, **3**, 965-978.
- Wentworth, C. K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, **30**, 377-392.
- Yoshida, Y. (1983): Geomorphic nature of some unconsolidated deposits in the Langhovde and Skarvsnes areas, Sôya Coast, East Antarctica. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **28**, 231-239.
- 吉田栄夫・森脇喜一 (1986): リュツォ・ホルム湾およびプリンスオラフ海岸地域の露岩の地形. 南極の科学 5 地学, 国立極地研究所編. 東京, 古今書院, 127-169.

付録 1 底面氷中の岩屑試料 (BI-1~3) とロジメントティル
 Appendix 1. Detailed sample data and grain-size distribution of debris in basal ice
 (LT1, 2) from the eastern beach of Osen Bay in the Skarvsnes ice-free

Sample No.	Sample ID	Latitude (S)	Longitude (E)	Percentage of Grain-size (ϕ)								
				13.0	12.5	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0	9.5	9.0
BI-1	Magoke-Ice	69° 40' 50"	38° 27' 50"	0.0	0.0	0.0	3.1	8.0	1.2	1.1	2.2	3.5
BI-2	Magoke-Ice	"	"	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	2.3	5.0	4.0	2.7
BI-3	Magoke-Ice	"	"	0.0	0.0	0.0	2.0	4.1	0.4	1.1	2.1	2.2
LT1-1	OJ-M33-1	69° 27' 38"	39° 42' 32"	0.0	0.0	0.0	3.3	11.2	2.0	1.4	2.6	4.2
LT1-2	OJ-M33-2	"	"	0.0	0.0	0.0	3.3	8.3	1.4	2.1	4.3	5.4
LT1-3	OJ-M33-3	"	"	0.0	0.0	0.0	3.3	11.2	3.5	2.7	3.6	5.6
LT1-4	OJ-M33-4	"	"	0.0	0.0	0.0	2.3	7.1	3.6	5.1	6.5	7.2
LT1-5	OJ-M33-5	"	"	0.0	0.0	0.0	3.8	15.0	4.6	2.4	2.5	4.9
LT1-6	OJ-M33-6	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.5	6.5	7.1	4.9
LT1-7	OJ-M33-7	"	"	0.0	0.0	0.0	3.8	10.3	1.7	1.4	2.6	4.1
LT1-8	OJ-M33-8	"	"	0.0	0.0	0.0	3.5	10.0	2.1	2.1	3.8	5.2
LT1-9	OJ-M33-9	"	"	0.0	0.0	0.0	2.3	7.2	3.9	5.3	6.5	7.1
LT1-10	OJ-M33-10	"	"	0.0	0.0	0.0	2.4	7.4	3.6	4.9	6.1	6.9
LT1-11	OJ-M33-11	"	"	0.0	0.0	0.0	2.4	6.7	3.4	5.1	6.7	7.2
LT1-12	OJ-M33-12	"	"	0.0	0.0	0.0	4.0	12.1	2.6	1.8	3.0	4.9
LT2-1	OK-M21.22-1	69° 27' 38"	39° 42' 32"	0.0	0.0	0.0	4.2	14.4	3.4	1.9	2.5	4.5
LT2-2	OK-M21.22-2	"	"	0.0	0.0	0.0	4.1	13.9	3.9	2.2	2.7	4.9
LT2-3	OK-M21.22-3	"	"	0.0	0.0	0.0	3.5	9.8	1.8	1.6	3.1	4.9
LT2-4	OK-M21.22-4	"	"	0.0	0.0	0.0	2.8	8.3	3.5	4.4	5.5	6.6
LT2-5	OK-M21.22-5	"	"	0.0	0.0	0.0	3.6	11.7	3.7	2.5	3.1	5.5
LT2-6	OK-M21.22-6	"	"	0.0	0.0	0.0	4.1	10.9	1.9	1.5	2.7	4.2
LT2-7	OK-M21.22-7	"	"	0.0	0.0	0.0	4.1	11.0	1.9	1.4	2.3	4.1

付録 2 オンゲル諸島 (WO, EO) とラングホブデ南部 (LS) から採取した
 Appendix 2. Detailed sample data and grain-size distribution of unconsolidated fine
 (LS) ice-free areas. Sampling sites are given in Figs. 2 and 3.

Sample No.	Sample ID	Latitude (S)	Longitude (E)	Percentage of Grain-size (ϕ)									
				13.0	12.5	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0	9.5	9.0	8.5
WO1	040210-1	69° 01' 20"	39° 33' 38"	0.0	0.0	3.0	7.9	3.5	5.1	6.3	6.5	6.3	8.1
WO2	040210-2	69° 01' 41"	39° 33' 42"	0.0	0.0	3.0	8.3	3.2	4.0	5.3	6.2	6.4	6.3
WO3	040210-3	69° 01' 18"	39° 34' 10"	0.0	0.0	4.7	10.8	0.9	1.6	3.4	4.1	3.8	3.6
EO1	040213-1	69° 00' 27"	39° 34' 55"	0.0	0.0	2.6	9.0	2.9	3.7	5.7	6.5	5.3	4.0
EO2	040214-1	69° 00' 25"	39° 35' 12"	0.0	0.0	2.6	7.2	2.6	3.9	5.5	6.1	5.9	6.0
LS1	040205-1	69° 14' 39"	39° 44' 03"	0.0	0.0	0.0	2.4	7.2	1.7	1.1	1.7	2.8	2.7
LS2	040205-2	69° 14' 39"	39° 43' 37"	0.0	0.0	0.0	2.7	8.1	3.3	3.8	4.8	6.1	6.6
LS3	040206-1	69° 13' 28"	39° 45' 17"	0.0	0.0	0.0	2.9	9.0	1.6	1.1	1.7	3.1	3.3
LS4	040206-2	69° 13' 37"	39° 45' 21"	0.0	0.0	0.0	2.2	7.2	4.9	6.9	7.8	8.0	8.0
LS5	040206-3	69° 13' 48"	39° 44' 36"	0.0	0.0	0.0	2.1	7.1	2.0	1.1	1.3	2.4	2.3
LS6	040206-4	69° 14' 15"	39° 44' 20"	0.0	0.0	0.0	3.1	9.1	1.8	1.1	1.6	2.5	2.6
LS7	040206-5	69° 14' 33"	39° 43' 15"	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	1.2	2.5	2.0	1.3	1.7
LS8	040207-1	69° 15' 32"	39° 45' 30"	0.0	0.0	0.0	2.5	5.8	1.1	1.3	2.3	3.0	3.3
LS9	040207-2	69° 15' 46"	39° 46' 07"	0.0	0.0	0.0	1.8	6.6	2.0	1.1	1.3	2.4	2.5
LS10	040207-3	69° 15' 23"	39° 45' 52"	0.0	0.0	0.0	2.3	7.4	3.8	4.9	6.1	7.1	7.2
LS11	040207-4	69° 15' 10"	39° 45' 50"	0.0	0.0	0.0	2.4	6.2	1.7	2.4	4.2	5.6	6.3
LS12	040208-1	69° 14' 38"	39° 43' 53"	0.0	0.0	0.0	2.8	11.0	2.5	1.3	1.2	2.2	1.9

付録 3 スカルプスネス (SR) から採取した

Appendix 3. Detailed sample data and grain-size distribution of all samples including Sampling sites are given in Fig. 4.

Sample No.	Sample ID	Latitude (S)	Longitude (E)	Percentage of Grain-size (ϕ)												
				13.0	12.5	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0		
SR1-1	040124-8-1	69° 27' 44"	39° 34' 49"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SR1-2	040124-8-1-2	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SR1-3	040124-8-1-3	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
SR1-4	040124-8-1-4	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SR1-5	040124-8-1-5	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
SR1-6	040124-8-1-6	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SR1-7	040124-8-1-7	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
SR1-8	040124-8-1-8	"	"	0.0	0.0	0.0	1.4	7.2	2.5	1.3	1.2	2.5	2.4	1.9	1.8	1.9
SR1-9	040124-8-1-9	"	"	0.0	0.0	0.0	2.6	1.1	0.7	3.0	4.2	2.8	3.1	3.8	3.8	3.8
SR1-10	040124-8-1-10	"	"	0.0	0.0	0.0	0.9	1.8	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
SR1-11	040124-8-1-11	"	"	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	0.6	1.2	2.3	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0
SR2	040116-1	69° 28' 25"	39° 44' 29"	0.0	0.0	0.0	2.7	7.7	3.1	4.1	5.6	6.6	6.8	6.8	6.6	6.6
SR3	040119-1	69° 26' 07"	39° 38' 00"	0.0	0.0	0.0	1.8	6.9	5.9	8.4	9.6	10.3	10.9	10.5	10.5	10.5
SR4	040119-2	69° 27' 38"	39° 35' 13"	0.0	0.0	0.0	1.9	6.2	4.1	6.0	7.2	7.9	8.6	8.8	8.8	8.8
SR5	040120-1	69° 29' 18"	39° 39' 15"	0.0	0.0	0.0	1.6	5.7	4.8	7.4	8.9	9.3	9.2	8.2	8.2	8.2
SR6	040120-2	69° 29' 13"	39° 38' 28"	0.0	0.0	0.0	2.2	6.8	4.1	6.0	7.2	7.5	7.5	7.2	7.2	7.2
SR7	040120-3	69° 28' 27"	39° 38' 40"	0.0	0.0	0.0	2.6	7.1	3.0	4.4	5.9	6.6	6.8	7.0	7.0	7.0
SR8	040120-4	69° 28' 23"	39° 37' 09"	0.0	0.0	0.0	1.9	6.1	3.7	5.4	6.7	7.7	8.4	8.8	8.8	8.8
SR9	040121-1	69° 28' 58"	39° 35' 32"	0.0	0.0	0.0	2.7	8.2	2.6	2.5	3.7	5.7	6.6	6.9	6.9	6.9
SR10-1	040121-2	69° 28' 43"	39° 35' 58"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	3.6	6.4	8.1	9.5	11.3	11.4	11.4	11.4
SR10-2	040121-2'	"	"	0.0	0.0	0.0	2.7	7.3	2.8	3.7	4.9	6.1	6.9	6.9	6.9	6.9
SR10-3	040121-2''	"	"	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2	4.7	7.6	8.3	7.9	8.4	8.2	8.2	8.2
SR11-1	040121-3	69° 29' 22"	39° 41' 10"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1
SR11-2	040121-3'	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	5.2	1.8	1.1	1.3	1.8	1.4	0.7	0.7	0.7
SR11-3	040121-3''	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.6	5.3	6.3	6.4	7.5	8.0	8.0	8.0
SR12-1	040121-4-1	69° 29' 35"	39° 40' 45"	0.0	0.0	0.0	0.2	2.9	4.1	5.5	5.9	7.1	8.2	7.7	7.7	7.7
SR12-2	040121-4-2-1	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.5	5.9	8.0	8.7	9.9	10.5	10.5	10.5
SR12-3	040121-4-2-2	"	"	0.0	0.0	0.0	2.2	6.0	1.3	1.0	1.8	2.9	3.2	3.8	3.8	3.8
SR12-4	040121-4-2-3	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.7	3.4	5.7	6.6	7.4	8.7	9.2	9.2	9.2
SR12-5	040121-4-3	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1
SR12-6	040121-4-4	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	3.5	6.8	8.8	10.0	11.7	12.1	12.1	12.1
SR12-7	040121-4-5	"	"	0.0	0.0	0.0	0.6	2.0	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2
SR13-1	040122-1-1	69° 29' 18"	39° 41' 10"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	3.7	6.7	8.7	10.7	13.2	14.1	14.1	14.1
SR13-2	040122-1-2	"	"	0.0	0.0	0.0	1.5	4.3	0.4	0.3	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
SR14	040122-2	69° 28' 47"	39° 38' 41"	0.0	0.0	0.0	0.2	2.5	4.3	6.6	8.0	9.9	11.5	10.8	10.8	10.8
SR15	040122-3	69° 28' 31"	39° 38' 40"	0.0	0.0	0.0	2.5	7.3	2.8	3.4	4.6	6.0	6.7	6.8	6.8	6.8
SR16	040124-1	69° 26' 56"	39° 34' 57"	0.0	0.0	0.0	2.5	7.7	4.7	6.1	6.7	7.3	7.9	7.6	7.6	7.6
SR17	040124-2	69° 27' 11"	39° 34' 11"	0.0	0.0	0.0	0.2	3.2	5.5	8.2	8.7	8.7	9.4	8.9	8.9	8.9
SR18	040124-3	69° 27' 13"	39° 34' 25"	0.0	0.0	0.0	2.3	8.5	7.2	10.1	11.3	12.0	12.3	11.0	11.0	11.0
SR19	040124-4	69° 27' 30"	39° 34' 58"	0.0	0.0	0.0	2.2	7.8	5.9	8.0	8.8	9.3	9.7	9.2	9.2	9.2
SR20	040124-5	69° 27' 43"	39° 32' 59"	0.0	0.0	0.0	2.4	6.5	2.6	3.8	5.5	6.6	6.9	7.3	7.3	7.3
SR21	040124-6	69° 27' 45"	39° 33' 35"	0.0	0.0	0.0	1.9	6.2	1.5	0.8	0.8	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2
SR22	040124-7	69° 27' 42"	39° 34' 00"	0.0	0.0	0.0	3.4	9.6	2.5	2.0	3.0	4.7	5.1	5.1	5.1	5.1
SR23	040125-1	69° 29' 18"	39° 36' 08"	0.0	0.0	0.0	2.5	6.6	2.4	3.7	5.5	6.3	6.6	6.8	6.8	6.8
SR24	040125-2	69° 28' 45"	39° 36' 28"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.3	5.9	7.4	6.7	6.9	6.8	6.8	6.8
SR25	040125-3	69° 28' 34"	39° 36' 20"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.4	5.0	6.5	7.6	9.6	11.2	11.2	11.2
SR26	040125-4	69° 28' 27"	39° 34' 52"	0.0	0.0	0.0	2.4	6.8	2.2	2.5	4.0	5.6	6.4	7.1	7.1	7.1

付録 4 スカーレン (SL) から採取した

Appendix 4. Detailed sample data and grain-size distribution of all samples ice-free areas. Sampling sites are given in Fig. 5.

Sample N	Sample ID	Latitude (S)	Longitude (E)	Percentage of Grain-size (ϕ)										
				13.0	12.5	12.0	11.5	11.0	10.5	10.0	9.5	9.0	8.5	
SL1-1	040130-1-A	69° 40' 40"	38° 27' 50"	0.0	0.0	0.0	2.9	8.4	2.5	2.7	3.9	5.2	5.3	
SL1-2	040130-1-B	~69° 41' 00"	~38° 28' 30"	0.0	0.0	0.0	1.3	5.0	1.4	0.7	0.7	1.4	1.3	
SL1-3	040130-1-C	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	2.6	0.8	0.4	0.3	0.6	0.3	
SL1-4	040130-1-D	"	"	0.0	0.0	0.0	1.7	4.5	0.8	0.7	1.2	2.0	2.2	
SL1-5	040130-1-E	"	"	0.0	0.0	0.0	2.5	6.9	1.5	1.6	3.0	4.4	4.8	
SL1-6	040130-1-F	"	"	0.0	0.0	0.0	2.0	4.8	0.8	0.8	1.7	2.8	3.2	
SL2-1	040130-2-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4	3.7	5.1	5.9	7.6	
SL2-2	040130-2-B	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.3	4.3	5.5	6.4	8.2	
SL3-1	040130-3-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.3	4.9	6.2	6.7	8.2	
SL3-2	040130-3-B	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.7	3.1	4.6	5.4	6.7	8.1	
SL3-3	040130-3-C	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.5	4.5	5.2	5.8	7.0	
SL3-4	040130-3-D	"	"	0.0	0.0	0.1	4.8	12.2	8.8	10.6	10.2	10.4	10.9	
SL4-1	040130-4-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.4	3.9	6.8	8.2	9.0	10.1	
SL4-2	040130-4-B	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	3.1	5.4	6.2	6.6	7.6	
SL4-3	040130-4-C	"	"	0.0	0.0	0.0	2.5	4.0	0.5	1.7	2.8	2.4	2.3	
SL5-1	040130-5-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.9	4.3	5.5	6.1	7.8	
SL5-2	040130-5-B	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	4.0	5.3	5.9	7.5	
SL6-1	040130-5-A'	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.8	4.1	5.4	5.9	7.6	
SL6-2	040130-5-B'	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3	2.8	4.6	5.6	6.8	8.5	
SL6-3	040130-5-C'	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.6	5.5	7.1	7.8	9.4	
SL7-1	040130-6-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	2.5	5.0	6.2	6.9	8.7	
SL7-2	040130-6-B	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	2.7	5.2	6.4	6.9	8.3	
SL7-3	040130-6-C	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5	3.6	6.2	7.3	7.9	9.3	
SL8-1	040130-7-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.2	2.2	3.7	5.7	6.7	7.9	9.5	
SL8-2	040130-7-B	"	"	0.0	0.0	0.0	0.2	2.7	4.1	6.3	7.0	7.5	8.7	
SL8-3	040130-7-C	"	"	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.9	4.7	6.3	7.0	8.6	
SL9-1	040130-8-A	"	"	0.0	0.0	0.0	0.1	1.7	3.8	6.6	7.9	8.5	9.5	
SL9-2	040130-8-B	"	"	0.0	0.0	0.0	2.2	5.9	2.6	4.0	5.5	6.5	7.4	
SL10-1	040131-1	"	"	0.0	0.0	0.0	2.3	7.8	3.3	3.3	4.2	6.1	7.1	
SL10-2	040131-2	"	"	0.0	0.0	0.0	2.7	7.2	1.6	1.9	3.4	4.9	5.6	
SL10-3	040131-3	"	"	0.0	0.0	0.0	0.3	4.2	6.7	9.8	11.2	12.7	14.7	
SL10-4	040131-4	"	"	0.0	0.0	0.0	1.6	2.6	0.3	1.0	1.6	1.5	1.6	
SL11-1	040131-5	"	"	0.0	0.0	0.0	2.8	7.2	1.5	1.5	2.5	3.7	4.1	
SL11-2	040131-6	"	"	0.0	0.0	0.0	2.5	10.5	3.4	1.7	1.7	3.5	3.5	
SL11-3	040131-7	"	"	0.0	0.0	0.0	0.6	4.9	7.1	10.7	12.2	12.7	13.3	
SL11-4	040131-8	"	"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.5	3.2	2.6	2.4	3.6	
SL12-1	040131-9	"	"	0.0	0.0	0.0	3.4	10.1	2.3	1.5	2.1	3.7	3.8	
SL12-2	040131-10	"	"	0.0	0.0	0.0	3.1	7.4	1.4	1.9	3.2	4.2	4.6	
SL12-3	040131-11	"	"	0.0	0.0	0.0	1.0	5.1	5.7	9.0	11.7	13.7	17.4	
SL12-4	040131-12	"	"	0.0	0.0	0.0	0.2	2.8	5.6	8.9	10.3	10.8	11.6	
SL13	040202-1	"	"	0.0	0.0	0.0	2.6	7.1	2.4	2.9	4.1	5.5	6.1	
SL14	040128-1	69° 39' 32"	39° 22' 50"	0.0	0.0	0.0	2.8	7.7	3.1	4.0	5.2	6.3	6.8	
SL15	040128-2	69° 39' 41"	39° 23' 26"	0.0	0.0	0.0	2.1	8.0	6.2	8.2	8.8	9.1	9.2	
SL16	040128-3	69° 39' 59"	39° 23' 50"	0.0	0.0	0.0	3.3	9.0	3.5	4.2	5.2	6.0	6.1	
SL17	040128-4	69° 40' 12"	39° 25' 03"	0.0	0.0	0.0	3.0	7.8	2.8	3.4	4.6	5.8	6.6	
SL18	040128-5	69° 40' 13"	39° 26' 26"	0.0	0.0	0.0	3.0	8.3	1.3	1.0	2.0	3.4	3.7	
SL19-1	040128-6-1	69° 40' 17"	39° 27' 36"	0.0	0.0	0.0	2.9	7.9	2.6	3.1	4.2	5.3	5.6	
SL19-2	040128-6-2	"	"	0.0	0.0	0.0	2.9	7.6	1.9	2.4	3.8	4.9	5.2	
SL19-3	040128-6-3	"	"	0.0	0.0	0.0	3.1	9.6	2.3	1.6	2.4	4.2	4.5	

