

東南極大陸, Sandercock Nunatak 群 における地学調査について

渡辺 興亜* ・ 吉村愛一郎**

Preliminary Geo-Scientific Researches on Sandercock Nunataks,
Enderby Land, East Antarctica, 1970

Okitsugu WATANABE* and Aiichiro YOSHIMURA**

Abstract: Sandercock Nunataks are located at lat. $68^{\circ}36'41''S$ and long. $52^{\circ}06'02''E$ about 500 km east of Syowa Station. These nunataks were visited by the JARE 11 traverse party in the summer of 1970. Sandercock Nunataks are composed of four nunataks temporarily named A, B, C and D from north to south. The following survey and observation were carried out.

1. Determination of the location of each nunatak by astronomical surveying and sketch mapping.
2. Geophysical measurements: Measurements of geodetic gravity and geomagnetism in the vicinity of the nunataks.
3. Geological observations: Geological sketch mapping for each nunatak and sampling of rocks.
4. Glaciological observations: Observations of the occurrence of inland ice and patterned ground with ground ice on the nunataks.

1. は し が き

Sandercock Nunatak 群は Enderby Land のほぼ中央部に位置し, Casey 湾に流れこむ Rayner および Thyer 氷河の上流域最南端の nunatak 群である. 昭和基地の東 500 km にあり, もっとも近い海岸からの距離は 200 km である. これまでにオーストラリアおよびソビエトの調査隊が当地を訪れたと伝えられている. 第11次南極観測隊の内陸調査隊は, 氷床表面の流動量, 流動方向および大陸氷表面の歪量の測定のため当地を基点とした測線をトラバース測量によって設けるため, みずほ前進基地, Y 200 点を経由して1970年12月当地

* 名古屋大学理学部水質科学研究施設. Water Research Laboratory, Faculty of Science, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya.

** 建設省国土地理院. Geographical Survey Institute, Azabuiikura-cho Minato-ku, Tokyo.

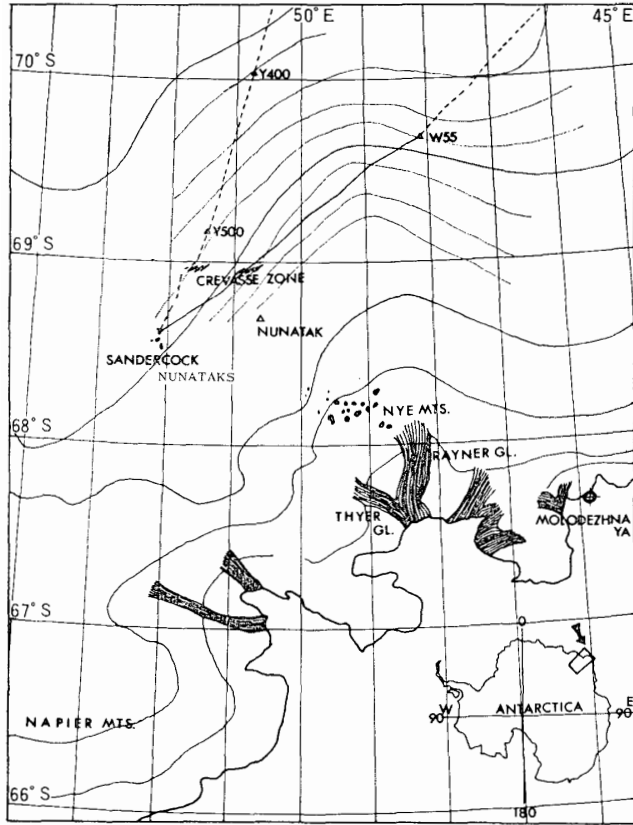


図1 東南極大陸における Sandercock Nunatak 群の位置（点線および実線は JARE 11 の夏期調査ルート）

を訪れた。

起点の設定作業が進められている間、予察的地学調査を行なったのでここにその結果について報告する。Sandercock Nunatak 群には12月12日から16日まで滞在し、1つの nunatak に対して1日の割合で調査を実施した。調査した項目と担当は次の通りである。

- i 天文位置測量・各 nunatak の位置関係測量および地磁気、重力の観測（吉村）
- ii 一般地形調査（吉村・渡辺）
- iii 地質および雪氷学調査（渡辺）

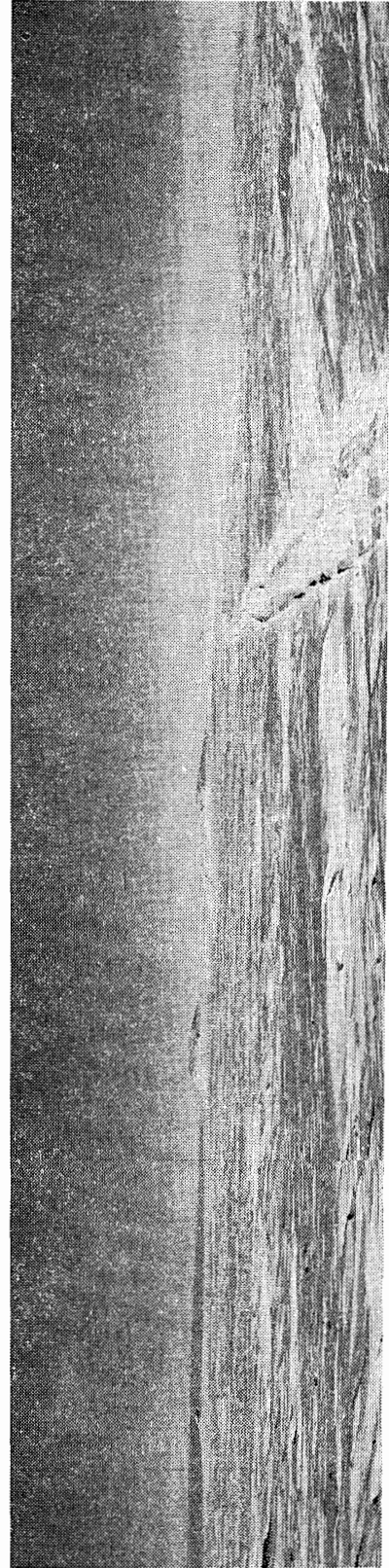


図2 Sandercock Nunatak 群の全景（左から Nunatak A, B, C, 南西より望む）

2. 地形および位置について

2.1. 氷床の地形と位置の決定および地磁気, 重力観測の結果について

Sandercock Nunatak 群は南方 25 km 先の地点から氷床上にみとめられた。氷床の最大傾斜方向は, nunatak 群近辺では北西でその傾きの度合は大きい。参考に Sandercock Nunatak 群近辺の最大傾斜の測定値を示す。

	最大傾斜の方向		
Y 545	68°50.3'S	51°52.7'E	306°
Y 555	68°45.0'S	51°57.0'E	326°
Y 560	68°42.4'S	51°59.8'E	310°

北西に強く傾斜した氷床表面は nunatak 群の近辺で二段の段階状の地形をつくることによって表面高度を局部的に急激に低め, nunatak 群はその一段目に氷床上から露出している。一段目の平坦面は幅約 5 km ありその上の段(氷床の連続した表面)との間の急傾斜面にはクレバス帯がみられる。大陸氷の表面高度は nunatak 群を境にしてその上段および下段との間に 100m の高度差をもっている。これら 2 つの急斜面のうち一般氷床表面から落ちこむ最初の急坂は nunatak 群に接する地域では nunatak 群の地理的なのびの方向と一致し, nunatak 群をはなれるにつれ南西にその方向をかえ, その一部にクレバス帯を形成したのち次第に高度差を減じ平坦化する。一番下部のステップは周囲の一般氷床面より 200m 程度低く, 全体として大きな円型の窪地となっている。その下流側は再び高まり平坦な氷床表面につながっている。Sandercock Nunatak 群は 4 個の nunatak といくつかの小規模な岩の露出よりなり, それらはほぼ南北にならんでいる。露岩群を形成する各

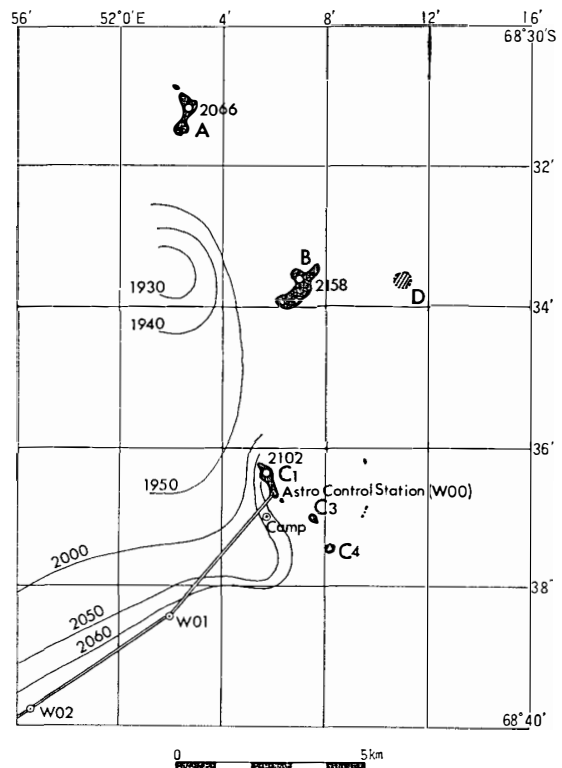


図 3 Sandercock Nunatak 群近辺の地形 (W00-W01-W02-は JARE 11 による氷床流動測定トラバース・ネットを示す)

nunatak に対して観測の便宜から、見かけ上北から A B C D と名付けたが測量の結果 D は B の東にあることがわかった。これらの位置関係を図 3 に示した。位置決定のための太陽観測は Nunatak C₁ の図中 Astro Control Station と記されたところで、19 回の観測を行ない決定した。方位は C₄ を方位標とし、6 対回の観測によって決定した。天測点および方位標は将来の航空測量にそなえ黄色にぬった+印で印されている。それぞれの nunatak の相対位置関係は、W00 (天測点), W01 および Camp を基線とした三角測量によって決定

表 1 Sandercock Nunatak 群基準点成果表

Station	標 高 (H)	緯 度 (Lat.)	経 度 (Long.)
W01	2060.6 m	-68°38'23", 327	52°01'53", 846
Camp	2056	-68 37 00, 758	52 05 42, 189
C	2102.2	-68 36 22, 337	52 05 44, 575
C ₃	2090.9	-68 36 59, 768	52 07 24, 607
C ₄	2123.3	-68 37 28, 005	52 08 10, 023
A	2065.6	-68 31 10, 525	52 02 36, 312
B	2157.7	-68 33 35, 712	52 06 58, 152
(天測点) W00	2101.0	-68 36 41, 000	52 06 02, 000
地磁気観測結果			
伏角 -67°33'			
偏角 54°53'W			

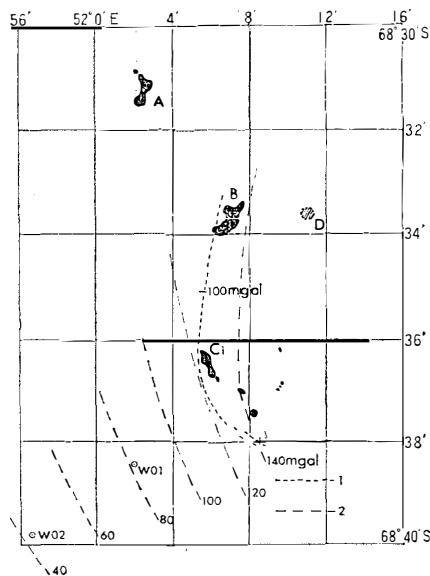


図 4 Sandercock Nunatak 群付近の重力異常分布図 (1) Bouguer anomaly (2) Free air anomaly

した。基線の測距はエレクトロ・テープを用いた。各 nunatak の標高は測角測高により決定し、基準とした Camp 地点の標高は昭和基地からの気圧測高によって決定した。これについては JARE Data Reports, No. 17 (Glaciology), I に詳しく報告されている。観測によって決定された各 nunatak の位置、標高および地磁気観測の結果を表 1 に示した。重力および地磁気観測の方法とその詳しい結果は、JARE Data Reports, No. 17 (Glaciology), IX および X に報告されている。図 4 に Sandercock Nunatak 群付近の重力異常分布を示す。

2.2. Sandercock Nunatak 群の地形について

Nunatak A, B, C のスケッチ・マップを 図 5

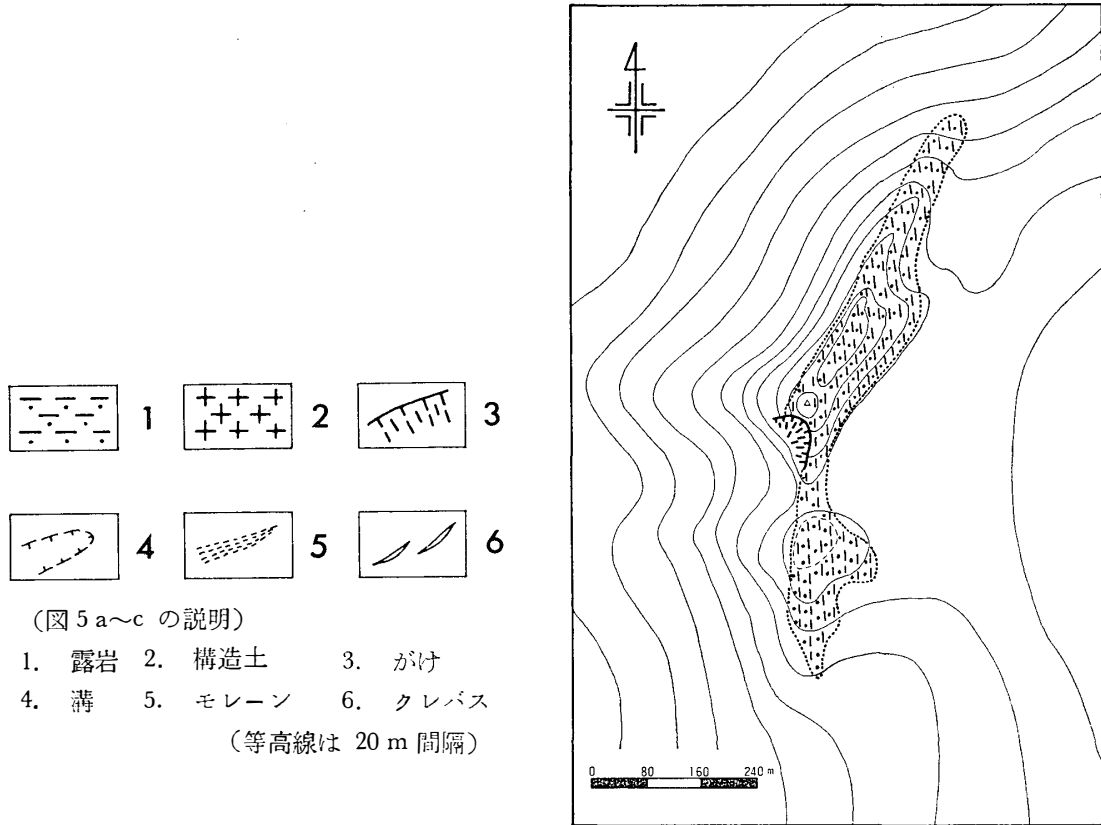


図 5(a) Nunatak A のスケッチ・マップ

(a~c) に示す. これらのスケッチ・マップはスタヂア測量によって nunatak の骨組みをきめ, 歩測および気圧測高によってその輪郭を求めたものである. 一般に nunatak は南北方向に細長くのび, その西側は急しゅんな岩壁かあるいは雪の堆積によってできた雪尾根になっている. 雪尾根の方向は卓越風の方向と一致し, 尾根すじの最大傾斜はほぼ 20° である. 東側は, 比較的ゆるい斜面でその下部は氷床表面につながっている. Nunatak は全体としていわゆる stoss-and-lee 地形といわれるものである. Nunatak A にのこされた氷蝕地形から推定される過去の大陸氷流動方向は 300° である. これは現在の氷床表面の最大傾斜方向とほぼ一致している. この特徴的な氷蝕地形は, かつて南極氷床の規模が現在より大きく, すなわち氷床表面の高度が Sandercock Nunatak 群近辺の現在の値よりも大きい時代には, Sandercock Nunatak 群が大陸氷中にその頂を没していたことを示している. 南極氷床の規模が縮小するにつれ一様な速度で露岩としてあらわれ現在に至ったものであろう. Sandercock Nunatak 群とほぼ同じような氷床高度にあるやまと山脈 (周囲の氷床高度は標高 1600~2200 m) ははるかに規模の大きい nunatak 群であるが, ここでは大陸氷の衰退に停

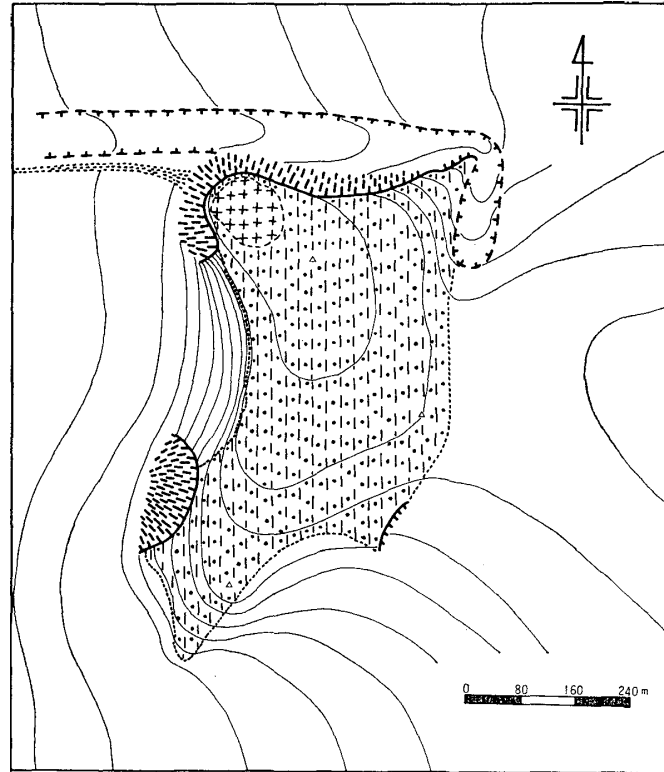


図 5(b) Nunatak B のスケッチ・マップ

滞期があったことを示す平坦面の存在や大陸氷から開放された後にできた圏谷地形など、大陸氷から開放されたのち現在までかなりの時間が経過したことを示す地形がみとめられる (吉田・藤原, 1963). このような地形がみられないことおよび大陸氷床からの露岩の高度差が小さいこと (高度差 100 m) などから, Sandercock Nunatak 群が大陸氷からその頂を開放された時期は比較的最近のことと思われる.

一般に Sandercock Nunatak 群の表面は一部に基盤が露出しているのみで, 大部分は風化によって分解された岩屑によって覆れている. アプライトの岩片の散らばりが線状で基盤のアプライト脈に平行なこと (Nunatak A) から, 岩屑は主として風化によるものが大部分で, 外来モレーンは見られないかあるとしても極めてわずかである. Nunatak B と C にみられるいわゆる構造土 (patterned ground) については後節で詳しく報告する.

3. Sandercock Nunatak 群の地質について

Sandercock Nunatak 群はいくつかのタイプの片麻岩によって構成され, その片理の一般的方向はほぼ E-W で nunatak の地形ののびに対して直角である. Nunatak 群は氷床表

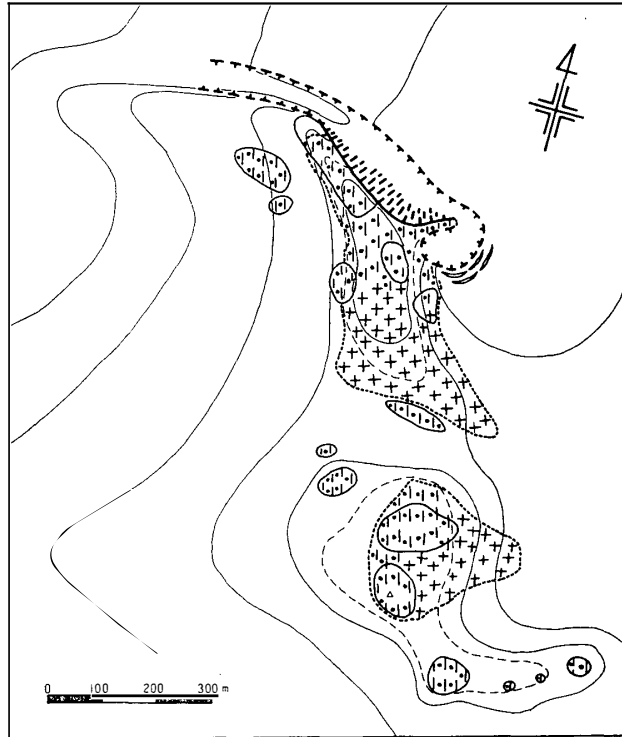


図 5(c) Nunatak C のスケッチ・マップ

面上ではそれぞれ独立した地形をなしているが、地質構造からみると、Nunatak A, B はほぼ同じような岩質・構造を示し、Nunatak C はそれらにくらべてより塊状であり、岩質もより花崗岩的である。Nunatak A, B および C については地質踏査図 (1/10000) をつくり岩質および構造要素の記載を行なった。その他の小さな露岩については岩質と構造要素を一括して記載した。詳細な岩質記載のために岩石標本を多数採集した。それぞれの nunatak を構成する岩石は次の通りである。

Nunatak A: hornblende-biotite gneiss

Nunatak B: hypersthene-garnet gneiss,
garnet gneiss

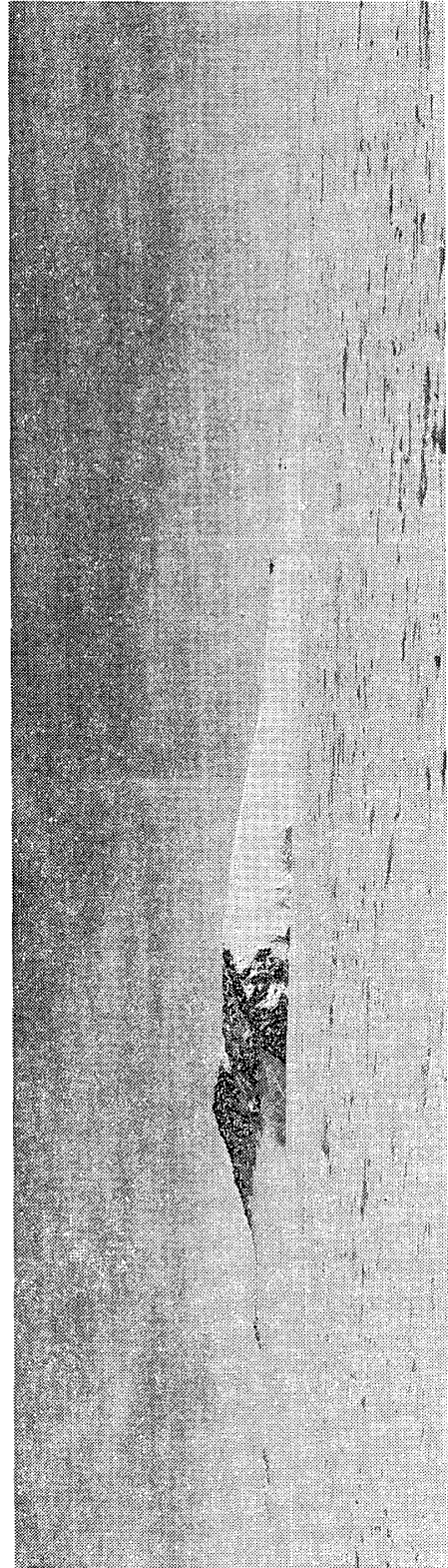


図 6 北から見た Nunatak C. 雪尾根の手前は大きな溝地形となっている

Nunatak C₁~C₃: hypersthene-hornblende gneiss

Sandercock Nunatak 群の地質に関する全体的な解析作業ともちかえった岩石標本の詳しい研究は白石・渡辺・木崎によって進められており、それらの結果は引続き報告される予定である。

4. Sandercock Nunatak 群周辺の雪氷現象について

4.1. 大陸氷の形態について

南極氷床の基盤の形状は氷床表面の形態や大陸氷の流動に大きな影響を与えるために、南極氷床の雪氷学的研究の上で重要な意味をもっている。大陸氷の厚さは氷床周縁に近づくにつれ急激に減少するので、基盤地形が大陸氷に与える影響は沿岸地域ではとくに大きい。Nunatak は基盤の高まりの一部が氷床表面にあらわれてきたものである。その露出時期、氷上に露出した基盤岩体の規模は大陸氷の水量の変動に左右される。したがって大陸氷に対する影響からみれば nunatak そのものより、それを含む基盤全体の地形の方がはるかに重要である。

Sandercock Nunatak 群は基盤地形の一部が地史的にみて比較的最近の時期に露出したものにすぎず、基盤全体の高まりは少なくともさらに 90 km 南までその範囲をひろげる。そこでは、それまでほぼ平坦な氷床表面の地形に凹凸があらわれ、その一つは 100 m の高度差をもつ谷型地形となっており、一部はクレバス帯を伴っている。顕著なクレバス帯は 68°59.2'S, 51°41.4'E および 68°58.7'S, 50°51.3'E 付近にあらわれる。それらの地域を含み Sandercock Nunatak 群付近はそこから北の Rayner および Thyer 氷河にむかって落ちこむ大きな沢型地形のはじまりとなっている。これら大地形については図 1 に示した。Nunatak B の北端からモレーンの列が西にのびているが、このモレーン列をつくる大陸氷の流れが局部的なものでないとすると、Sandercock Nunatak 群近辺の大陸氷の流れの方向はほぼ東→西である。2.1. で述べた階段状地形の上段側が上流ということになる。階段状地形はやまと山脈付近にもみられその段差は 100~300 m あり(吉田・藤原, 1963) Sandercock Nunatak より規模において大きい。このような地形は nunatak 近辺の一般的特徴といえよう。しかしその成因については不明な点が多い。Nunatak B と C には図 5 (b, c) に示したように氷床流の上流側から、深さ約 50 m 幅 100 m の大きな溝が露岩をとりまくようにして下流へ続いているのがみられる。図 8 はその下流からみたものであるが、この溝は露岩の突出部からはじまっている。この溝の形成には露岩に突き当たった大陸氷の流れが関係

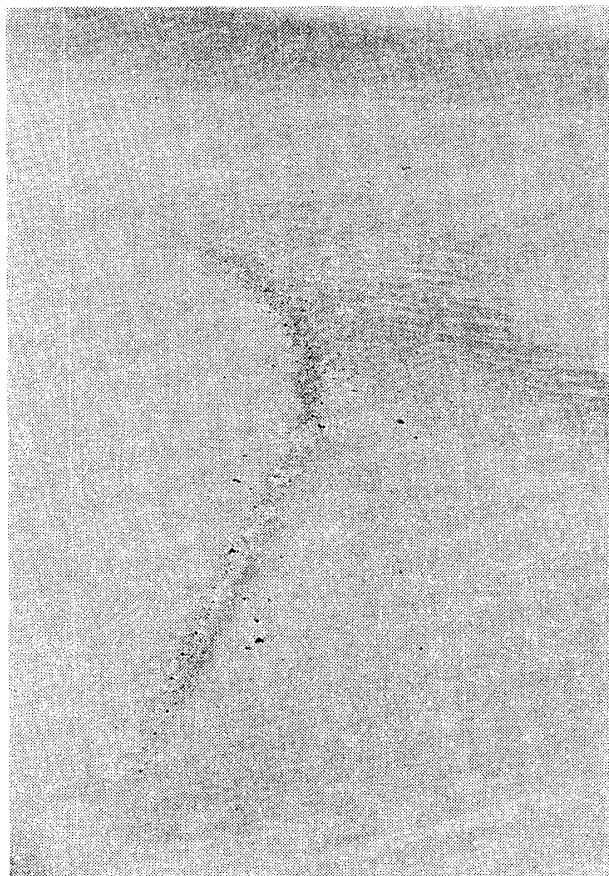


図 7 Nunatak B より西にのびるモレーン

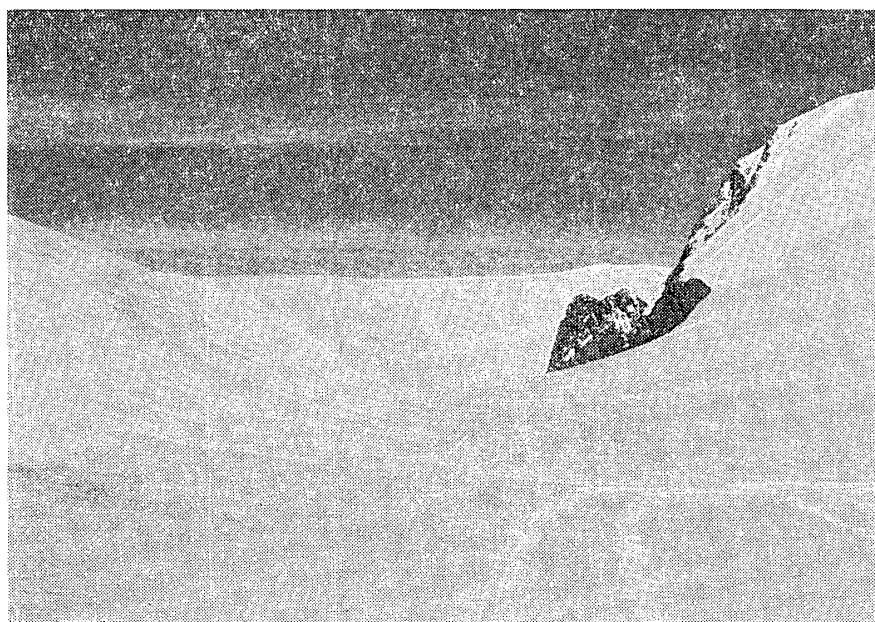


図 8 Nunatak C の北側に東から西にのびる溝地形を下流側（西側）から見る

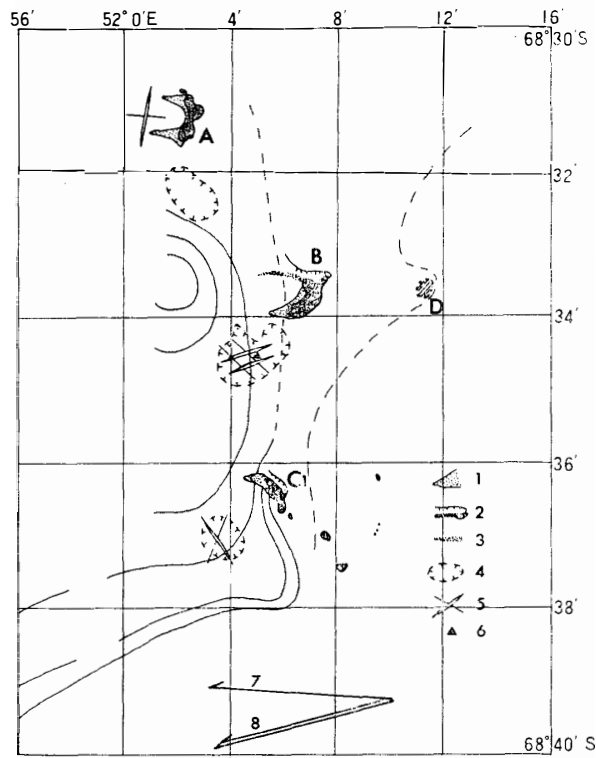


図9 Sandercock Nunatak 群近辺の大陸氷および氷上にみられる諸形状の分布
 1. 雪屋根 2. 溝 3. モレーン 4. 露氷帯 5. クレバスおよびクラック 6. 露氷帯氷の採集位置 7. 削剝が生じる方向(卓越風向) 8. 堆積の生じる方向



図10 露氷帯の表面形状(クラックおよび卓越風向に平行な凹凸がみられる)

していると思われるが、さらにその中に積雪の堆積がみられないことは、露岩にぶつかった風が大きな渦となり、この溝空間を支配している気流であることを示しているのであろう。したがって太陽輻射をうけて暖められた露岩表面の熱を溝表面に直接供給し、氷表面での昇華を促進することは十分考えられる。おそらく溝は上にのべた二つの作用が働いた結果できた地形と思われる。

4.2. 大陸氷の性質について

Nunatak 群の西にはさきにものべたように窪地があり、その内部と周辺に 5~20cm の幅をもつ開いたクラックとそれに斜交する閉じたクラックを伴う露氷帯がみられる。これら 1組のクラックはそれぞれの場所の氷表面の応力状態を反映し、したがってその二つの方向は場所によって異なる。図9にそのいくつかの測定値を示し、図10に露氷帯の表面形状を示した。この露氷帯は氷床の性質を知る上で興味深い現象である。その1つは、その起源に関してそれが *superimposed ice* かあるいは大陸氷に起源するものであるかという点にある。もし *superimposed ice* であればそれがどのような機構のもとに形成されたか、あるいはそれが大陸氷に起源するものであれば、そこでは上むき（大陸氷の現在の表面から上むき方向）の流動方向があるはずであり、それが一定の表面レベルを維持するためには、上むきの氷の移動量に見合うだけの氷の消耗が必要である。したがって興味ある他の1つはその消耗がどのような機構のもとに行なわれるかという点である。Sandercock Nunatak群近辺の気候についてはまだ詳しくわかっていない。10 m 雪温から推定される年平均気温は、 -32°C ~ -33°C である。Sandercock Nunatak 群滞在中の気温は -19.6°C （12月13日21時）から -12.8°C （12月14日12時）の間で変化した。これは短期間の測定であるが夏の気候の一つの指標となろう。いずれにしても極めて寒冷な気候下であり nunatak 群近辺の大陸氷表面の積雪層では、夏期間の融解現象は全く認められない。Sandercock Nunatak 群近辺の積雪層の性質は JARE Data Reports, No. 17 (Glaciology), V に示されている。しかし一方 Nunatak B および C には凍結した池があり、夏の最盛期には nunatak 上で堆積した積雪の一部が融解することを示している。また図11には露岩帯の風下にある積雪面の消耗の状態を示した。このような積雪表面での昇華の顕著な例は氷床周辺部（高度 500m以下）には一般的にみられるが 2000mの高度ではめずらしい。これらのことから露岩帯及びその周辺で一般の氷床表面とは異なった気象状態が存在することを示している。

露氷帯の氷の起源について調べるため、露氷帯を構成する氷の構造・組織を観察した。偏圧下におかれた氷はその結晶主軸分布に特有のパターンを示す。例えばグリーンランドなど



図11 Nunatak の風下側 (西側) にみられる昇華融雪による表面形状

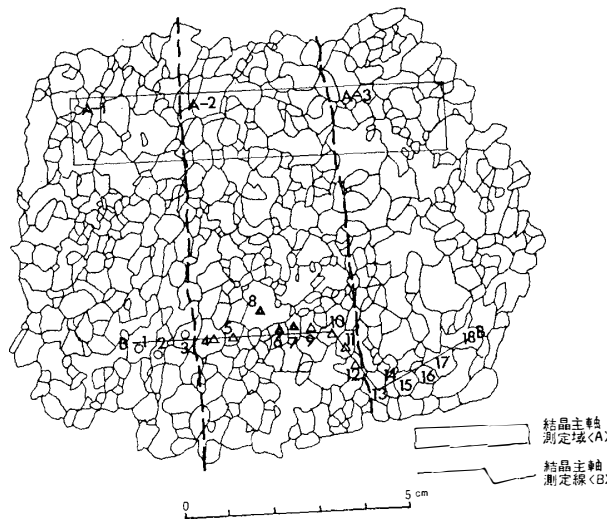


図12(a) 露水帯から得られた水の組織

中央の点線ではさまれた部分は波動消光域. 測定域 A-1~A-3 内で測定した結晶主軸方位は図12 (c-1) にプロットされている. 波動消光域内 (A-2) の結晶主軸は▲印で示されている. 測定線 B 上の結晶主軸方位は図12 (c-2) にプロットされている. ○, ▲印および数字は測定位置を示す.

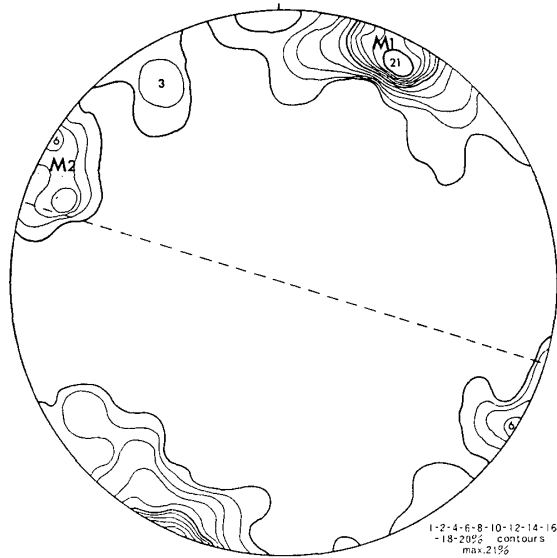


図12(b) 露氷帯の水の結晶主軸方位分布図
 M_1 : 極大域1 M_2 : 極大域2
 点線は気ほうが長くのぼされた方向を示す

図12(c-1) 測定域 A の波動消光域内 (A-2) の結晶主軸方位 (▲) と他の部分 (A-1, A-3) の結晶主軸方位との関係を示す

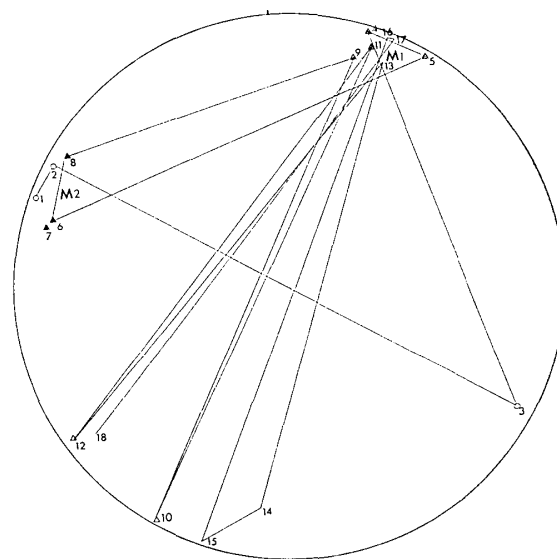
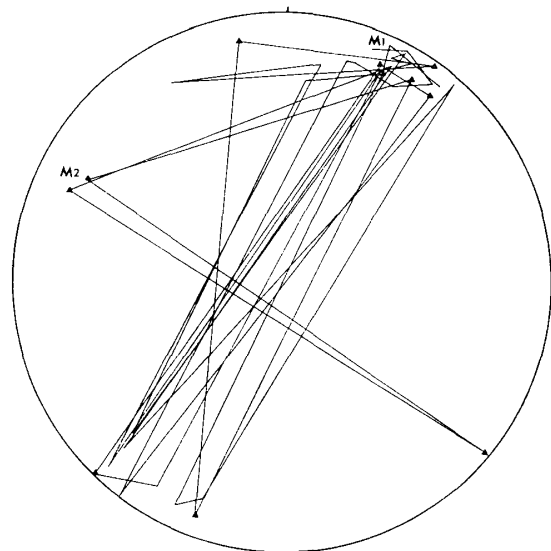


図12(c-2) 測定線 B 上の結晶の主軸方位.
 4~12 の結晶は波動消光域内にある. \triangle と \blacktriangle は波動消光域内にあることとなった方位を示す結晶を区別

での研究によれば nunatak の付近では、nunatak に起因する強い偏圧のために、氷床下部からもち上げられた氷の結晶主軸分布にきわめて集中性の強い1極大とよばれる特有の結晶主軸分布パターンが見られることが知られている。氷床上に堆積した雪の夏期における融解凍結現象によって形成される氷 (superimposed ice) の結晶主軸分布パターンとは、明確に異なっているので、したがってもし Sandercock Nunatak 群の露氷帯の氷の結晶主軸分布に氷河氷特有のパターンが示されれば、露氷帯の氷の起源についてかなり明確な結論が得られるはずである。露氷帯での氷の採集位置は図9に示した。図12(a~c)は採集した氷の結晶組織および結晶主軸の分布図である。分布図は氷の結晶主軸が互いに直交する二つの極大に集中していることを示している。測定の対象とした氷の試料の組織は、図12(a)にみられるように三つの部分(A-1~A-3)に分かれている。この真中の点線にかこまれた部分(A-2)は波動消光を示す。結晶主軸が集中する極大域(M_1 と M_2)とこの波動消光する部分の結晶主軸方位の関係を調べるために、波動消光域を横切る結晶主軸測定域Aと測定線Bを設けそれぞれの結晶の主軸方位をプロットした結果が図12(c-1)と(c-2)に示されている。この結果から波動消光域内の結晶(図中▲, △で示した)が、波動消光を示さない部分の結晶主軸のあつまる極(M_1)の方向から 90° はなれた極(M_2)に多く集中する傾向にあることを示している。このことは図12(b)の結晶主軸分布パターンが二つの結晶主軸の定方位性の重なりによってできている可能性を示している。 M_2 を極大とする結晶主軸の定方位性は、主として(A-2)内の結晶群によって示されており、また(A-2)内の結晶の一部になお M_1 の極大に対応する結晶主軸をもつものがあることは極大の形成順序が $M_1 \rightarrow M_2$ であり、 M_2 の形成が進行中であることを示すものと考えられる。定方位性は偏圧場に対応するものであるから、これまでののべた現象は偏圧場の変化の結果ともいえる。しかし図12(b)の結晶主軸分布パターンを二つの結晶主軸定方位性の重なりであるとするには偏圧場の変化を示すような構造氷河学的証拠が必要であろう。結晶主軸分布パターンの成因については、推論の域を出ないが、しかし氷の成因についていえば、このような集中性の強い極大パターンを示す氷は強い偏圧場内でのみ形成可能であり、他方このことはこれら露氷帯の氷が superimposed ice でない明確な証拠となろう。

4.3. 寒冷地形について

Nunatak B と C の頂の平坦面に構造土がみられる。図13(a~d)にその一連の産状を示したが、いずれも特有のパターンを形づくる礫は、その場の露岩から風化によって削離したものである。露岩の風化の一例を図14に示した。この風化の営力が気温の著しい変化による



図13(a) Nunatak B にみられる礫質多角形構造土

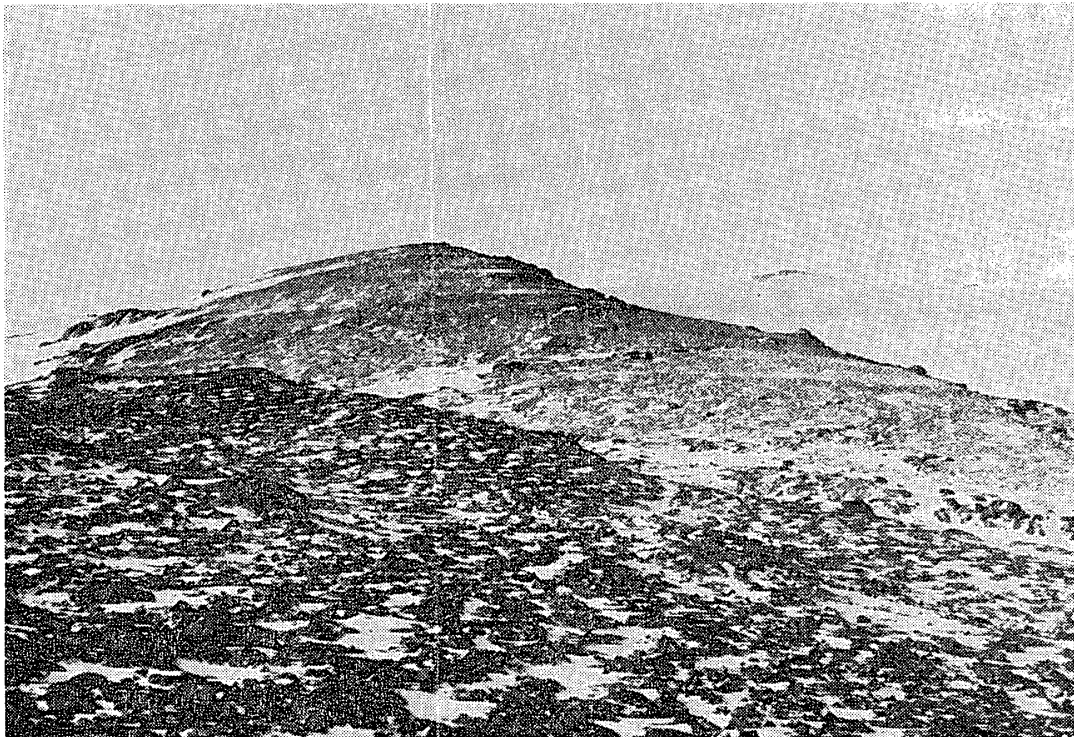


図13(b) Nunatak C の地表面を覆う構造土の産状



図13(c) 比較的平坦な地表面に分布する礫質多角形構造土 (Nunatak C)



図13(d) 斜面にみられる縞状構造土 (Nunatak C)



図14 基盤岩の風化 (Nunatak B)

ことは明らかであろう。Nunatak B では角礫状の剝離岩石が大きさによって特有な配列を示しているが、全体としてその配列は不完全な状態にある (図 13a)。Nunatak C の構造土は平坦面の礫質多角形構造土から斜面の縞状構造土へ変化している。Nunatak C で構造土をなす礫をはがしたところ、比較的大きな礫の下に厚さ 5 cm の細粒礫層がありさらにその下に図15に示したような氷層が見られた。氷層の下限の深さは確かめていない。この氷層には写真からもわかるようにいくつかの閉じたクラックがあり、クラックには上部の礫層に由来する細粒な土砂を含んでいる。この氷層の氷の組織と結晶主軸分布図を 図 16(a, b) に示した。主軸分布を示した円の大門は氷床表面に平行な方向を示す。結晶主軸が互いに約 45° はなれた三つの極に集中しているのがわかる。永久凍土層中にみられる楔状氷 (ice wedge) の結晶分布と比較してみると、そのいずれも極大域が氷河水の場合ほど集中せず、いわゆる氷河水にみられるダイヤモンド・パターンがぼやけたような状態である点では一致する (渡辺, 1969)。しかし永久凍土中の楔状氷のパターンの方がより集中性が高い。構造土の下の氷が地表面での積雪融解水に関係することは明らかであるがそれがどのような機構によってそれまでの氷に付け加わっていくかは興味深い問題として残っている。

5. あとがき

調査期間が短く、またこの地域の自然についての情報もなく前もって準備することもできなかったため調査が不十分であることは否めない。第15次南極地域観測隊の内陸調査の一部

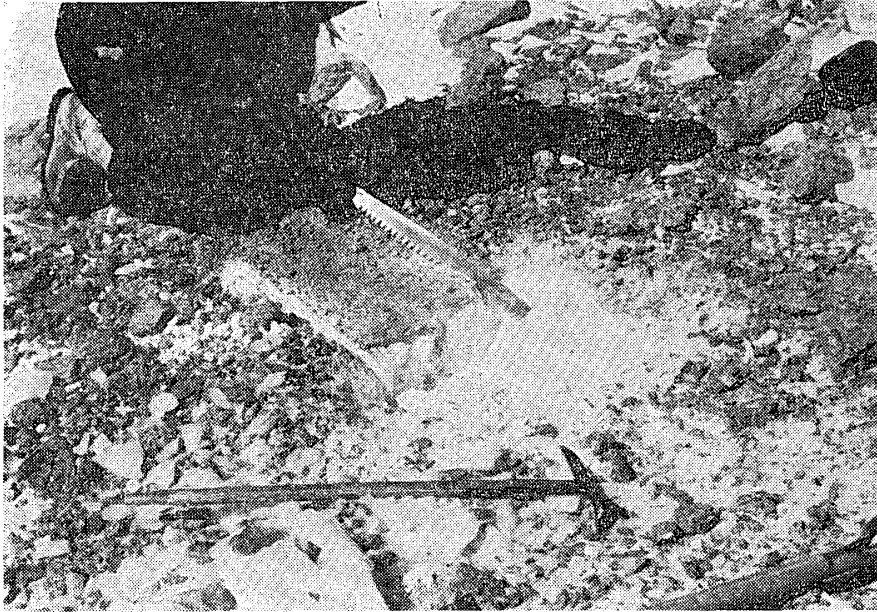


図15(a) 構造土の下にみられる地下水の産状 (Nunatak C)

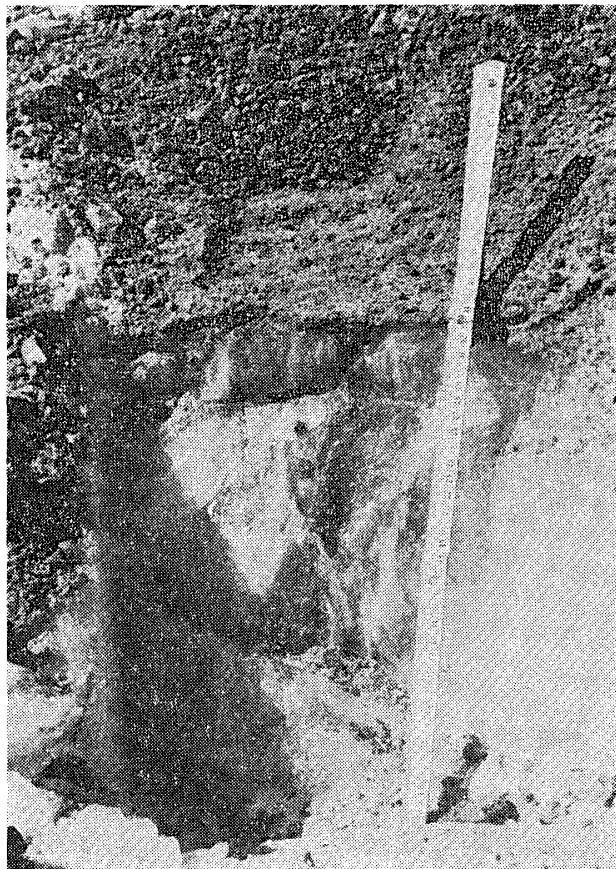


図15(b) 地下水の構造. 表面から土砂を含むクラックが下方にのびる

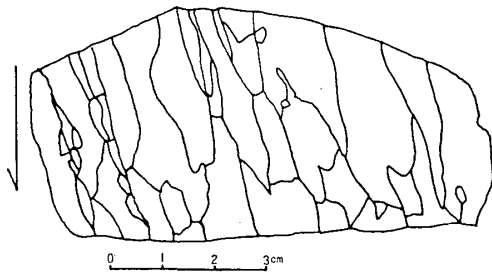


図16(a) 地下氷の結晶組織. 矢印は鉛直方向を示す



図16(b) 地下氷の結晶主軸方位分布図

として再びこの地を訪れる計画があるので、その際今回の調査結果の問題点が明らかにされるであろう。Nunatak 群の調査は単に南極大陸の基盤についての情報をもたらされるばかりでなく、南極氷床の規模の変動に関する情報あるいは氷床上の熱・質量収支についても現在および過去におけるそれらの機構を考える上での重要な情報をもたらすものと考えられる。将来の本格的な露岩地域調査にとって本報文が参考になれば幸である。最後に第11次南極観測に当り、本調査実施の機会を与えて下さった松田達郎博士をはじめ第11次南極観測隊の諸氏ならびに現地において調査の支援を心よく引きうけて下さった清水弘博士はじめ内陸調査隊の方々に心からお礼を申し上げる。

文 献

- 吉田栄夫・藤原健蔵 (1963) : やまと山脈の地形. 南極資料, 18, 1-26.
 渡辺興亜 (1969) : 永久凍土層の氷について, 雪氷, 31 (3), 53-62.

(1972年7月20日受理)