

第29次南極地域観測隊によって採取された

二・三の南極産鉱物の産状と特徴

林 正久*・三浦 清**

Masahisa HAYASHI and Kiyoshi MIURA
Some Notes on Several Characteristic Minerals
Sampled from East Antarctica

Abstract: Chemical analysis using EPMA has been carried out on several minerals sampled from East Antarctica with special reference to secondary minerals. Results are summarized as follows:

In the Balchenfjella region, eastern part of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, most of the secondary minerals are proved to be pure gypsum crystals, although they take various forms from place to place, for example perfectly-formed gypsum crystals, finely-stratified board-like gypsum, mushroom-like crystals and so on.

In the northern part of the Balchenfjella region, desert varnish is defined to be composed of crystalline jarosite mixed with amorphous silica and to be formed by solution of surfuric acid which ascends by capillary action through very narrow cracks within the inner fresh region of a gneiss rock. This solution of surfuric acid is probably supplied from underlying ground. It is sometimes observed that these crystals of desert varnish work to open the crack within the inner region of rock, furthermore, causing the rock disintegration. This fact is noticeable to consider the mechanism of salt weathering under arctic dry condition.

Varved clay sampled from the fluvio-glacial valley of the Mt. Riiser-Larsen area, Amundsen Bay, Enderby Land has also been examined. It is clearly defined that great amount of vivianite was contained within the varved clay. Phosphatic acid which is necessary for the vivianite formation may safely be said to have been provided from droppings of bird such as *Pygoscelis adeliae* and *Catharacta maccormicki*.

[キーワード] 南極, セールロンダーネ山地, バルヒェン山地, リーセル＝ラルセン山, 石膏, デザートワニス, ジャロサイト, リバーサイドイト, 氷縞粘土, ビビアナイト (藍鉄鉱)

[Keyword] Antarctica, Sør Rondane Mountains, Balchenfjella, Mt. Riiser-Larsen, Gypsum crystal, Desert varnish, Jarosite, Riversideite, Varved clay, Vivianite

* 島根大学教育学部地理学研究室 ** 島根大学教育学部地学研究室

1. はじめに

南極大陸はその98%が氷床におおわれ氷の大陸ともよばれている。残りのわずか2%の露岩地域を対象に、大陸の地質構造や大陸氷床の変動の歴史の解明など、各種の地学的調査、観測が行われてきている。筆者の一人、林は第29次南極地域観測隊員として、東南極セールロンダーネ山地東部およびエンダービーランドのリーセル＝ラルセン山周辺で氷河・周氷河地形や風化作用の現地調査を行うとともに、多くの礫、鉱物などを試料としてもち帰った。氷河・周氷河地形や風化作用の調査の結果の一部はすでに報告されている（浅見ほか, 1988, 牧本ほか, 1988, HAYASHI and MIURA, 1989）。

南極の露岩地域は過去の氷河作用の影響を強くうけているのはいうまでもないが、同時に降水量が乏しく、地球上でも非常に乾燥した地域にはいる。したがって、氷床から解放された露岩地域では乾燥した気候条件下での風化作用が卓越しているといわれる。特に、塩類風化が重要で、南極の地形に与える影響は大きいとの報告がある（SELBY, 1971, 1974）。

筆者等は前述の林によって採取された南極産の二次生成鉱物を中心として分析を行った。ここではこれらの鉱物の産状と鉱物特性の分析結果を記載するとともに、その形成要因、形成環境について検討を行ったので報告したい。

2. 調査地域の概観と二次鉱物などの産状

試料として採取、検討された二次鉱物を中心とする鉱物は、セールロンダーネ山地東部のバルヒェン山地各地産のものとアムンゼン湾のリーセル＝ランセン山地における融氷河性堆積物からのものである。

セールロンダーネ山地はプライド湾の南方約200km、東経22°~28°、南緯71°30'~72°30'、東西約250kmの間に点在する露岩地帯で、バルヒェン山地はその最東端を占める。バルヒェン山地の標高は2,000m以下と小さく山地全域がかつての氷床に覆われていたことが明らかにされている（林・安仁屋, 1988）。露岩はザクロ石片麻岩、黒雲母片麻岩、角閃石片麻岩など主として変成岩によって構成されており、閃長岩やペグマタイト、大理石などもみられる。露岩地帯の起伏は比較的小さく、その大半は現在の氷床面よりも低い位置にある。後退しつつある小さな溢流水河によって北バルヒェンと南バルヒェンに二分される。

バルヒェン山地では岩盤上やモレーン礫の表面、土壌中などいたる所に析出塩類が認められる。こうした塩類はバルヒェン山地だけでなくセールロンダーネ山地全域に広範に存在しており（AUTENBOER, 1964）、塩類析出物の予察的な同定が松岡・平川（1987）によって行われている。バルヒェン地域の二次析出塩類鉱物は大部分が石膏である。

図1にバルヒェン地域の概観と試料採取地点を示す。L.1地点は北バルヒェンの中央部やや東寄りに位置し、南にオベルスト氷河の末端部と深い氷食谷をのぞみ、北バルヒェンの東部と西部を結ぶ回廊状の尾根上にあたる（写真I-1）。高度は1,070m程度で岩盤表面はかなり新鮮である。このような尾根上の小さな窪地や岩陰に石膏が集团的に晶出している（写真I-2）。その産状と形態は様々で、最大約10cmもあるような美しい長柱状単結晶の大典（試料：88011804A, 写真II-1）、成層状で緻密な板状をなすもの（試料：88011804B, 写真II-2）、キノコ状を呈するもの（試料：88011804C, 写真II-2）などがある。このように様々な産状や形態を示すにもかかわらず後述するようにいずれも純度の高い石膏である。

採取地点L.2は南バルヒェン北東部（写真III-1）の北東-南西方向に伸びる浅い谷である。谷底部の大部分は擦痕のみられる比較的新鮮な岩盤からなるが、氷河性の漂礫も所々にみられる。これらの漂礫は、しばしば薄いオレンジ色の光沢ある皮膜に覆われている。このような皮膜は一般にデザートワニス（砂漠ワニス）とよばれ、乾燥気候を表す指標と考えられている。ここで検討したのはワニスの付着した漂礫で、標高約1,300m、周辺の氷床面より150~200mも低く、風が通り抜けやすい場所から採取されたもの（試料：88012003A, 88012003C, 写真III-2）である。

また、上記の谷には片麻岩の基岩盤に硬質の白色皮膜が付着している部分が観察された。皮膜は厚さ1mm以下で表面には高さ数mmの突起物が点在する（試料：8012002, 写真IV-1）。これは前述の石膏とはまったく異なるものである。

以上のような二次的析出塩類とは別に、上記の谷を数百m南に進んだ地点では、片麻岩を貫く厚さ約30cm、延長数十mの方解石沸石複合岩脈（試料：88012501, 写真IV-2）が観察された。

リーセル＝ラルセン山地は東経約50°40'、南緯約66°48'に位置し、アムンゼン湾に面する沿岸の露岩地域である。岩石はナピア岩体とよばれる古い変成岩からなる。最高峰のリーセル＝ラルセン山（標高1,153m）をはじめ、陰

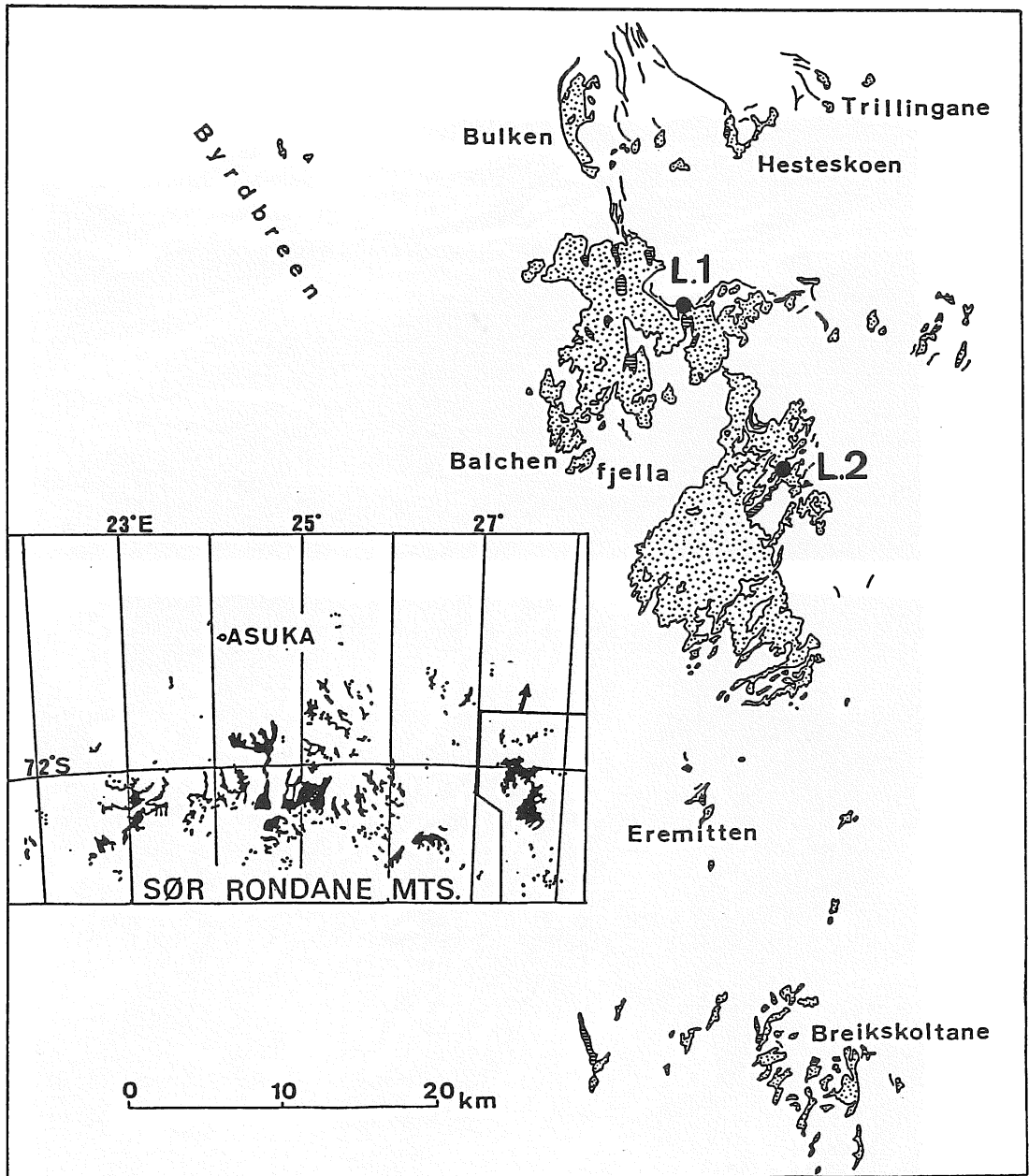


図1 バルヒェン地域の概観と試料採取地点

L.1、L.2；試料採取地点

1



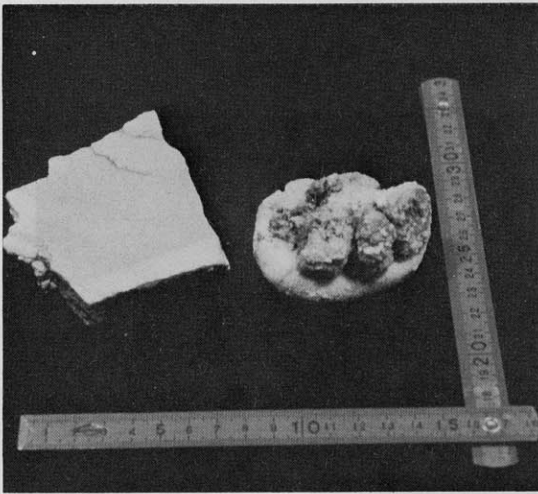
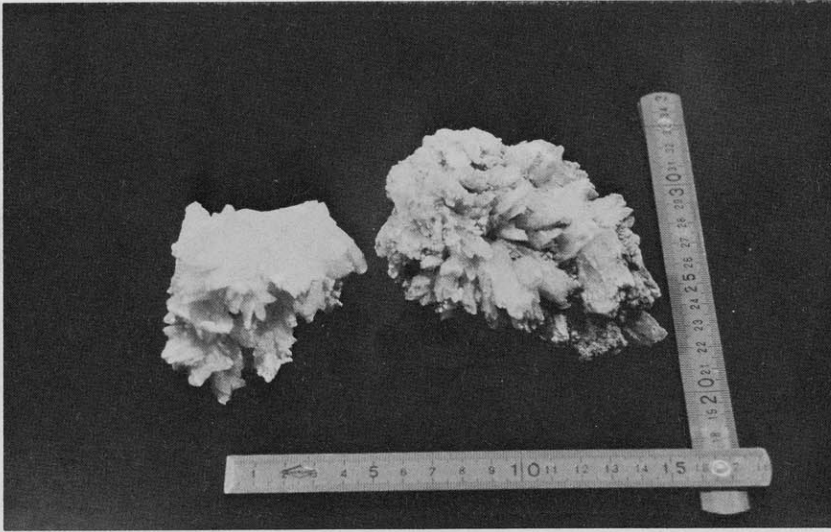
2



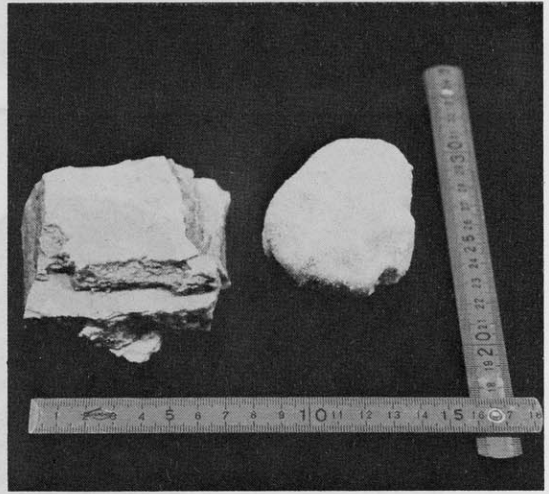
写真 I-1 北バルヒェン中央部のなだらかな氷食地形 (西方をのぞむ)

I-2 北バルヒェン中央部にみられる石膏の結晶 (幅は約 2 m)

1



2



3

写真II-1 北バルヒェン中央部産の石膏の長柱状単結晶の大晶

II-2 成層状で緻密な板状をなす石膏(左)とキノコ状を呈する石膏(右)

II-3 石膏(写真II-2のものを裏返したもの)

1



2



写真Ⅲ-1 南バルヒェン北東部より中央部をのぞむ

Ⅲ-2 南バルヒェン北東部産のワニスの付着した漂礫 (試料: 88012003C)
礫の中央はタホニ状に風化されている

1



2



写真Ⅳ-1 南バルヒェン北東部産の基岩盤を覆う硬質白色皮膜 (試料: 88012002)

Ⅳ-2 南バルヒェン北東部の方解石沸石複合岩脈 (試料: 88012501)

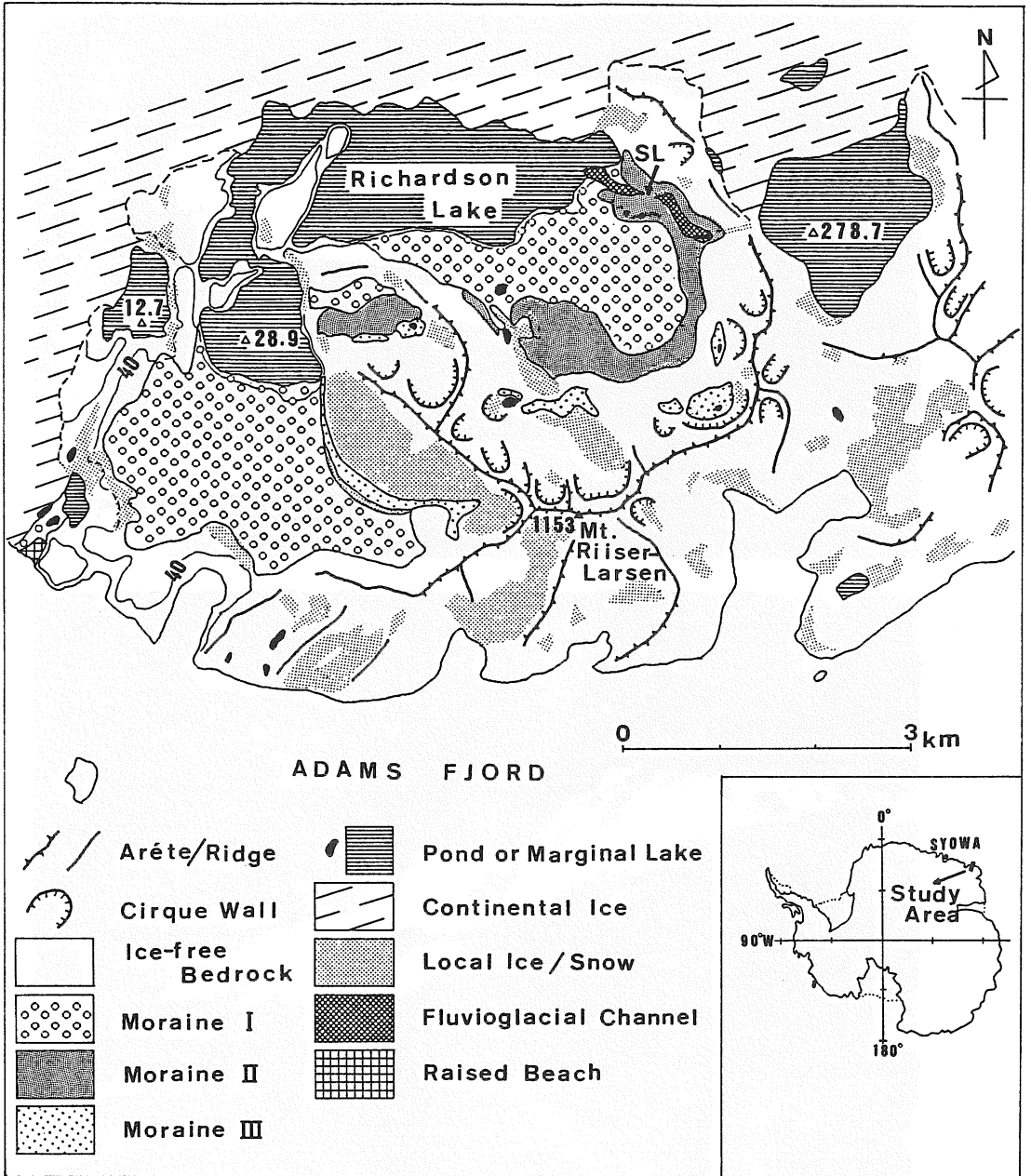


図2 リーセル＝ラルセン山周辺の地形と試料採取地点

SL；試料採取地点



写真V-1 リーセル=ラルセン山の北部のモレーン原と融氷河性堆積物 (東の尾根から北西方向をのぞむ)
R:リチャードソン湖 I:氷床

V-2 モレーンにはさまれる氷縞粘土 (メジャーのあるところ)

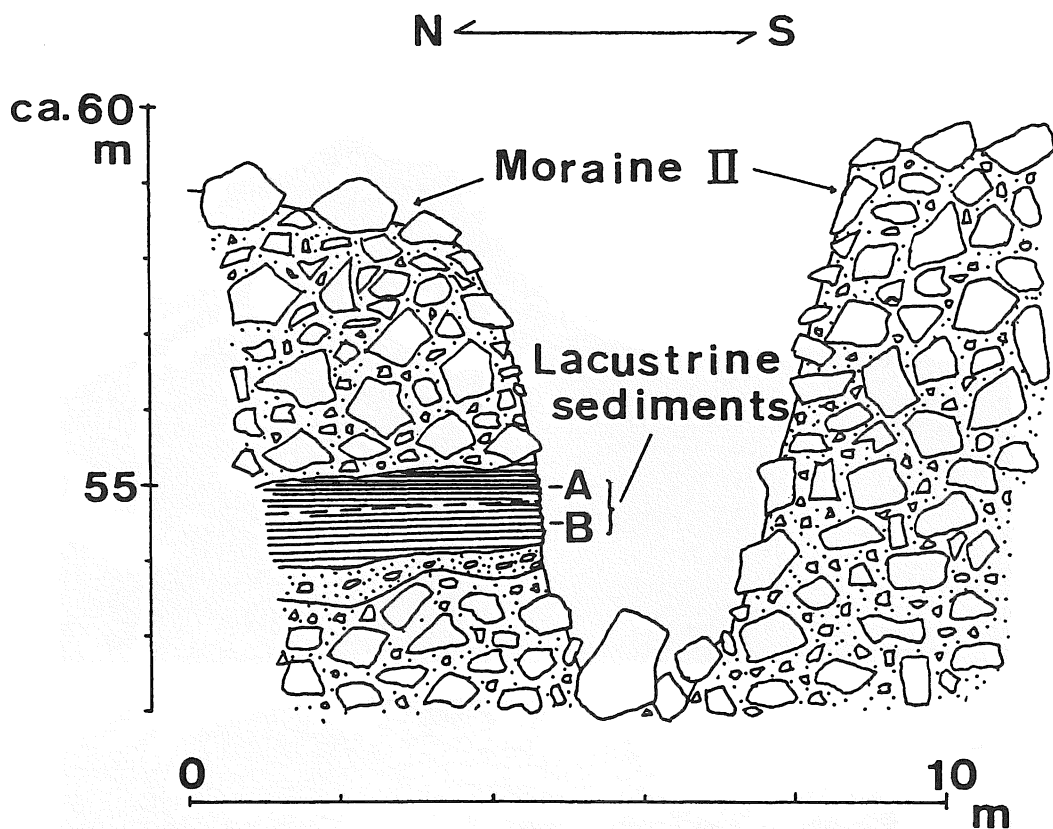


図3 リチャードソン湖東部の融水水流路の谷壁の断面図

A；水縞粘土上部層 B；水縞粘土下部層

しい山岳的地形が顕著にみられる。試料採取地点の地形の概要を図2に示す。露岩地域には過去の氷床によって運ばれてきたモレーンや局地氷河によって形成されたモレーンなど数段のモレーン丘地形がみられる。リーセル＝ラルセン山の北部には氷河前縁湖であるリチャードソン湖が存在し、その周縁部は氷床によるモレーン原が広く分布し、湖にそそぐ小さな谷が形成されている（写真V-1）。モレーン原を切り込むこのような融水水流路は従来から注目されていた（YOSHIDA and MORIWAKI, 1983, 安仁屋・林, 1988）。今回はこの融水水流路の谷壁で発見された水縞粘土とおもわれるシルト・粘土層の分析を行った（試料：8802203A, 8802203B, 写真V-2）。水縞粘土は厚さ約1mで顕著な層理が認められる。層位的には、前述した氷床による古いモレーン原の礫層を覆い、新しいモレーン礫に覆われる。吉田（1986）によると、この古いモレーン原は更新世前期の堆積物に対比されている。試料の産状を図3に示す。

以上、南極各地で採取された鉱物について以下にその

性質を記載し、形成環境について若干の考察をおこなう。

3. 鉱物に関する記載とその検討

(1) 北バルヒェン産の石膏について

北バルヒェンで採取された試料のX線回析図を図4aおよび図4bに示す。図4aの1は長柱状単結晶をなす石膏のもので、わずかに角閃石(h)とカリ長石(kf)を不純物として含む。

図4aの2は成層状緻密な板状をなす石膏のもので、やや淡緑黄色を示す。みかけ上は不純物が多いようにみえるが、極めて純度の高いものであることがわかる。おそらく濃縮された水中において晶出したものであろう。

図4bはキノコ状の形態を示す石膏のもので、3はその「傘」に相当する部分、4はその「柄」に相当する部分にあたる。「傘」の部分は極めて純度の高い石膏であるのに対して、「柄」の部分は黒雲母、角閃石、カリ長石が不純物としてかなり含まれている。このことは、砂質堆

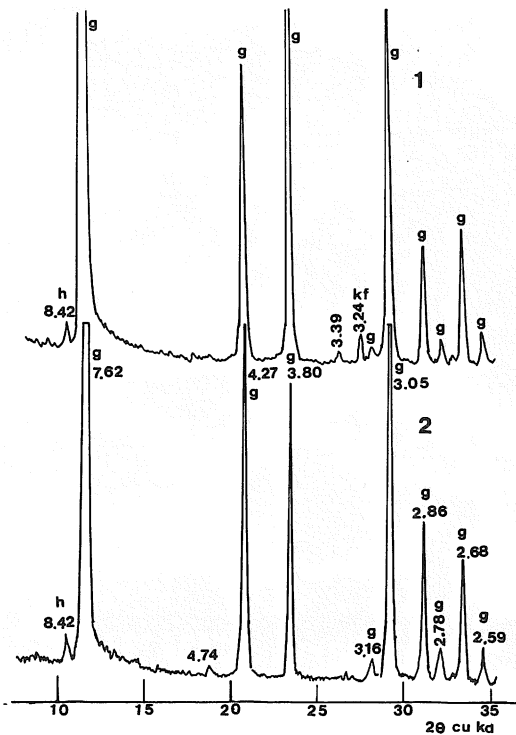


図4 a 北バルヒェン中央部産の石膏のX線回折図

- 1 : 長柱状単結晶をなす石膏
- 2 : 成層状緻密な板状をなす石膏

積物の下方における飽和帯から押し上げられるようにして石膏が析出し、頂部に向かって純化をくりかえしながら晶出してきたことを示しているようである。

石膏の成分であるカルシウムは、南極の露岩に大理石が分布することから、それによる供給が考えられるが、硫酸根の由来についてはその起源を簡単に地表の岩石に求めることは困難である。たとえば、鉍脈を形成したり造岩鉍物として含まれる硫化鉍物は、岩石の観察によってもその付近からは得られそうにない。一方、その起源を海水に求めようとするにしても、塩素イオンが地表部分の鉍物あるいは堆積物中において極めて貧弱であることからみて、説明が難しい。綿稜(1979)はドライバレー地域の石膏は現在の氷河融水あるいは降雪から生成した水と平衡であり、淡水から二次的に生成したものであると報告している。したがって、石膏の成因に関しては、氷床の化学成分の検討を必要とするであろう。

(2) 南バルヒェン産のデザートワニスについて

デザートワニス(砂漠ワニス)の化学分析は今までに

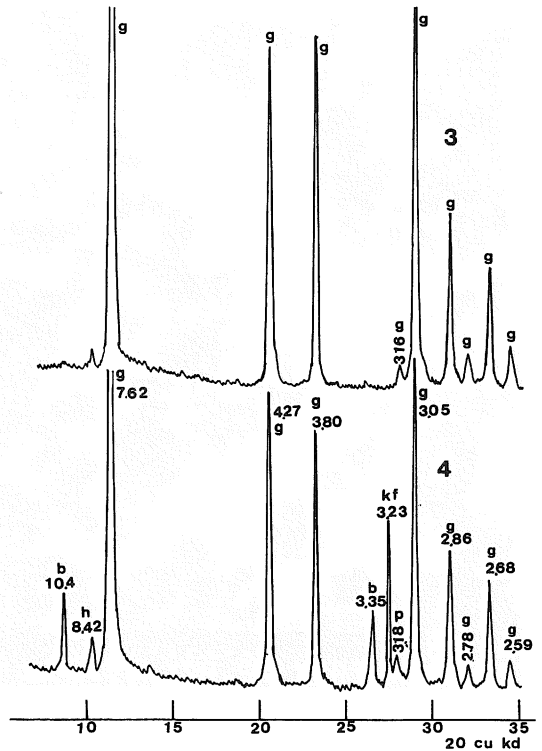


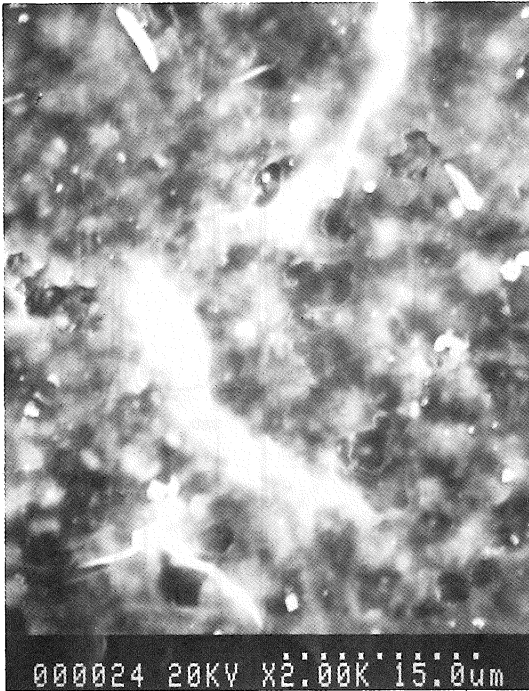
図4 b 北バルヒェン中央部産のキノコ状の形態を示す石膏のX線回折図

- 3 : 「傘」に相当する部分
- 4 : 「柄」に相当する部分

多くの報告がある。ENGEL and SHARP (1958) は礫の表面を風化皮膜とデザートワニスに区分し、ワニスは黒っぽい皮膜で H_2O と Fe_2O_3 成分を多く含み、特に MnO の含有量が多いと述べている。HOOK *et al* (1969) は、ワニスは非晶質 (Amorphous) であるという結論を出した。

南極のビクトリアランド地域においてもGLASBY *et al* (1981) やJOHNSTON *et al* (1984) によってデザートワニスの化学分析が行われている。彼らによれば、南極のワニスは他の地域と異なりMnよりもFeが多い点に特徴があり、その成因は化学的風化作用、例えば下層の石からのleachingによって形成されたという。また、JOHNSTON and CARDILE (1984) によればドライバレーのデザートワニスは水和された酸化鉄の重合体の皮膜であるという。

ここで検討した試料は南バルヒェン産のワニスの付着した漂礫で、コブシ大よりもやや大きい。やや塩基性の角閃石に富む片麻岩礫(試料: 88012003A)とやや酸性の白色片麻岩礫(試料: 88012003C)について分析を行った。



写真VI 南バルヒェン産の漂礫にみるデザートワニスの表面構造 (試料: 88012003A)
左: 礫の表面 右: 礫の表面とその直下の基質

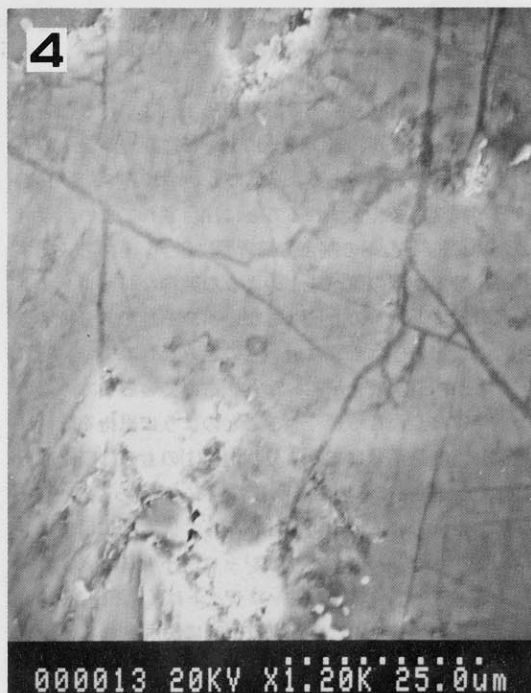
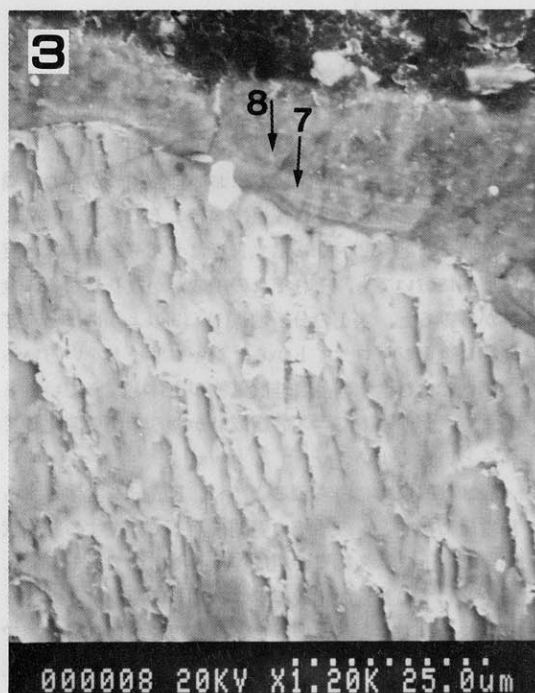
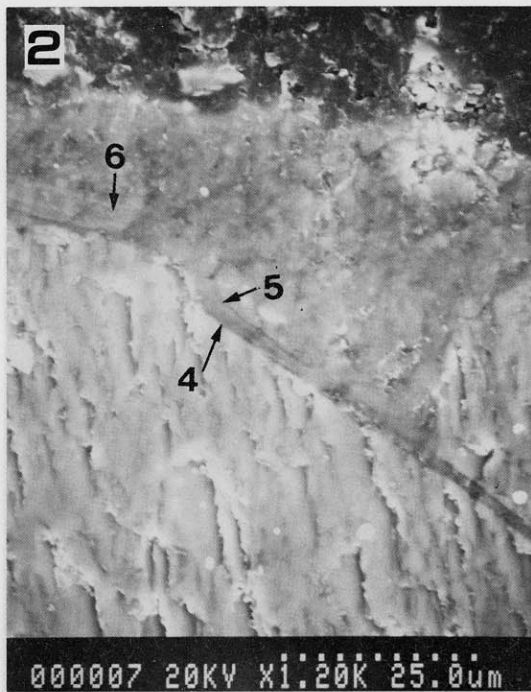
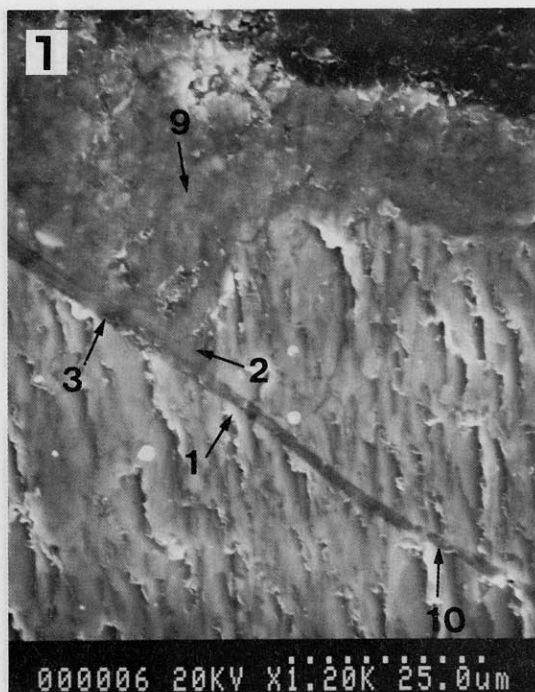
デザートワニスは樹脂状の光沢を有する表面で特徴づけられるが、その表面は必ずしも平滑であるとは限らない(写真VI)。そして連続する割れ目が表面に形成されていることも珍しいことではない。

写真VIIにデザートワニスとその基質の断面の写真をあげた。ワニスは厚いところでは 30μ 程度、場合によっては数 μ 程度の厚さで礫の表面を被覆している。これら岩石表面を覆うデザートワニスは写真VII-1あるいはVII-4によく示されるように岩石内部に生成されているワニス物質の細脈へと連続している。このことはデザートワニスを構成する物質は岩石内部でつくられて、岩石表面に供給されていることを示している。こうしたデザートワニス物質の細脈は写真VIIIにもその一例を示すように黒雲母の劈開に沿ったり、あるいは斜方輝石の劈開に沿って漂礫表面に連続する細脈を形成している。また、鉱物粒間に沿う細脈をつくったりしている。

しかし、石英とか長石類を通過する場合には極めて不規則な割れ目に沿って存在しているのが普通である(写真IX-1)。そのような時には写真VIIやVIIIに示したような連続した細脈はつくらないように見える。その理由の一つに、このような不規則な割れ目は次第にその幅を拡大し、毛細管現象を通してデザートワニス物質を連続的に

上昇させるのに適さなくなることが考えられる。写真IX-2~4に示すように、このような不規則な割れ目の内部には粒状物質が生成されている。後述するように、このような粒状物質の組成もデザートワニス物質とほぼ同じのものであり、不規則な割れ目自身も結局は漂礫表面へのデザートワニス物質を供給する通路としての役割をはたしている。すなわち、石英とか長石類の場合は漂礫内部が破断化作用をうけて細粒化しているようにみえる。こうした現象は、デザートワニス物質を供給する過程において生成される粒状物質の析出が大きく関与している可能性が高い。

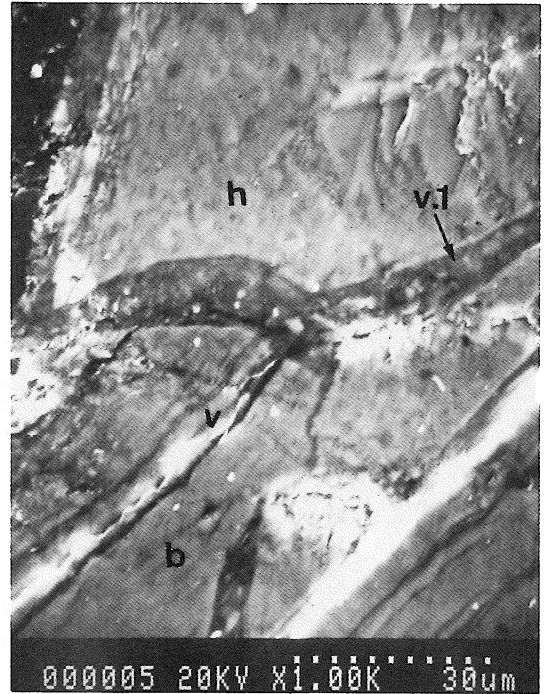
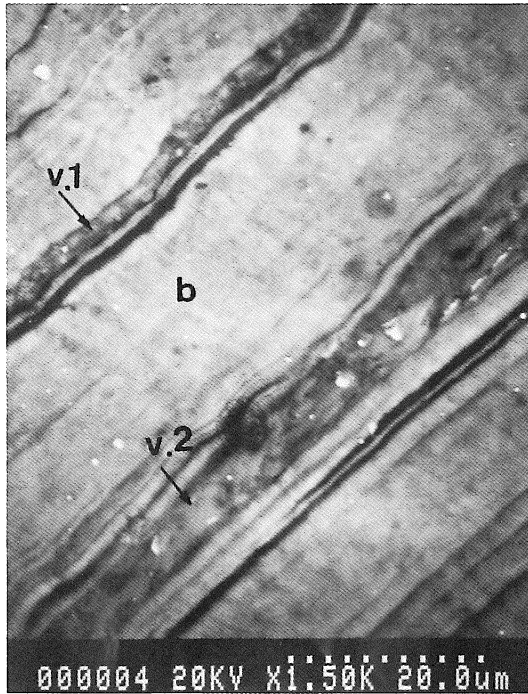
さて、以上述べてきたデザートワニス物質の化学組成について考えてみたい。ただし、ワニス物質だけを純粋に集めるのはかなり困難であった。EPMAを用いた分析によれば、表1にみられるようにFeO、 K_2O 、S成分に富む場合がある。デザートワニスとしての皮膜物質あるいは細脈を充填する物質のうち、大部分はこのような組成を示している。表1の備考欄に記すようにK、Fe、Sの原子比による組成はジャロサイト $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ の理想式に極めて近いものであることがわかる。しかしながら、皮膜や細脈のすべての物質がこうした組成を示すわけではない。



写真Ⅶ 漂礫表面を被覆するデザートワニスとそれに連なる角閃石内のワニス物質の細脈の表面構造 (試料：88012003A)

1～3に示す数字は表2に示す分析地点

4にみえる細脈は写真Ⅶ-1の10の地点の細脈の右下方への連続部



写真Ⅷ 黒雲母の劈開あるいは鉱物粒の境界を貫いているデザートワニス物質細脈 (試料: 88012003A)
V、V1、V2: ワニス物質細脈 b: 黒雲母 h: 角閃石

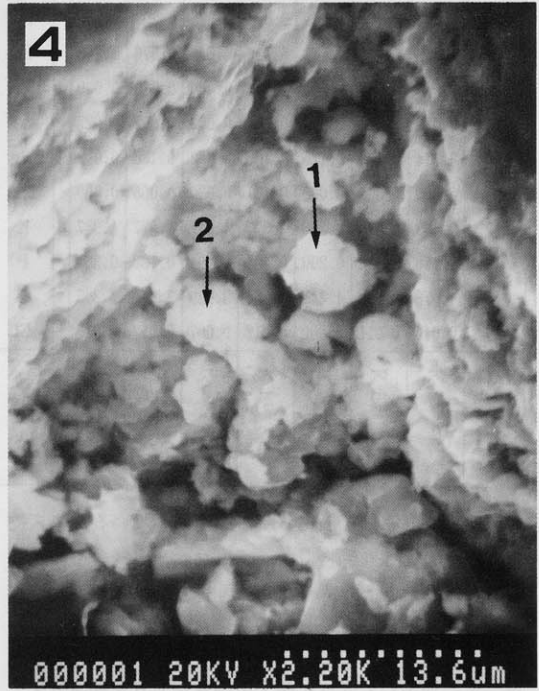
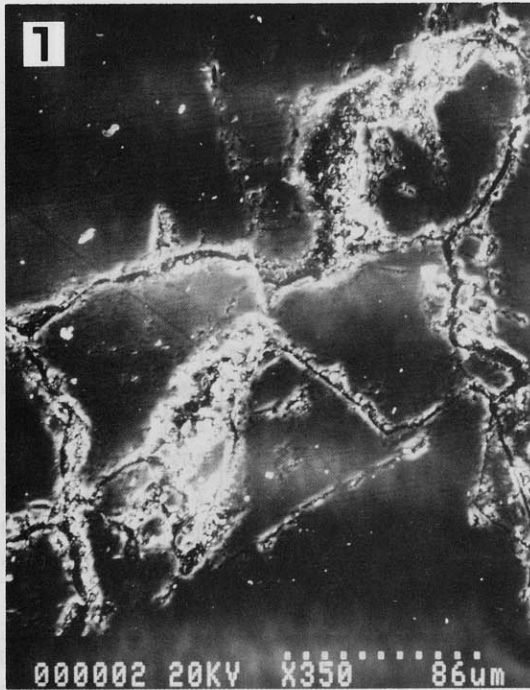
表2にあらわした数値は写真Ⅶ-1~3に示した各点の分析値であるが、 SiO_2 成分に極めて富む点が表1のものとの大きな違いである。それにもかかわらず、S、FeO成分が異常に多く含まれることは注目されてよい。参考のためにK、Fe、Sの割合も備考欄に示す。もちろん、すべての分析地点の値が表1のような純粋なジャロサイトの成分比に近いものとはならないが、それでも分析地点(2)、(3)などの値はそれに近いものとみなしてよい。それどころか、 SiO_2 成分が72~74%を占めている中でのこのような値は、むしろ驚くべきことのように思える。

なお、細脈部分にあたる分析地点(1)のものはCaO成分とS成分が異常に高い値を示している。おそらく、一部に石膏が生成されている可能性がある。備考欄に示すように、Kの原子比0.380がすべてジャロサイト由来として理想式をつくると、ジャロサイトは $\text{K}_{0.38}\text{Fe}_{1.14}\text{S}_{0.76}$ となり、Sの残りすべてが石膏の生成に使用されると仮定すれば、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の式から $\text{Ca}_{2.886}\text{S}_{2.886}$ となる。その結果、Feは0.420、Caは1.324が残ることになるが、これは他の分析値と比べても決して異常な値ではない。ここで述べてきた分析地点(1)のものはデザートワニスとしての皮膜層に連続する細脈部分の組成であるが、分析地点(10)は同じ細脈の延長上の地点にあたる。分析地点(1)のも

のに比べて、CaO、S成分が乏しい反面、FeO成分に富んでいる。

このように、一本の細脈内においても組成がかなり異なっているという事実は注目すべきことである。同様に、表2の分析地点(2)~(9)に示すようにデザートワニスの皮膜層内においても、それぞれの組成がかなり異なる。全体からみると、表1の分析地点(1)、(2)のようにほとんど純粋に近いジャロサイトから、ジャロサイトをいろいろな割合で含む含水非晶質珪酸鉱物が主体となっているものまで、デザートワニスの組成はかなりの幅で変化しているといつてよい。

表3は写真Ⅷにみられるように、K成分を主体とする黒雲母に接するものやその劈開に沿って存在する細脈状のデザートワニス物質の組成を示したものである。特に、宿主としての鉱物の組成がワニス物質の組成にどのように反映されているかということに主眼をおいた分析値である。角閃石に接するワニス物質である表2の組成と比べると、 SiO_2 が同じ程度含まれているものでも表3の方が K_2O に富んでいることが明確である。表3の備考欄にも示したように、Kに対するFe、Sの比が表1、表2のものより極端に小さいことがわかる。つまり、 K_2O に富むような、しかもイオン結合の状態にあるKイオンをもつ黒



写真Ⅸ 南バルヒーエン産の漂礫にみられる岩石内に形成された割れ目とそれに析出するデザートワニス物質 (試料：88012003C)

- 1：斜長石内に形成された割れ目
- 2～4：斜長石内の割れ目に析出するデザートワニス物質

表1 デザートワニス物質の中でジャロサイトに富むものの化学分析値(南バルヒェン産の漂礫)

分析地点 成分	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
SiO ₂	0.75	2.98	19.24	16.79	25.33	26.88	15.34
TiO ₂	0.00	0.06	0.02	0.22	0.00	0.04	0.00
Al ₂ O ₃	2.66	2.09	1.86	3.51	1.45	1.14	3.48
FeO	36.53	35.99	31.77	30.99	29.36	27.43	29.17
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.07	0.13	0.00	0.00	0.03	0.01	0.12
MgO	0.37	0.39	0.36	0.47	0.73	0.56	0.29
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.27	0.07	0.13	0.00
K ₂ O	9.12	8.38	7.61	7.88	6.15	5.59	7.22
P ₂ O ₅	1.06	1.32	1.52	2.02	0.98	0.96	1.92
S	12.83	11.42	10.20	11.21	9.05	8.14	10.65
Cl	0.03	0.03	0.00	0.03	0.02	0.03	0.04
H ₂ O	36.58	37.22	27.43	26.61	26.83	29.06	31.76
(原子比)							
Si	0.156	0.599	4.473	3.962	5.865	5.947	3.310
Ti	0.000	0.009	0.004	0.039	0.000	0.006	0.000
Al	0.648	0.503	0.509	0.978	0.395	0.298	0.886
Fe	6.323	6.134	6.178	6.118	5.686	5.076	5.263
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.015	0.029	0.000	0.000	0.008	0.002	0.027
Mg	0.114	0.120	0.126	0.168	0.252	0.186	0.093
Na	0.000	0.000	0.000	0.121	0.030	0.055	0.000
K	2.409	2.179	2.256	2.373	1.817	1.577	1.987
P	0.186	0.228	0.299	0.404	0.191	0.180	0.351
S	4.978	4.364	4.444	4.958	3.929	3.376	4.305
Cl	0.010	0.011	0.000	0.012	0.007	0.012	0.015
備 考	K Fe _{2.82} S _{2.07}	K Fe _{2.82} S _{2.00}	K Fe _{2.74} S _{1.98}	K Fe _{2.88} S _{2.09}	K Fe _{3.13} S _{2.16}	K Fe _{3.22} S _{2.14}	K Fe _{2.85} S _{2.17}

表2 デザートワニス皮膜およびこれに連続する細脈の化学分析値(分析地点は写真VIIに示す)

分析地点 成分	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
SiO ₂	29.15	73.82	71.81	62.05	65.29	63.02	59.57	69.38	70.46	48.86
TiO ₂	0.26	0.22	0.36	0.33	0.62	0.93	0.81	0.49	0.71	0.32
Al ₂ O ₃	4.38	5.45	5.08	3.77	7.46	6.29	5.83	5.83	5.46	5.77
FeO	8.28	3.94	4.74	4.38	8.26	8.47	10.55	3.81	4.91	11.80
MnO	0.01	0.03	0.00	0.04	0.02	0.05	0.08	0.00	0.01	0.11
CaO	17.44	2.08	1.19	3.99	2.43	1.60	1.11	1.62	1.45	4.47
MgO	3.85	1.86	1.76	1.55	2.12	2.00	1.62	0.99	1.11	4.54
Na ₂ O	0.25	0.48	0.51	0.22	0.62	0.55	0.36	0.78	0.25	0.20
K ₂ O	1.32	1.00	1.17	0.88	2.64	2.55	2.75	1.49	1.82	1.64
P ₂ O ₅	0.44	0.48	0.61	0.38	0.82	0.55	0.79	0.32	0.32	0.01
S	8.64	1.23	1.38	2.10	2.75	1.83	2.43	1.21	1.27	1.90
Cl	0.02	0.05	0.06	0.00	0.10	0.06	0.05	0.04	0.00	0.00
H ₂ O	25.95	9.35	11.32	20.33	6.89	12.13	14.04	14.05	12.22	20.40
(原子比)										
Si	6.566	20.775	19.490	14.453	19.899	17.205	15.824	17.874	18.864	11.669
Ti	0.044	0.046	0.074	0.058	0.142	0.191	0.162	0.094	0.143	0.057
Al	1.163	1.809	1.627	1.034	2.678	2.023	1.825	1.769	1.725	1.623
Fe	1.560	0.930	1.077	0.853	2.104	1.933	2.344	0.821	1.100	2.356
Mn	0.003	0.008	0.000	0.009	0.005	0.011	0.018	0.000	0.002	0.023
Ca	4.210	0.628	0.345	0.995	0.793	0.467	0.317	0.446	0.416	1.144
Mg	1.293	0.780	0.712	0.538	0.963	0.812	0.643	0.382	0.444	1.616
Na	0.110	0.263	0.270	0.099	0.364	0.289	0.183	0.388	0.129	0.091
K	0.380	0.359	0.407	0.260	1.025	0.888	0.933	0.491	0.621	0.499
P	0.084	0.114	0.140	0.073	0.211	0.127	0.178	0.069	0.073	0.002
S	3.646	0.649	0.703	0.915	1.573	0.936	1.208	0.586	0.640	0.851
Cl	0.007	0.024	0.026	0.000	0.052	0.027	0.023	0.020	0.000	0.000
備 考	残: Fe _{4.0} Ca _{1.24} Ca _{0.88} S _{0.88} K _{0.88} Fe _{1.14} S _{0.72}	K Fe _{2.59} S _{1.80}	K Fe _{2.85} S _{1.73}	K Fe _{3.28} S _{3.52}	K Fe _{2.05} S _{1.53}	K Fe _{2.18} S _{1.054}	K Fe _{2.15} S _{1.29}	K Fe _{1.67} S _{1.19}	K Fe _{1.77} S _{1.03}	K Fe _{1.71} S _{1.17}

雲母のような鉱物と接する所に形成されているワニス物質の細脈のような場合には、ジャロサイト成分に相当なKイオンの量以上のKイオンが周囲の鉱物から抽出されていることがわかる。

表4は写真IX-2~4で示したように、斜長石の割れ目の中に析出した粒状物質の半定量的な分析値である。重要なことは、こうした粒状物質も細脈のものと同じようにK₂O、FeO、Sに富み、ジャロサイト物質とのかかわりを暗示している点である。つまり、原則としては先に述べてきたデザートワニス物質と同じものである。

以上、デザートワニスについて検討してきたが、漂礫を覆うデザートワニス皮膜は、必ず礫の内部のワニス物質の細脈につながっており、礫の下部から上部へ向かって毛細管現象によって上昇した液体から生成された事が明白である。その組成はほぼ純粋なジャロサイトであったり、ジャロサイトを含む珪酸分に富む物質であったり、珪酸分に富む物質であってもH₂O成分を極めて多く含むという事実は、それが含水非晶質珪酸鉱物であることを示している。

ジャロサイトは理想式でKFe₃(SO₄)₂(OH)₆で示され

表3 黒雲母の劈開あるいは鉱物粒の境界を貫いているデザートワニス物質細脈の化学分析値
分析地点(1):写真Ⅶ左のV1
(2):写真Ⅶの左V2
(3):写真Ⅶ右のV1

分析地点 成分	(1)	(2)	(3)
SiO ₂	51.22	44.80	52.36
TiO ₂	0.50	0.45	0.64
Al ₂ O ₃	8.12	11.35	9.40
FeO	7.81	9.82	8.00
MnO	0.01	0.07	0.03
CaO	0.22	4.13	1.25
MgO	3.65	4.89	2.71
Na ₂ O	0.03	0.56	0.27
K ₂ O	3.79	3.70	3.67
P ₂ O ₅	0.23	0.25	0.25
S	2.02	2.89	2.22
Cl	0.20	0.27	0.20
H ₂ O	22.20	16.81	19.02
(原子比)			
Si	11.710	11.417	12.655
Ti	0.087	0.087	0.117
Al	2.189	3.410	2.679
Fe	1.493	2.094	1.616
Mn	0.001	0.015	0.006
Ca	0.054	1.128	0.323
Mg	1.243	1.859	0.975
Na	0.015	0.276	0.127
K	1.104	1.202	1.131
P	0.044	0.053	0.051
S	0.866	1.383	1.004
Cl	0.076	0.117	0.083
備 考	K _{Fe_{1.44}} S _{0.88}	K _{Fe_{1.74}} S _{1.15}	K _{Fe_{1.43}} S _{0.88}

表4 漂礫の岩石中の斜長石内に形成された割れ目に晶出するデザートワニス物質の半定量的化学分析値(試料:88012003C)
分析地点(1)・(2)は写真Ⅸ-2に
(3)・(4)は写真Ⅸ-3に
(5)・(6)は写真Ⅸ-4に示す

分析地点 成分	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SiO ₂	42.88	42.86	44.01	54.18	47.26	37.58
TiO ₂	0.99	0.77	0.13	0.24	0.43	0.80
Al ₂ O ₃	9.82	4.79	8.33	6.03	5.96	11.56
FeO	15.69	9.94	3.40	3.99	10.95	18.21
MnO	3.65	0.45	2.32	1.76	0.02	0.00
CaO	0.58	0.31	1.08	0.89	0.39	0.53
MgO	1.25	1.08	0.89	1.14	0.56	2.37
Na ₂ O	0.54	0.01	3.68	2.45	0.32	0.79
K ₂ O	3.27	1.91	1.21	1.53	3.77	5.66
P ₂ O ₅	1.24	0.34	0.56	0.57	0.60	1.70
S	2.51	1.00	1.14	1.08	2.73	5.30
Cl	0.05	0.05	0.22	0.39	0.09	0.07
H ₂ O	17.52	36.48	32.99	25.75	26.93	15.43
(原子比)						
Si	11.029	7.975	8.483	11.580	10.147	10.159
Ti	0.192	0.108	0.018	0.038	0.069	0.163
Al	2.977	1.050	1.893	1.518	1.509	3.683
Fe	3.374	1.547	0.547	0.713	1.965	4.118
Mn	0.795	0.072	0.378	0.318	0.003	0.000
Ca	0.160	0.062	0.223	0.204	0.089	0.153
Mg	0.481	0.300	0.254	0.362	0.178	0.954
Na	0.269	0.004	1.377	1.017	0.134	0.414
K	1.074	0.453	0.307	0.416	1.031	1.953
P	0.270	0.054	0.092	0.104	0.110	0.389
S	1.209	0.349	0.413	0.433	1.099	2.687
Cl	0.022	0.016	0.073	0.141	0.033	0.032
備 考	K _{Fe_{1.14}} S _{1.13}	K _{Fe_{0.42}} S _{0.77}	K _{Fe_{1.78}} S _{1.38}	K _{Fe_{1.71}} S _{1.04}	K _{Fe_{1.91}} S _{1.04}	K _{Fe_{2.99}} S _{1.38}

るように、(SO₄)イオンが含まれる。(SO₄)イオンの起源となるような物質、例えば硫化物というような鉱物は漂礫内には存在していないことから、漂礫の外側からH₂SO₄溶液のような液体として滲入してきたことが考えられる。それによって岩石の成分が溶解されるとともに、

そのような溶液が漂礫表面まで毛細管現象によって上昇し、乾燥気候下で蒸発濃縮し、溶解成分が皮膜となって沈着し続けてきたものがジャロサイトであり、デザートワニス物質であると考えることができよう。先に石膏がH₂SO₄溶液とのかかわりの上で生成されることを述べた

が、ここでもそのような環境と密接な関係にあるということを確認ざるをえない。なお、漂礫内部の割れ目に滲入する H_2SO_4 水溶液は、滲入する段階ですでにかなりの量の各種イオンを含むことは当然である。したがって、デザートワニス物質として沈着する皮膜物質は必ずしも漂礫自身から溶解された物質だけからなるとは限らない。

漂礫内の鉱物の中で、特に石英とか長石類は割れ目に析出したワニス物質の影響で破断細粒化していることが多く、さらには割れ目そのものも拡大されている。場合によっては、破断面が連結して漂礫そのものを細分化することさえある。こうした現象は片麻岩の片理面沿いに特に強くあらわれるように見える。すなわち、外見上は漂礫表面を被覆し保護しているかのように見えるデザートワニスも、実際にはワニス物質を供給する細脈が漂礫内部で物理的な破壊作用をおこなっていることになる。このような物理的風化作用は、塩類風化の一つとして位置づけられる。極地方の風化を検討する場合、こうしたメカニズムが重要な意味をもつものと考えられる。

(3) 南バルヒェン産の片麻岩基盤岩表層を被覆する硬質白色皮膜について

ここで検討するのは南バルヒェンで採取した片麻岩基盤岩表層を被覆する厚さ1mm以下の硬質白色皮膜であ

る。皮膜の表面には数mmの高さの突起物があり、塩酸によって一部が発泡することから、少量の方解石が含まれていると考えられる。

硬質白色皮膜のX線回析図を図5に示す。方解石、石英、石膏が含まれていることがわかる。しかし、回析図からみると、これらの鉱物はむしろ副次成分的であり、主成分はピークに付された面間隔dの値で示されるような鉱物である。写真Xは試料である皮膜中にみられる晶洞内に晶出していた鉱物の電顕写真である。この写真の物質が皮膜の主体をなす鉱物と思われる。

これらの皮膜の鉱物の分析値を表5に示す。なお、表5の(3)~(6)は岩石を被覆する硬質皮膜をはぎ取って研磨し、EPMA分析を行ったものである。皮膜の主体をなすものは表5の(3)および(4)であり、(5)と(6)はわずかに層状をなしてはさまれるにすぎない。X線回析に供した試料は結果的に表5の(3)~(6)を混合したもので、その中にはさらに方解石、石英、石膏が含まれている。特に(5)と(6)には多量の石膏が入っている。

表5の(1)と(2)は写真Xの晶洞単結晶鉱物の平滑面における分析値である。この(1)・(2)と前述の(3)・(4)は非常に類似していることから、(3)・(4)の主体をなすものは(1)・(2)と同じ単結晶鉱物であると考えられる。したがって、図5のX線回析図のうちの方解石、石英、石膏以外のピークはこの単結晶鉱物に由来するものとみなしてよい。Ca

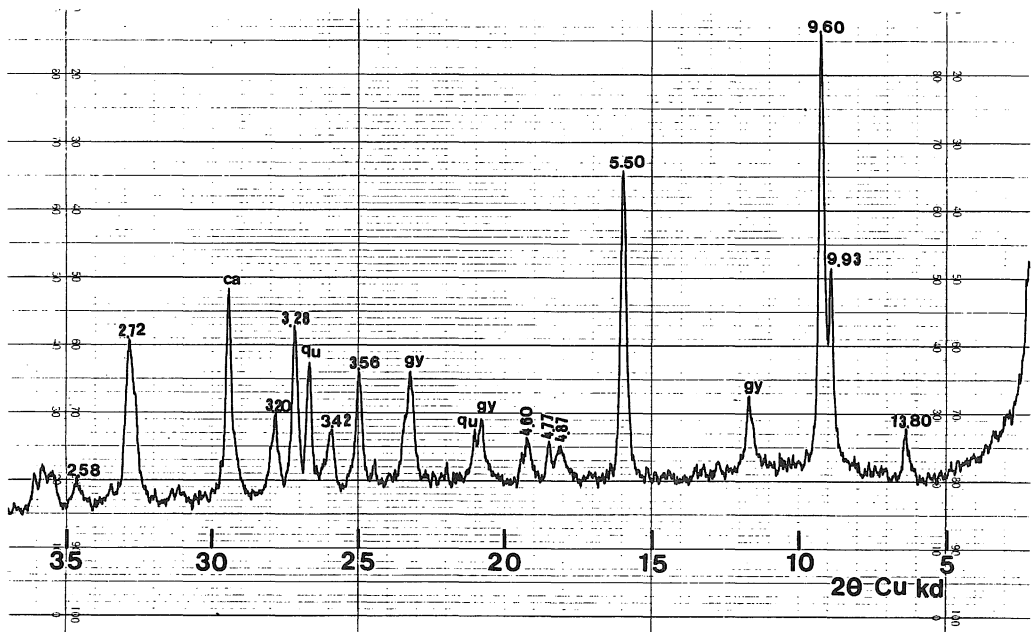


図5 南バルヒェン北東部産の基盤岩表層を被覆する硬質白色皮膜のX線回析図

Ca：方解石 qu：石英 gy：石膏

とSiの原子比から表5の(1)はCaSi_{1.3}となり、(2)はCaSi_{1.4}となる。化学組成の点からみると、これに近いものとしてRiversideiteやTobermorite, Plombieriteの鉱物があげられる。いずれもCaSi_{1.2}を示す。分析した部分は天然の結晶面に対して行ったものであり、比に多少の差がでてくるものの、上記の三種に類する鉱物とみなされる。こうした鉱物の中で、(002) Spacingの値として9.6Åの値をもつものはRiversideiteであり、図5の回析図によっても、ほぼこの鉱物にまちがいないものと考えられ

表5 基岩盤を覆う硬質白色皮膜の化学分析値

(試料：88012002)

分析地点(1)・(2)：晶洞析出鉱物

(3)・(4)：層状の部分 (主体をなす鉱物)

(5)・(6)：層状の部分であるが(3)・(4)部分のハサミ

分析地点 成分	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Si	24.76	24.92	24.20	21.62	4.73	9.78
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
Al	0.13	0.20	1.61	0.39	2.44	4.66
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.08
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	27.18	25.61	19.42	20.12	27.80	21.44
Mg	0.17	0.22	0.08	0.14	0.97	0.25
Na	0.32	0.44	0.12	0.17	0.06	0.06
K	0.13	0.14	0.24	0.21	0.83	0.31
P	0.09	0.14	0.07	0.12	0.23	0.26
S	0.13	0.13	0.10	0.27	5.41	8.88
Cl	0.11	0.11	0.08	0.08	0.06	0.00
計	54.39	51.91	45.93	43.12	44.28	45.72

(原子比)

Si	16.604	16.137	13.081	10.515	2.007	4.429
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000
Al	0.091	0.136	0.908	0.196	1.077	2.197
Fe	0.000	0.000	0.000	0.000	0.356	0.019
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	12.775	11.624	7.359	6.859	8.268	6.806
Mg	0.129	0.164	0.047	0.080	0.474	0.130
Na	0.260	0.344	0.081	0.099	0.031	0.035
K	0.061	0.067	0.094	0.073	0.253	0.102
P	0.057	0.081	0.035	0.054	0.088	0.108
S	0.074	0.071	0.048	0.115	2.010	3.524
Cl	0.058	0.055	0.034	0.029	0.020	0.000

よう。ただ、Riversideiteだとしても、どこにでも一般にみられるものではなく極めて珍しい鉱物であるといえる。

(4) 南バルヒェン産の方解石沸石複合岩脈について

ここで分析した試料は片麻岩の基盤にはさまれた方解石沸石複合岩脈から採取したもので、外見上は淡いピンク色を呈するが、実体顕微鏡下では淡いピンク色を示す部分と白色部分が複雑にかみ合った一つの複合岩脈状をなすものである。

写真XIはその研磨面の電顕写真である。明らかに沸石が方解石を交代しているのがわかる。図6は白色部と淡いピンク色を示す部分のX線回析図で、白色部の主体は方解石で、これに石英が混入する。ピンク色を示す部分は明らかに濁沸石である。これらの化学組成を表6に記す。

こうした方解石濁沸石脈の形成時代については今のところ不明である。

(5) リーセル＝ラルセン山付近の水縞粘土中に

みられるビビアナイト (藍鉄鉱) について

ここで検討する試料はリーセル＝ラルセン山付近の水縞粘土から採取したものである。図3に示したように粘土層は色調と水縞一枚の厚さの違いから上下二層に分けられるが、いずれも大量のビビアナイトを含んでいる珍しい堆積物である。下部の層の方がビビアナイトの含有量が多いために、やや紫青色がかかった黒味を帯びている。

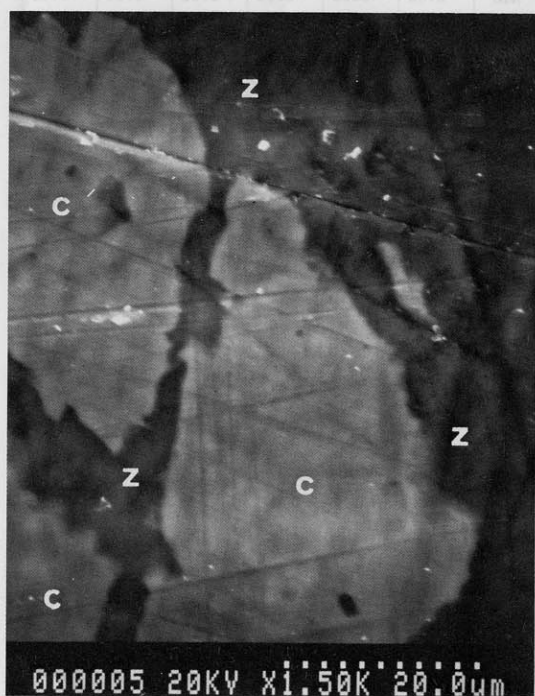
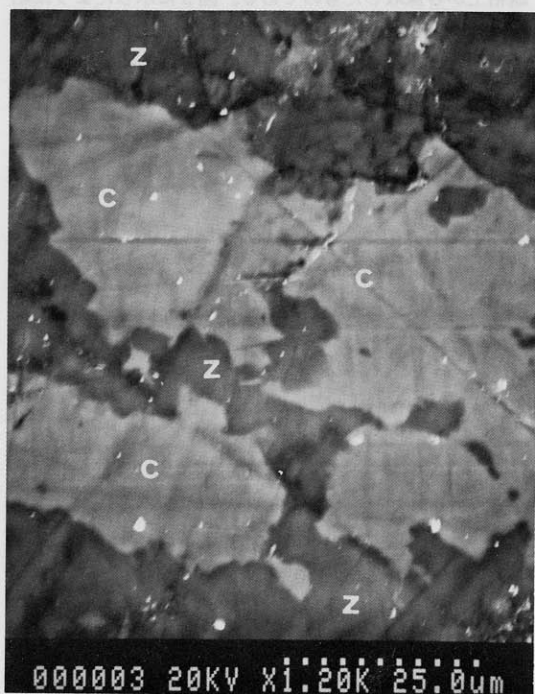
写真XII-1～4にビビアナイトを含む水縞粘土の電顕

表6 南バルヒェン北東部産の方解石沸石複合岩脈の沸石の部分の化学分析値

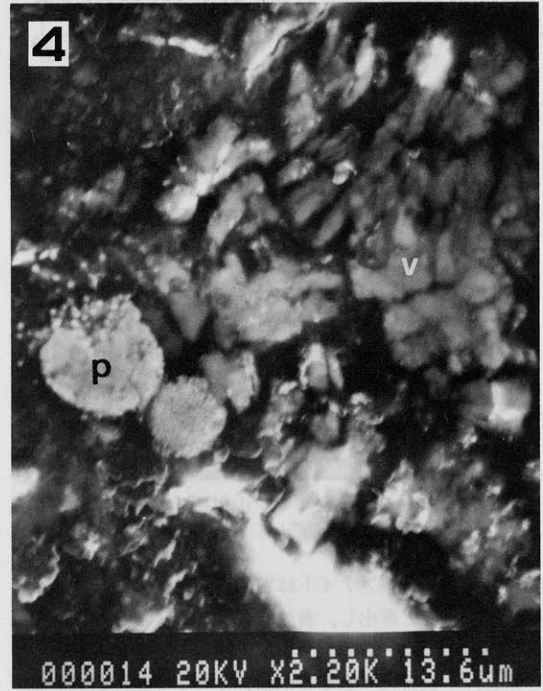
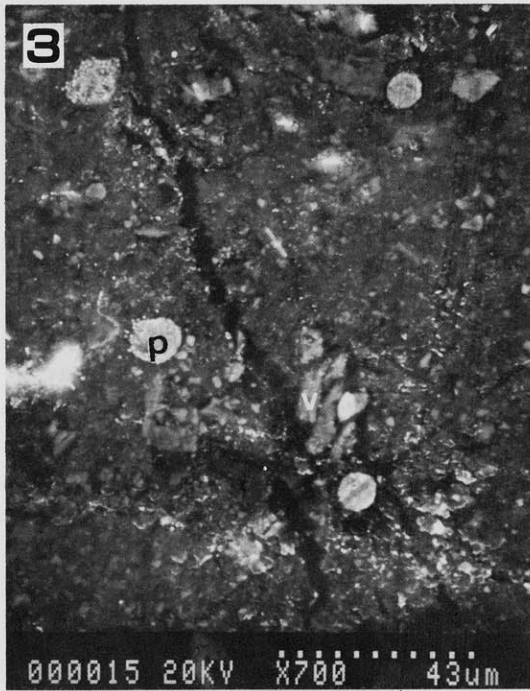
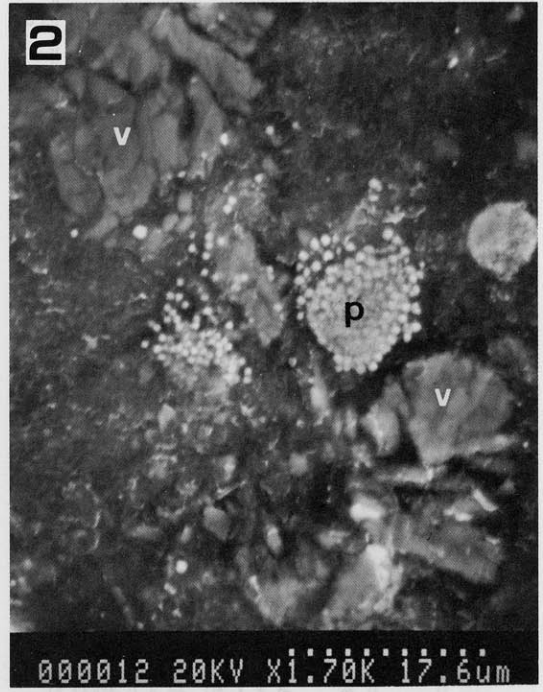
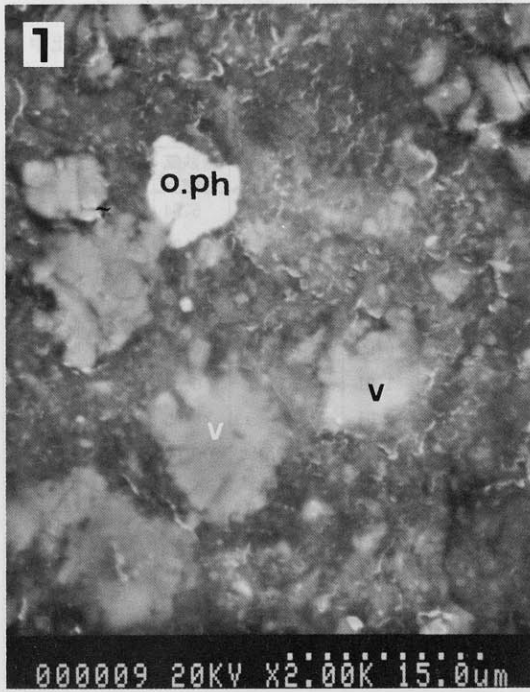
分析地点 成分	(1)	(2)
SiO ₂	56.23	52.42
TiO ₂	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	18.85	20.90
FeO	0.00	0.02
MnO	0.00	0.00
CaO	10.19	11.23
MgO	0.30	0.42
Na ₂ O	0.12	0.16
K ₂ O	0.96	1.01
P ₂ O ₅	0.09	0.20
S	0.04	0.07
H ₂ O	13.24	13.56



写真X 南バルヒェン産の基岩盤を覆う硬質白色皮膜中の晶洞内に晶出する針状結晶 (試料: 88012002)



写真XI 南バルヒェン北東部の方解石沸石複合岩脈の研磨面の電顕写真
c: 方解石 z: 濁沸石



写真Ⅻ リーセル=ラルセン山付近の水縞粘土中にみられたビビアナイトの産状 (試料: 88022003 B)
V: ビビアナイト P: 黄鉄鉱 o.ph: 有機燐物質

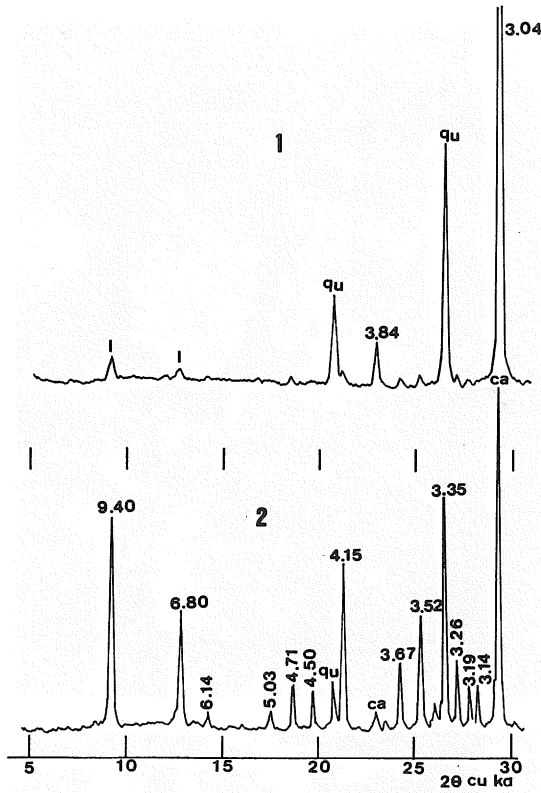
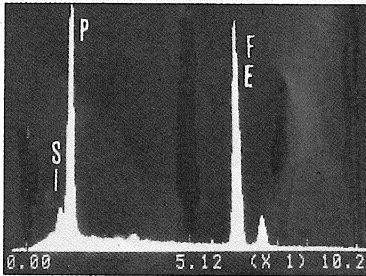


図6 南バルビエン北東部産の方解石沸石複合岩脈のX線回析図

1：白色部 2：淡いピンク色の部分



写真Ⅹ リーセル＝ラルセン山付近の水縞粘土中にみられたピビアナイトのX線スペクトル

写真を示す。ピビアナイトは粘土～シルトの基質の中に球顆状をなして産出し、黄鉄鉱球顆と共生することもしばしばみられる。写真ⅩにピビアナイトのX線スペクトルをあげてあるが、あまり不純物を含んでいないことがわかる。表7はピビアナイトを埋める基質の化学分析値が示されている。これによるとP₂O₅が驚くほど少ない。これは、堆積物中のほとんどすべてのP₂O₅がピビアナイトを晶出するために消費されてしまっていることを示し

表7 リーセル＝ラルセン山付近の水縞粘土の基質部分の化学分析値

分析地点成分	基質部分
SiO ₂	52.21
TiO ₂	0.11
Al ₂ O ₃	8.75
FeO	4.24
MnO	0.00
CaO	1.31
MgO	2.01
Na ₂ O	0.96
K ₂ O	1.03
P ₂ O ₅	0.94
S	0.51
Cl	0.02
計	72.10

表8 リーセル＝ラルセン山付近の水縞粘土中にみられたピビアナイトの分析値

分析地点成分	藍鉄鉱 ランテッコウ	(原子比)	
SiO ₂	5.54	Si	1.454
TiO ₂	0.00	Ti	0.000
Al ₂ O ₃	1.02	Al	0.316
FeO	41.62	Fe	9.142
MnO	0.26	Mn	0.057
CaO	0.54	Ca	0.151
MgO	0.55	Mg	0.215
Na ₂ O	0.60	Na	0.304
K ₂ O	0.14	K	0.046
P ₂ O ₅	29.76	P	6.617
S	0.23	S	0.111
Cl	0.00	Cl	0.000
H ₂ O	19.76	O	46.972
計	100.00	H	34.616

ている。表8はピビアナイトそのものの分析値である。ピビアナイトの主成分はPとFeであるが、Feはともかく、これほどに大量のピビアナイトを生成するのに必要なリンの起源についていえば、少なくとも無機的な起源物質は想定しがたく、何か有機的な発生源を求めざるをえない。例えばMATSUMOTO *et al* (1982)は南極のドライバレー地域の淡水湖において、リン酸態リン (PO₄-P)の値が非常に高い湖の存在を認め、それがペンギン、トウゾクカモメなど鳥類の排泄物に起因することを指摘している。現在のリチャードソン湖は海岸まで約3kmの距離があり湖岸にはペンギンなどの巣はみられない。しかし、図2に示したように山地の南西部には隆起汀線が存在し、その付近は数千羽のアデリーペンギンの営巣地となっている。また、リチャードソン湖の湖面は標高30m以下であり南西部の海岸とは標高40m以下の谷で境されることから、海水面が30～40m上昇したなら湖は海と連結してしまうような地形を示している。時代については明らかでないが、過去に海岸線が現在より内陸まで進入した時期があり、リチャードソン湖により近い場所にペンギンなどの営巣地が存在していたものと推定される。

4. ま と め

南極で採取されたいくつかの鉱物の産状と、鉱物自身の化学的特徴を述べてきた。それらは次のようにまとめられる。

- (i) 北バルヒェンで採取した二次生成鉱物はいずれも純度の高い石膏の結晶であり、水分の条件や結晶段階の違いによって形態や色調が様々に異なる。石膏の生成に重要な役割をはたす(SO₄)イオンは、現在の氷河融水あるいは降雪から生成した淡水を起源とする可能性が高い。
- (ii) 南バルヒェンで採取したデザートワニス物質はMnよりもFeが多く含まれること、含水非晶質珪酸鉱物から構成されていることといった従来からの知見が確認された他に、次のような新たな事実が明らかになった。
 - (a) ワニス物質は含水非晶質珪酸鉱物の他に純粋なジャロサイトからも構成されている。
 - (b) ワニス物質は漂礫表面を被覆するだけでなく、漂礫内部の黒雲母や斜方輝石の劈開に沿ったり鉱物粒間の不規則な割れ目に沿う細脈を充填している。
 - (c) 岩石表面を被覆するワニス物質は、こうした細脈へと連続している。このことはデザートワニスを構成する物質は岩石内部でつくられて、岩石表面に供給されていることを示す。
 - (d) 漂礫の外側から滲入してきたH₂SO₄溶液によって岩石の成分が溶解されるとともに、そのような溶液が漂礫表面まで毛細管現象によって上昇し、乾燥気

候下で蒸発濃縮し、溶解成分が皮膜となって沈着し続けてきたものがジャロサイトであり、デザートワニスである。

- (e) 漂礫内の鉱物の中で、特に石英とか長石類の割れ目に析出する場合、ワニス物質を供給する細脈が漂礫内部で結晶成長し、礫を破砕するような物理的風化作用をおこなっていることがある。
- (f) デザートワニス物質が生成される上で、石膏と同じく(SO₄)イオンが重要な役割をはたしている。
- (iii) 南バルヒェンの片麻岩基盤岩表層を被覆する硬質白色皮膜はRiversideiteを主体とするものである。
- (iv) リーセル＝ラルセン山付近の氷綿粘土中には大量のビビアナイトが存在することが確認された。その起源としてはペンギン、トウゾクカモメなど鳥類の排泄物に由来する可能性が高い。

以上今回採取された南極産鉱物のいくつかは珍しい鉱物で興味あるものが多い。今後の課題としては二次生成鉱物の形成に重要な役割をはたしている(SO₄)イオンの起源として想定されている氷河水の化学的特徴を検討していく必要があろう。

現地調査や試料の採集にあたっては、JARE-29の渡辺興亜越冬隊長、矢内桂三副隊長、佐藤夏雄副隊長をはじめとする観測隊全員の多大なる協力と援助を受けた。また、本田守忠艦長以下「しらせ」の乗組員の方々には絶大なる御支援をいただいた。さらに、リーセル＝ラルセン山周辺の調査においては、大山佳邦越冬隊長をはじめJARE-28の皆様が御協力をしていただいた、ここに記して厚く感謝申し上げます。

文 献

- 浅見正雄・牧本 博・安仁屋政武・林 正久・飯村友三朗・林 孝・奈良岡 浩・米沢泰久・藤田秀二・GREW, E.S. (1988) : セールロンダーネ山地学調査報告 1988 (JARE-29)。南極資料, 32 (3), 334-363.
- 安仁屋政武・林 正久 (1988) : アムンゼン湾, リーサー・ラルセン山周辺の地形。第9回南極地学シンポジウム講演要旨, 37-38.
- AUTENBOR, T. VAN (1964) : The geomorphology and glacial geology of the Sør Rondane, Dronning Maud Land. Antarctic Geology, ed. by R.J. ADIE, Amsterdam, North-Holland, 81-103.
- ENGEL, C.G. and SHARP, R.P. (1958) : Chemical data on desert varnish. Bull. Geol. Soc. of America, 69, 487-517.
- GLASBY, G.P., MCPHERSON, J.G., KOHN, B.P., JOHNSTON, J.H., KEYS, J.R., FRÉMANN, A.G. and TRICKER, M.J. (1981) : Desert varnish in southern Victoria Land, Antarctica. New Zealand Journ. of Geology and Geophysics, 24, 389-397.
- 林 正久・安仁屋政武 (1988) : セールロンダーネ山地東部, バルヒェン地域の氷河地形と風化作用, 第9回南極地学シンポジウム講演要旨, 57-58.
- HAYASHI, M. and MIURA, K. (1989) : Glacial landforms and weathering processes in the Balchenfjella region, eastern part of the Sør Rondane Moun-

- tains, East Antarctica. Proceedings of the Natl. Inst. of Polar Research Symposium on Antarctic Geosciences, 3, (in press).
- HOOKE, R. LEB., YANG, H. -Y. and WEIBLE, P.W. (1969) : Desert varnish : an electron probe study. *Journ. of Geol.*, 77, 275-288.
- JOHNSTON, J.H., CARDILE, C.M., COOTE, G.E., SPARKS, R. J., WALLECE, G., MCMILAN, J.W., PUMMERY, F.C. and LONGWORTH, G. (1984) : Desert varnish in Antarctica : a nuclear microprobe and backscattered ^{57}Fe Mössbauer spectroscopic study. *Chemical Geology*, 42, 189-201.
- JOHNSTON, J.H. and CARDILE, C.M. (1984) : The characterisation of the iron oxide phase in desert varnish from Antarctica using conversion electron and X-ray Mössbauer spectroscopy. *Chemical Geology*, 45, 73-90.
- 牧本 博・浅見正雄・安仁屋政武・林 正久・GREW, E. S. (1988) : エンダービーランド地域のベチェルナヤ山及びリーセル・ラルセン山地域地学調査 : 沿岸地学調査報告 1988 (JARE-29), 南極資料, 32(3), 364-374.
- MATSUMOTO, G., TANAKA, Y. and TORII, T. (1982) : Nutrient matters in saline lakes of McMurdo Oasis in the 1976-77 summer season. *Nankyoku Shiryo* (Antarctic Record), 74, 109-118.
- 松岡憲知・平川一臣 (1987) : セールロンダーネ山地の塩類析出物と塩類風化作用について. 第8回南極地学シンポジウム講演要旨, 6.
- SELBY, M.J. (1971) : Slopes and their development in an ice-free, arid area of Antarctica. *Geografiska Annaler*, 53A, 235-245.
- SELBY, M.J. (1974) : Slope evolution in an Antarctic Oasis. *New Zealand Geographer*, 30, 18-34.
- YOSHIDA, Y. and MORIWAKI, K. (1983) : Landform of Mt. Riiser-Larsen, Amundsen Bay, Enderby Land : results of a preliminary survey. *Memoirs of Natl. Inst. of Polar Research Special Issue*, 28, 240-246.
- 吉田栄夫 (1986) : 南極氷床の長期変動と地形. 『南極の科学 5 地学』, 古今書院, 196-209.
- 綿栲邦彦 (1979) : 南極における鉱物の地球化学的研究. 『地球』, 1, 788-793.