

DVDP 3 (ロス島) および 6 (バイダ湖)
ボーリングコア中の二次生成鉱物

森川日出貴*・湊 一郎*・小坂文予**・綿抜邦彦***

Secondary Minerals from the Drilling Cores of DVDP 3 (Ross Island)
and 6 (Lake Vida)

Hideki MORIKAWA*, Ichiro MINATO*, Joyo OSSAKA** and Kunihiko WATANUKI***

Abstract: The secondary minerals were collected from the drilling cores of DVDP 3 (Ross Island) and DVDP 6 (Lake Vida) and were investigated by the powder X-ray diffraction method. In No. 3 core the identified minerals are calcite, aragonite, thenardite, milabilite, gypsum, nesquehonite and thaumasite. In No. 6 core the identified minerals are calcite, aragonite, gypsum, chlorite, laumontite, chabazite, sericite, montmorillonite, prehnite and flourite. The mineral assemblage and the unusual distribution of some minerals may suggest the environments of the sedimentation of the rock and soil. The evaporites and secondary minerals around Lake Vida were also identified and gypsum, calcite, thenardite, halite, sodium niter, prehnite laumontite and chlorite were found. No correlation was noticed between the secondary minerals from No. 6 drilling core and those around Lake Vida.

要旨: DVDP 3 (ロス島) および 6 (バイダ湖) のボーリングコア中の二次生成鉱物を採取し、粉末 X 線回折法により鉱物種の同定を行った。No. 3 のコア中には、calcite, aragonite, thenardite, milabilite, gypsum, nesquehonite, thaumasite が認められた。No. 6 のコア中には、calcite, aragonite, gypsum, chlorite, laumontite, chabazite, sericite, montmorillonite, prehnite, flourite が認められた。これらの鉱物の組み合わせおよび存在範囲より、生成当時の環境について推定を試みようとした。また、バイダ湖周辺の塩類析出物についても鉱物種の同定を行い、gypsum, calcite, thenardite, halite, sodium niter, prehnite, laumontite, chlorite が見出され、同所のボーリングコア中のものとは異なっていることがわかった。

* 東京工業大学工業材料研究所. Research Laboratory of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, 12-1, Ookayama 2-chome, Meguro-ku, Tokyo 152.

** 東京工業大学工学部. Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, 12-1, Ookayama 2-chome, Meguro-ku, Tokyo 152.

*** 東京大学教養学部. College of General Education, University of Tokyo, 8-1, Komaba 3-chome, Meguro-ku, Tokyo 153.

1. ま え が き

1973-74 DVDP 計画 (Dry Valley Drilling Project) では 8 地点において掘削が行われたが、森川、綿抜の両名は、No. 3 (ロス島) および No. 6 (ビイダ湖) の掘削に参加し、ボーリングコア中の二次生成鉱物を採取した。採取した試料はマクマード基地のシール地球科学研究室において、粉末 X 線回折法により鉱物種の同定を行った。一部の試料については東京に持ち帰った後に鉱物種の同定を行った。また、ビイダ湖周辺にて採取した塩類析出物についても同様に鉱物種の同定を行った。また試料によっては、さらに示差熱分析や化学試験を併用して認定し、あるいは重液を用いて分離したものについて同定した。

2. DVDP 3 (ロス島) コア中の二次生成鉱物

2.1. 同定された鉱物

DVDP 3 は 1973 年 9 月 21 日より 10 月 19 日まで、ロス島マクマード基地シール地球科学研究室の近くで行われた掘削で、381 m の深さに達している。この掘削は今回行った No. 1 から No. 8 までの 8 本の掘削の中で一番深いものである。

KYLE and TREVES (1974) によると、このボーリングコアは岩石的には大きく分けて 4 つに分類される。深度 9.4 m より 64.40 m までは、6 層の熔岩流よりなり、それらはすべて hawaiiite からなっている。64.40 m より 95.16 m までは augite-kaersutite basalt からなり、95.16 m より 166.83 m までは, olivine-augite からなる 4 層の熔岩流と 2 層の碎屑岩よりなりたっている。166.83 m より 381.00 m までは hyaloclastite よりなっている。この間に 220 個の試料を採取した。

粉末 X 線回折法により同定された鉱物の岩石別の頻度を図 1 に示す。hawaiiite 層中には thenardite (Na_2SO_4), calcite (CaCO_3), nesquehonite ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) が認められた。これらの鉱物のうち nesquehonite と gypsum はこの層にのみ認められた。また, nesquehonite の南極での存在は、今回初めて確認されたものである。augite-kaersutite basalt 層中には、わずかに calcite が認められるが、大部分は thenardite とその 10 水塩である mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) であった。olivine-augite basalt 層中には、thenardite, calcite の他に、新たに thaumasite ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) および calcite と同質異像の aragonite (CaCO_3) が認められた。hyaloclastite 層には、上の層と同

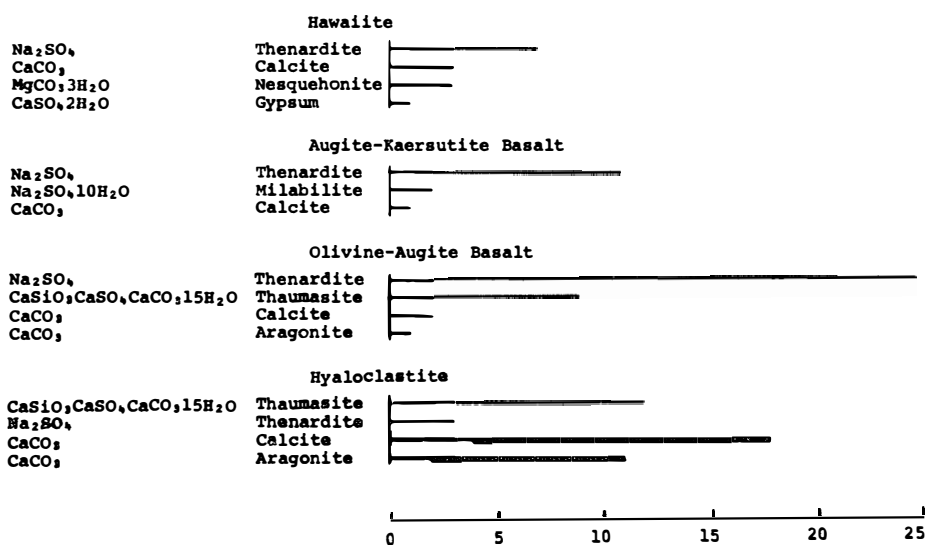


図 1 DVDP 3 コア中の岩石別鉱物頻度

Fig. 1. Histogram of secondary minerals from DVDP 3 core.

じく thenardite, thaumasite, calcite, aragonite が認められたが, 300 m 以下では calcite と aragonite のみが認められた。

最上層である hawaiiite 層に存在する nesquehonite は, 常温常圧下で炭酸マグネシウム塩が水溶液より析出する際に生ずる鉱物である。また, たとえばこれを 200°C, 35 kg/cm² の条件で 70 分間水熱処理を行うと, nesquehonite は hydromagnesite (4MgCO₃·Mg(OH)·4H₂O) を経て, magnesite (MgCO₃) に変化することが知られている (IWAI, 1960)。このように安定領域の狭い nesquehonite がそのまま存在していることは, この層で塩類が析出した後に, その環境に大きな変化を経ることなしに今日に至ったことを示している。

augite-kaersutite basalt 層より下の層中で認められた thaumasite は, アイルランド, イスラエルなどで産出することが報告されている (KNILL, 1960; BENTOR, 1963)。これらの報告によると thaumasite は, okenite, stilbite などの沸石あるいは gypsum, alunite などの硫酸塩鉱物と共生している。南極での産出に関してはニュージーランドの BROWNE (1973) により DVDP 2 (DVDP 3 より 3 m 南の地点における掘削) のボーリングコア中に存在することが報告されている。得られた thaumasite の試料について, 1,000°C まで示差熱分析を行い, その結果を図 2 に示す。123°C, 147°C, 690°C にそれぞれ吸熱のピークが認められた。測定後の試料を粉末 X 線回折法により調べると, CaSO₄ と CaSiO₄ に変化していた。また, この時の重量減量は 51% で, thaumasite が水と炭酸ガスを放出した場合の計算値である 49% とほぼ一致した。これらの結果と thaumasite の単結晶 X 線構造解析の結果

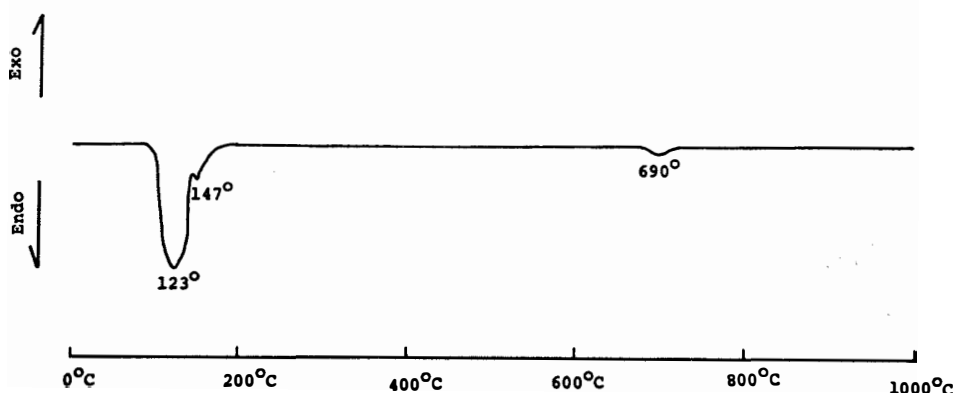


図 2 DVDP 3 コア中の thaumasite の示差熱曲線

Fig. 2. DTA curve of thaumasite from DVDP 3 core.

(EDGE, 1971) とを考慮すると、それぞれ 123°C のピークは、15 個の結晶水のうちの 12 個の H₂O の脱水、147°C のピークは Si 原子の囲りに Si(OH)₆²⁻ の形で配位している残りの OH の脱水、685°C のピークは脱炭酸によるものであると考えられる。

2.2. 鉱物の分布範囲

以上同定された二次生成鉱物の分布範囲を図 3 に示す。上部に位置する hawaiiite および augite-kaersutite basalt 層は thenardite を主体として、calcite, nesquehonite, gypsum が存在する。olivine-augite basalt 層に入ると、110 m 付近より aragonite が出現する。thaumasite は 95.16 m から 99.60 m まで存在する碎屑岩の部分、および 109.14 m から 153.17 m までの範囲に存在する basalt flow の最下部の 5 m にのみ存在する。KYLE and TREVES (1974) による岩石の薄片観察によると、この熔岩流は斑晶は olivine (15%), augite (12%), rhönite を主体とする不透明鉱物 (7%) の微細斑晶より成り立っており、下部より 5.35 m の範囲では、低度の熱水変質作用を受けていることが認められた。

hyaloclastite 層では、thenardite は上部約 10 m にのみ存在した。また、thaumasite は深度約 200 m から 300 m の間に広く分布しており、その間に calcite や aragonite が見出された。微細斑晶の rhönite は 216 m まで認められた。300 m 以下では calcite および aragonite のみが存在していた。

100 m 以下で熱水変質作用を受けたと考えられる範囲と thaumasite の分布とは良い一致を示した。この付近の岩石では、thaumasite の存在が熱水変質作用を受けた範囲の指針となり得ると考えられる。

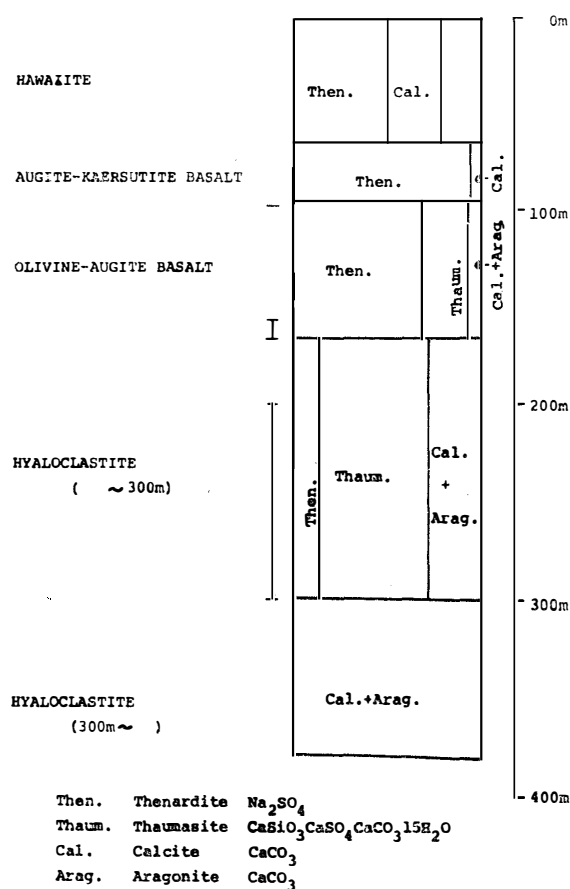


図 3 DVDP 3 コア中の二次生成鉱物の分布範囲

Fig. 3. Mineral distribution in DVDP 3 core.

3. DVDP 6 (ビイダ湖) コア中の二次生成鉱物

DVDP 6 は 1973 年 12 月 10 日より 12 月 20 日までビクトリア谷のビイダ湖の西端で行われた掘削で 304.80 m の深さに達している。

KURASAWA *et al.* (1974) によるとこのボーリングコアは岩石的には大きく分けて 3 つに分類される。10.52 m までは permafrost sediments, 155.96 m までは biotite gneiss, 304.80 m までは Vida granite よりなっている。また, gneiss 層には 88 m に断層があり, それより上部では粗粒であり, 下部では所々に biotite granite の貫入が認められた。

二次生成鉱物は主に岩石の割れ目の一部クロライト化した部分に存在し, 約 260 個の試料を採取した。粉末 X 線回折法により同定された鉱物の岩石別の存在頻度を表 1 に示す。また, 同定された鉱物の存在範囲を図 4 に示す。

permafrost sediments 中には結晶性の良い gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) が多く認められ, 所

表1 DVDP 6 コア中の岩石別鉱物頻度
Table 1. Secondary minerals from DVDP 6 core.

	Calcite CaCO ₃	Aragonite CaCO ₃	Gypsum CaSO ₄ ·2H ₂ O	Chlorite (MgAlFe) ₃ [(SiAl) ₂ O ₅](OH) ₄	Laumontite Ca[Al ₂ Si ₄ O ₁₂]4H ₂ O	Chabazite Ca[Al ₂ Si ₄ O ₁₂]6H ₂ O	Sericite KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	Montmorillonite (KNa) _{1/3} (AlMg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Prehnite Ca ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Flourite CaF ₂
Permafrost sediment (0-10.52m)	6		5							
Upper gneiss (10.52-88.00 m)	53		38	12	10					
Fault (88.00 m)		1		1	1					
Lower gneiss (88.00-155.96 m)	42	57	25	21	10	13	4	6	2	1
Vida granite (155.96-304.80 m)	5	12	18	14	16	3	20			

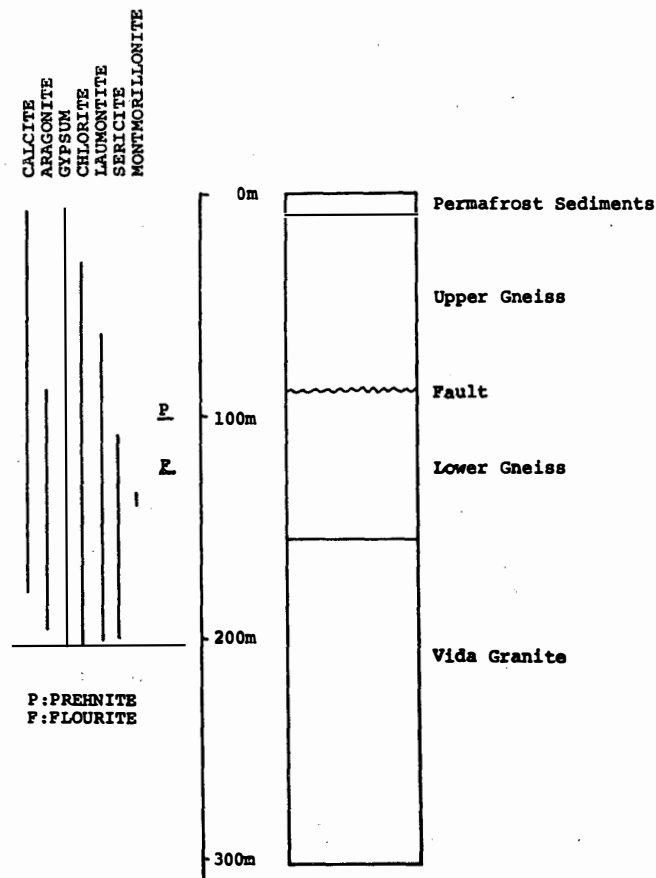


図4 DVDP 6 コア中の二次生成鉱物の分布範囲
Fig. 4. Mineral distribution in DVDP 6 core.

々に calcite (CaCO_3) が見出された。

gneiss の上部には、主に calcite と gypsum が認められるが、他の二次生成鉱物としては chlorite ($(\text{MgAlFe})_3[(\text{SiAl})_2\text{O}_5](\text{OH})_4$) と沸石の一種である laumontite ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) が認められた。この層で認められた4種の鉱物はこれより下部のいずれの層でも認められた。

断層には aragonite (CaCO_3), laumontite, chlorite が認められた。aragonite はこれより下の層で認められた。

下部の gneiss では、calcite, aragonite, gypsum, chlorite, chabazite ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (沸石の一種), sericite ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$), montmorillonite ($(\text{KNa})_{1/3}(\text{Al} \cdot \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), prehnite ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}(\text{OH})_2$), fluorite (CaF_2) と多くの種類の二次生成鉱物が認められた。このうち sericite は 109.60 m より下部で認められた。また montmorillonite, prehnite および fluorite はこの層でのみ認められた鉱物であるが、montmorillonite は 135.71 m より 141.80 m までの範囲で、prehnite は 102.26 m および 102.36 m の岩脈中より、また fluorite は 127.35 m の深さのみにて認められた。これらの粘土鉱物等の存在は、この層が過去に熱水変質作用を受けたことを示している。

Vida granite の中には、calcite, aragonite, gypsum, chlorite, chabazite, laumontite, sericite が認められた。calcite は 180.60 m, aragonite は 197.54 m, gypsum および laumontite は 203.72 m, sericite は 216.87 m 以下では認められなかった。また 231.52 m まで chlorite が認められたが、これより下部では二次生成鉱物はほとんど認められなかった。

4. ビイダ湖周辺の塩類析出物

DVDP 6 の掘削中の 1973 年 12 月 15 日から 18 日までの間に、ビクトリア谷 ビイダ湖西岸周辺の塩類析出物や二次生成鉱物について、約 70 個の試料を採取した。試料は主に diabase や dolerite 等の礫の下面に付着しているもの、および土壤中に析出しているものを採取した。試料採取範囲は、DVDP 6 の北東部 (A), 南東部 (B) および 南西部 (C) の 3 地域にわたることができるが、いずれもその地表は permafrost sediments であった。試料の採取を行った範囲と粉末 X 線回折法により同定された鉱物の地域別の確認数を図 5 に示す。

DVDP 6 の北東部 (A) : まわりの岩石は Vida granite で、採取した試料は主として diabase の下面に付着したものである。ここで認められた鉱物は、calcite (CaCO_3), thenardite

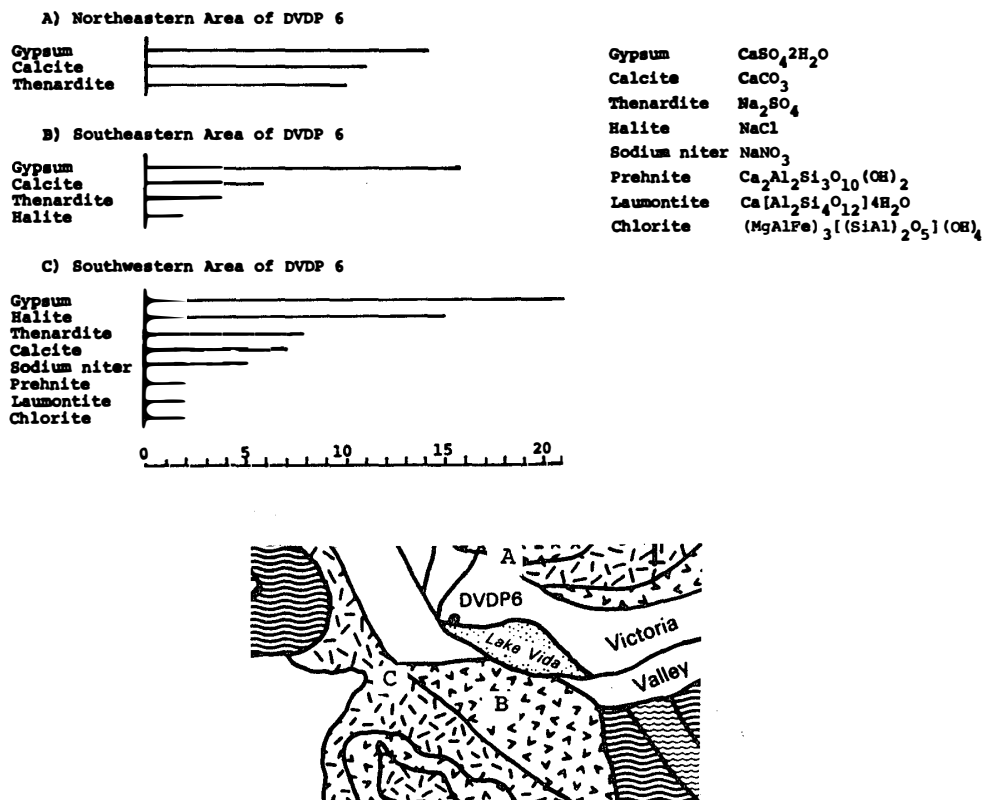


図 5 ビイダ湖周辺の塩類析出物および二次生成鉱物の地域別分布

Fig. 5. Distribution of evaporites and secondary minerals around Lake Vida.

(Na₂SO₄), gypsum (CaSO₄·2H₂O) である。

DVDP 6 の南東部 (B) : まわりの岩石は Vida granite で、採取した試料は主として dolerite の下面に付着したものである。ここでは DVDP 6 の北東部で認められた calcite, thenardite, gypsum に加えて halite (NaCl) が見つかった。

DVDP 6 の南西部 (C) : まわりの岩石は Ferrar dolerite である。採取した試料は、主に土中より塩類を含む水が、しみ出ている場所付近の転石の下側に付着したものである。ここで認められた鉱物は、calcite, thenardite, gypsum, halite, sodium niter (NaNO₃), prehnite (Ca₂Al₂Si₃O₁₀(OH)₂), laumontite (Ca[Al₂Si₄O₁₂]·4H₂O) および chlorite ((MgAlFe)₃[(SiAl)₂O₅](OH)₄) である。sodium niter は常に halite と共存して認められた。sodium niter と共存している halite を除くと、二種類以上の鉱物が共存している時には、2例 (thenardite と halite, laumontite と chlorite) を除いては、必ず gypsum が存在していた。

dolerite の岩脈には、うす緑色の prehnite, laumontite, chlorite, gypsum, calcite が認められた。この鉱物の組み合わせは、MORIKAWA *et al.* (1975) がライト谷のパンダ湖の西側にあるダイス丘の dolerite の岩脈で認めたものとはほぼ同じであり、この地域も低度の熱水変質作用を受けたことを示している。なお、ライト谷で認められた epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) は今回の試料中には認められなかった。

このようにビイダ湖とダイス丘のように離れた2つの地域で、鉱物の組み合わせの類似性が認められることは、その成因を推定するための良い手掛りになりうるであろう。

5. お わ り に

このように互いに離れた場所での2本のボーリングコア中の二次生成鉱物の種類、およびその組み合わせにおいて、類似点と相違点のあることは、地表よりの深さによって左右されるような共通的な条件と、それぞれの場所による環境条件の違いを意味しており、これら二次生成鉱物の記載が、その推定に寄与するものと考えられる。また、ビイダ湖における地表の二次生成鉱物の分布状況は、地下のそれとは、明らかに違っており、これら二次生成鉱物の生成が、周囲の環境条件に鋭敏に関与していることが判明した。

文 献

- BENTOR, Y. K. (1963): Some unusual minerals from the "Mottled zone" complex, Israel. *Am. Mineral.*, **48**, 924-930.
- BROWNE, P. R. L. (1973): Secondary minerals from DVDP drilling holes. *Antarct. J. U. S.*, **8**, 159-160.
- EDGE, R. A. and TAYLOR, H. F. W. (1971): Crystal structure of thaumasite [$\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6\text{12H}_2\text{O}$] (SO_4) (CO_3). *Acta Crystallogr., Sect. B.*, **27**, 594-601.
- IWAI, S., SOTOME, Y., AOKI, H. and MORIKAWA, H. (1971): Reaction of magnesium carbonates by direct X-ray diffraction under hydrothermal conditions. *Am. Mineral.*, **56**, 628-629.
- KNILL, D. C. (1960): Thaumasite from Co. Down, Northern Ireland. *Mineral. Mag.*, **32**, 416-418.
- KURASAWA, H., YOSHIDA, Y. and MUDREY, M. G., Jr. (1974): Geology log of the Lake Vida core-DVDP 6. *DVDP Bull.*, **3**, 92-108.
- KYLE, P. R. and TREVES, S. B. (1974): Geology of DVDP 3, Hut Point Peninsula, Ross Island, Antarctica. *DVDP Bull.*, **3**, 13-48.
- MORIKAWA, H., MINATO, I., OSSAKA, J. and HAYASHI, T. (1975): The distribution of secondary minerals and evaporites at Lake Vanda. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **4**, 45-59.