



南極地方の温泉としては、19世紀のはじめから、Deception 島に湧出することが知られているが、その他の調査記録は非常に少ない。しかし、最近の赤外映像撮影による航空調査で、新しく地熱活動を示す火山も発見され、南極の温泉に関する情報も増えてきた。さらに、オアシスと呼ばれる無氷雪地帯には、水温が 25°C を示す塩湖も見つかり、その高温の由来についての調査が各国の科学者によって行なわれている。これらを併せて、現在までの調査結果を報告する。

## 2. 南極の自然環境

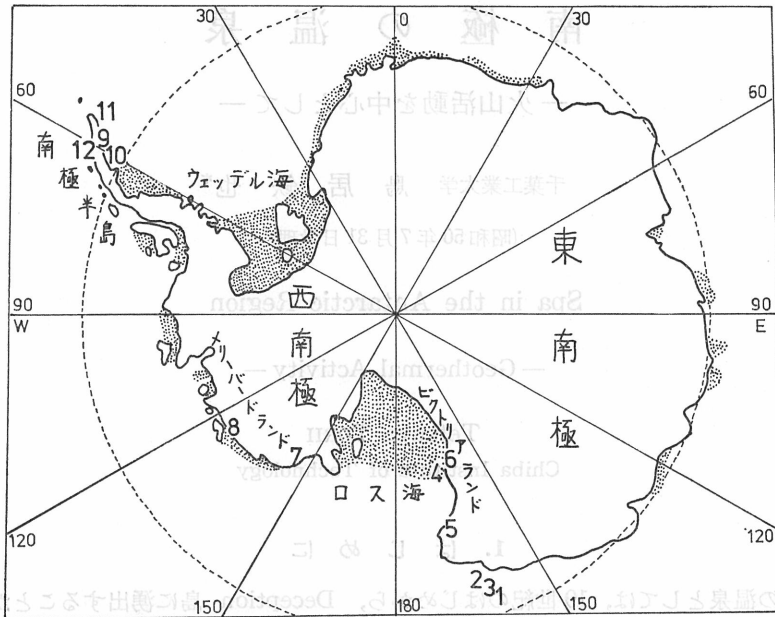
南極大陸は、氷の砂漠といわれるように、その面積の 98% は厚い万年氷におおわれている。しかし、IGY (国際地球観測年) 以来、12 ヶ国の国際協力による調査によって、その自然環境はかなり明らかになってきた。

大陸の地質は、地球の他の大陸と同じように、プレカンブリアのプラットフォームの端に、古い順に造山帯がならび、その太平洋側の西の端に、いちばん新しい環太平洋造山帯の南極半島がくることがわかった。南極は、ウェッデル海とロス海を結んで東半分を東南極、西半分を西南極と呼んでいるが、プレカンブリアという最も古い地質年代の基盤岩石からできているのが東南極である。一方西南極は、古生代、中生代以降の変動帯である。中生代末にかつての超大陸、ゴンドワナ大陸が解体したころ、現在の太平洋のまわりに当る部分に、新しい造山帯ができ、海には泥や砂が堆積して火山がさかんに活動したが、南極のメリー・バードランド、南極半島は、その一部であって、第 3 紀後半から火山活動が活発であった地域とみられる。

## 3. 南極の火山と温泉現象

19 世紀の前半、北磁極が発見されるや、イギリス、アメリカ、フランスの探検隊は南磁極の

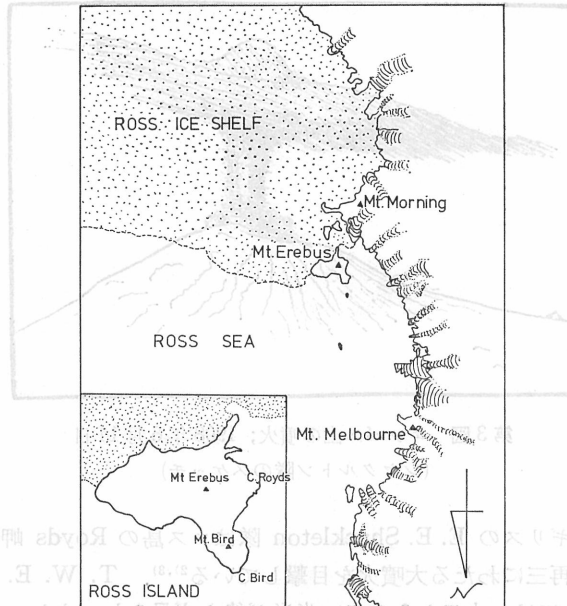
\* 千葉県習志野市谷津



第1図 南極大陸の火山

第1表 南極地方の主な火山

No.	Name	Region	Location	Remarks
1	Freeman Park	Balleney Is.	66°25' S, 162°23' E	1839年噴煙
2	Sturge I.	"	67°27' S, 164°18' E	?
3	Buckle I.	"	66°47' S, 163°14' E	19世紀に噴煙確認
4	Mt. Frebus	Ross I.	77°32' S, 167°09' E	1841年以来噴煙, 氷塔
5	Mt. Melbourne	Victoria Land	74°21' S, 164°42' E	氷塔, 地熱, 湯の華
6	Mt. Morning	"	78°30' S, 163°32' E	地熱?
7	Mt. Berlin	Marie Byrd Land	76°03' S, 135°52' W	氷塔
8	Mt. Hampton	"	76°29' S, 125°48' W	氷塔
9	Lindenberg I.	Antarctic Peninsula	64°55' S, 59°40' W	1893年噴火
10	Christensen Nunatak	"	65°06' S, 59°31' W	1893年水蒸気噴出
11	Bridgeman I.	South Shetland Is.	62°04' S, 56°44' W	19世紀噴気口報告
12	Deception I.	"	62°57' S, 60°38' W	1842, 1967, 1969, 1970噴火, 温泉



第2図 ロス海西岸地域の火山

発見を目指し、あいついで南極へ向かっている。このころの航海から、南極の火山についての報告がみられる。

南極大陸には、16の火山があるとも報告されているが、現在まで火山活動がはっきりしたものは、 $60^{\circ}\text{S}$ 以南の南極地域では12、それに亜南極圏の South Soudwich 諸島 (9)、Bovet 島 (1) などの10を加えて、合計22を数える。その主な火山を第1図、および第1表に示す。

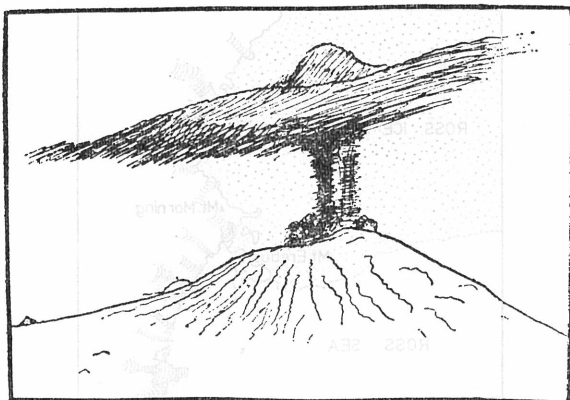
南極大陸およびその近くの島々の火山は、そのほとんどが南極半島、メリー・バードランド、ビクトリアランド東岸などの西南極に分布していて、東南極には存在しない。現在活動が確認されているのは、South Shetland 諸島の Deception 島、ビクトリアランド地域の Erebus 山、Melbourne 山などの3ヵ所で、ここでは温泉現象もみられる。

### 3-1. ロス海西岸地域

ロス海奥のロス島からビクトリアランドの東岸を経て、Balleny 諸島にかけては火山帯が連らなるが、これらの火山を構成しているのは、カンラン石玄武岩や粗面岩などのアルカリ玄武岩類である。そしてこれらの溶岩には火山灰や火山角礫岩がはさまっている。最近、アメリカ、ニュージーランド、フランスの火山学者が、この地域の代表的な Erebus 山、さらに Melbourne 山などの共同調査を始めたが、温泉に関する新しい情報もあって、今後の調査が期待されるところである。

#### 3-1-1. エレバス山

1841年1月、イギリスの J. C. Ross はエレバス、テラの2隻の帆船でロス海に進入したが、ロス島に烈しい噴煙と焔をあげている山を発見し、舟の名をとりエレバス山と命名した。隊員の生物学者 J. Hooker の報告によると、黒い噴煙が炎を伴って火口から立ち上がっていたというから、そのころ非常に活動していたらしい<sup>1)</sup>。

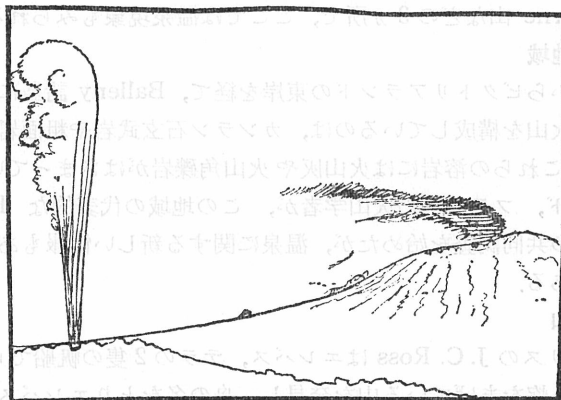


第3図 エレバス山の噴火; 1908年6月14日  
(シヤクルトン隊のスケッチ)

その後1908年、イギリスの E. E. Shackleton 隊はロス島の Royds 岬に越冬したが、5月から11月にかけては再三にわたる大噴火を目撃している<sup>2),3)</sup>。T. W. E. David によると、南極の夜のつづくころには、火口からの赤い炎光が絶えず見られ、またシシリー島のストロンボリー火山と同じように、低気圧になると大噴火がおきたという。とくに6月14日には、頂上の600 m 上空まで水蒸気柱が上がり、キノコ型の雲が形成されて900 m 上空まで気流になりびいて拡がったこと、またそれに輝光が伴って壮観を呈したという。

David らは、山の西側から3775 mの頂上まで初登頂したが、頂上近くで噴気孔により形成された氷塔をみて、温泉のあることを報告している。また同隊の医師 A. F. Mackay は、これらの噴気孔の一つから、時々水蒸気の噴出するのを目撃している。

この隊が観察した今一つの記録は、間欠泉の存在である。エレバス山と Bird 岬の中間に死火山 Bird 山がある。(第2図参照) 今では全く徴候がみられないが、その当時は Bird 山の山麓付近にいくつかの間欠泉があったらしい。同隊は4月ころから、その方向に時たま水蒸気の



第4図 バード山付近の間欠泉; 1908年9月8日, 右はエレバス山  
(シヤクルトン隊スケッチ)



噴出するのを観察しているが、6月17日と9月8日に壮大な間欠泉を目撃した。とくに6月17日には、600 m の高度から 1500 m 上空まで噴き上げる間欠泉があったことを報告している<sup>2),3)</sup>。これらの現象は、南極における唯一の間欠泉記録となっている。

さて、IGY の国際南極観測が始まってから、アメリカ、ニュージーランドの両国はロス島に越冬基地を建設したが、これに伴いエレバス山の調査も再び始まった。

1959年1月、ニュージーランドの A. C. Beck らは、南側から登頂し頂上付近を偵察した。そして火口には噴煙も少なく火口底がよくみえたこと、また頂上周辺のテラスには若干の噴気孔が煙を上げていたことなどを報告している<sup>4)</sup>。ついで1962年2月、アメリカの F. C. Ugolini らが<sup>5)</sup>、また1964年2月、アメリカの G. Holdsworth らが登頂し<sup>6)</sup>、氷塔に付着する硫黄化合物、コケ類などを採集した。そして火口周辺にみられる氷塔は、すべて噴気孔からの蒸気が凝結してできたことを明らかにした。この2回の調査では、Beck の調査と同じように、噴気孔の活動は1908年の Shackleton 隊のころより弱かったことが報告されている。

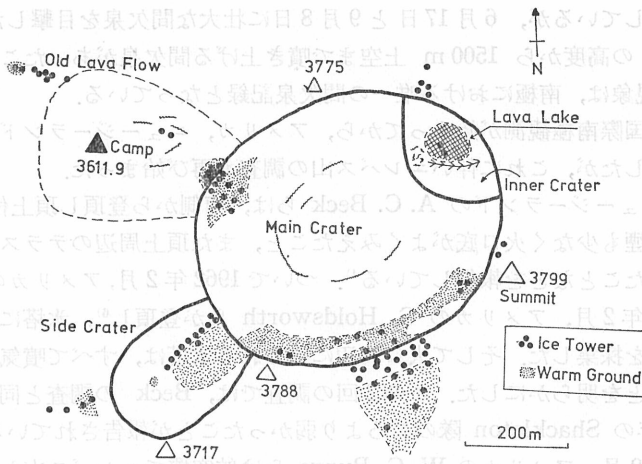
その後1967年12月、アメリカの W. G. Burge らは航空機でエレバス山からロス海西岸一帯にわたって、赤外映像撮影による火山帯の調査を行なった。そしてエレバス山頂付近では、火口内に異常な高温現象を認め、火口内に lava lake が存在する可能性を報告した<sup>7)</sup>。1972年1月、ニュージーランドの W. F. Giggenbach らは山頂周辺の広範囲な調査を行ない<sup>8),9)</sup>、翌1973年11月、S. Treves, P. R. Kyle らのアメリカ、ニュージーランド合同隊が火口の北東端で、火口底より約 100 m 深いところに lava lake を発見するのに成功した。

この報告に基いて1974年12月はじめ、フランスの H. Tazieff ら6人、ニュージーランドの Giggenbach ら6人、アメリカの Treves ら4人からなる大調査隊は、lava lake に下降し、火山ガスや溶岩の採集、地震観測、lava lake の測温などを試みた。しかし火山活動が激しく、大きな火山弾が飛散して危険なため、初期の目的を果せないまま、同月29日下山した。しかし同隊は、lava lake の近くまで接近し、火口壁にみられる 10 m くらいの断層から、赤い溶岩が lake に音をたてて流入し、5分間隔でガスや蒸気が激しく噴き出すのを観察した<sup>10)</sup>。火山ガスや硫化物、塩化物などの塩類も採集し、また地震記録をとるのにも成功したので、調査結果が期待される。これらの調査で、エレバス山は最近活動を再開したことがわかってきた。

G. L. Lyon<sup>9)</sup>、Tazieff<sup>10)</sup> らの頂上付近の調査概要は次の通りである。第5図はエレバス山頂の地熱活動を示すが、頂上付近はアノソクレス・フォノライト（カスミ石閃長岩に相当する火山岩）よりなる溶岩で占められ、地熱の高いところには氷塔がみられ、その大きなものは 10 m もあるという。地温は表面で 42°C 前後、15 cm 下の地中温度は 65°C もあり、とくに頂上の北西（Camp 山の北西）の地熱が高く、そこにはとりわけ緑や赤色の藻類が多いとのことである。地熱の高いところには、絶えず蒸気が噴出しているが、硫黄臭は認められなかったようである。今回の調査で、この山の標高は 3799 m と訂正された。

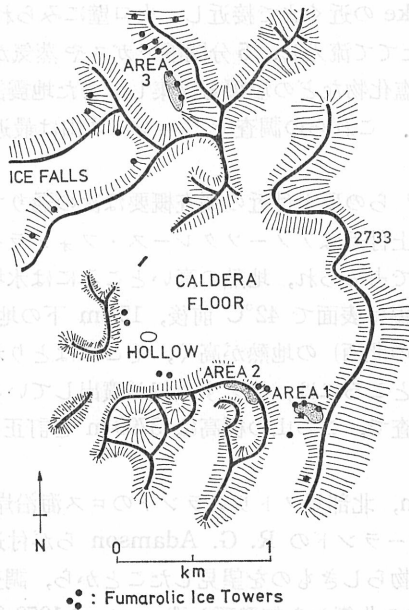
### 3-1-2. メルボルン山

エレバス山の北約 340 km、北部ビクトリアランドのロス海沿岸に、メルボルン山 (2733 m) がある。1965年、ニュージーランドの R. G. Adamson らが付近の地質調査中、頂上近くの氷河上に、黒色の火山噴出物らしきものを望見したことから、調査が始った<sup>11)</sup>。1967年1月、同国の S. Nathan らが山の北側から初登頂し<sup>12)</sup>、ついで1972年、Lyon らが再調査して、火山活動があることを明らかにした<sup>9)</sup>。



第5図 エレバス山頂の地熱活動

第6図はメルボルン山の頂上スケッチであるが、直径約1kmのカルデラ周辺に、多くの氷塔をもつ地熱の高い区域がある。これらの氷塔は、エレバス山頂のものと同じように、噴気孔からの蒸気が凝結してできたものであるが、ここの高さ7~8mの氷塔には、3~4人を収容するような大きな洞穴があるという。Nathanらは、カルデラ北方のarea 3にある氷塔内の一つがH<sub>2</sub>S臭を呈し、また地下に沸とう水が音をたてて流れているのを認め、温泉の存在を報告した。



第6図 メルボルン山頂の地熱活動



第7図 メルボルン山頂の氷塔

Lyon らは、area 2 がメルボルン山のいちばん地熱の高い地区で、コケの多い付近では  $59^{\circ}\text{C}$  と高いこと、また area 3 では、5 m 四方の地表面が古い湯の華で一面におおわれていることを観察した。湯の華のある地点は、さきに Nathan らが温泉の存在を報告したところから約 100 m 西方である。湯の華があることは、メルボルン山がかつて温泉を湧出していたことも示唆し、この発見は興味深い。

### 3-1-3. 考 察

この地域のエレバス、メルボルン2火山について、現在までの調査結果を述べたが、南極の活火山の特徴として、地熱の高い火口周辺地区には、噴気孔をもつ氷塔が存在することがわかる。今のところ、この2つの火山には温泉の湧出は見当たらないが、E. P. Kiver らがシャトル郊外の Rainer 山において、火口の雪面下に湖を発見したように<sup>13)</sup>、南極の活火山にも、地熱の高い地区でこのような現象が存在することも考えられる。

Lyon らは、エレバス山頂の Camp 山北方地区には、今後の調査によって同様な湖が発見される可能性があるとしている。いずれにしても、液状の水塊が地表に存在しえない酷寒の南極では、火山熱を地表に伝える温泉が存在しにくい環境といえよう。

なお、火山噴出物やガス成分などの化学分析は、現在あまり行なわれていない。しかし、エレバス山頂の氷塔水の重水素濃度測定、あるいは噴気孔から出る蒸気中のガス分析、また土壌の研究などが始まっている。これによると、氷塔水の  $\delta D$  はいずれも  $-260 \sim -330\text{‰}$  と小さく、降雪や内陸水の  $\delta D$  と近い値を示す。また蒸気中の  $\text{CO}_2$  は、大気中のものより約 100 倍も高い値となっている。このことは、噴気孔からの蒸気は降雪により生ずるものであり、また蒸気中のガスは地下の溶岩から供給されることを意味するものである。

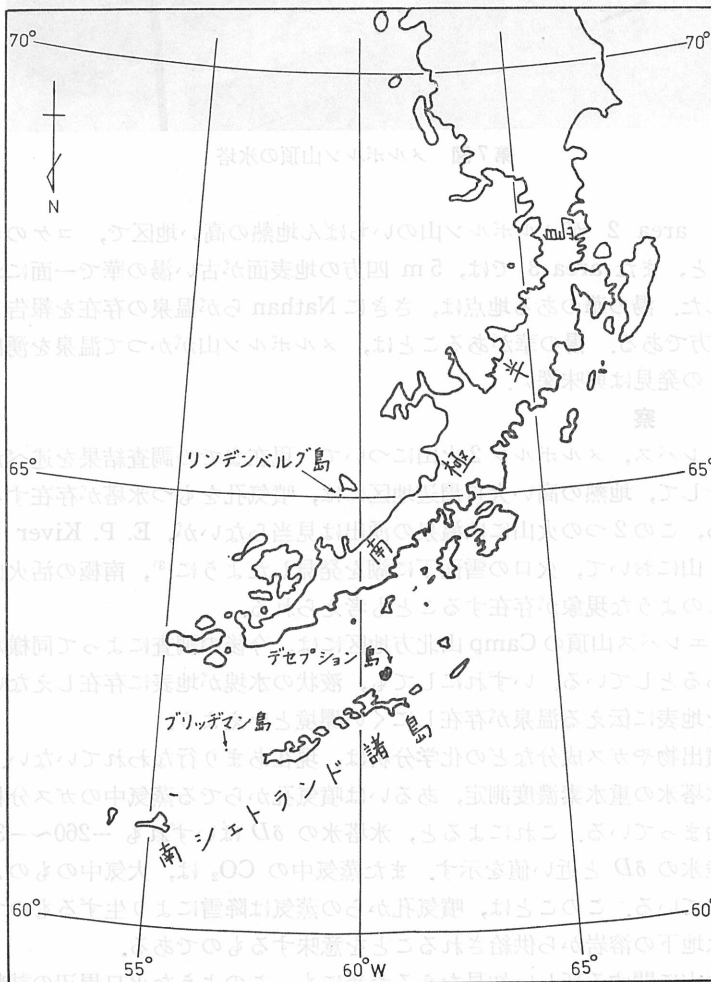
今後南極の火山に関する新しい知見をうるためにも、このような火口周辺の試料についての同位体化学、あるいは年代決定など、地球化学的研究が進められることが望ましい。

### 3-2. メリー・バードランド

西南極のメリー・バードランドにも, Hampton 山, Berlin 山 (3498 m) のように, 頂上のカルデラ周辺に氷塔がみられる火山がある<sup>14)</sup>. これらの氷塔も恐らく噴気孔によって形成されたものとみられる.

従って, この2つの火山に氷塔が存在することから, メリー・バードランドに最近火山活動があったこと, さらに環太平洋造山帯が南極半島からロス海西岸にかけて, 断絶せずに延びていることを示している. この地域の地層もエレバス山などと同じように, アルカリ玄武岩や粗面岩などからできている.

ハンプトン山の氷塔は, 高さが 10~20 m の大きなものもあるが, 氷塔に洞穴をもつものがない. これは地熱活動がなくて, 現在噴気孔が存在しないためであろう. またカルデラ周辺にも, 火山噴出物などが検出されていない. しかし 3000 m 以上の高度にもかかわらず, 氷塔が



第8図 南極半島とデセプション島

風蝕もされずに比較的新しいことから、この火山活動は最近のものと考えられている。

マリー・バードランド地域は、南極大陸でもいちばん調査の残されているところであるが、近く航空機による赤外映像調査も行なわれると聞くので、今後火山に関する新しい情報もえられよう。

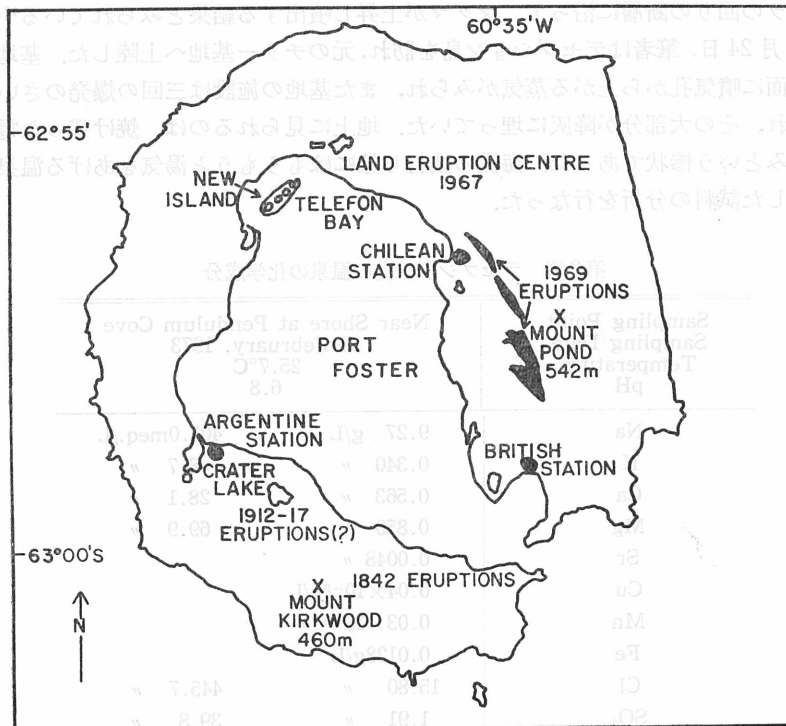
### 3-3. 南極半島周辺

南極半島周辺には、いたるところに第三紀末に噴出したアルカリ玄武岩がみられる。地層の状況からみると、はじめは海底火山であったものが、しだいに隆起し、陸になって大噴火をしたものである。この地域で現在火山活動をしているのが、南極で唯一の温泉がみられる Deception 島である。

#### 3-3-1. デセプション島

南極半島の北部、Graham Land から Bransfield 海峡をへだてて、South Shetland 諸島がある。ここには大小 10 あまりの島がなるが、いちばん南東にデセプション島が位置する。この島は見事なカルデラ火山島で、島の南東部に唯一の狭い [Neptune's Bellow と呼ばれる入口がある。そこのけわしくそそり立つ赤や黄、黒色の火山岩の岩肌は美しい眺めとなっている。

この島は現在でも活動中であるが、古くは 19 世紀のはじめから、狩猟船や探検船によって温泉や噴気孔のあることが報告されている。1842 年、アメリカの C.Wilkes 隊が島の最南部に 13 の噴火を目撃しており<sup>15)</sup>、また 1927 年には、イギリスの第 1 次 Discovery 海洋調査隊



第 9 図 デセプション島

が同島を訪れ、“海浜の砂が温かく、波打ち際から蒸気の上っていること、また黒い砂浜を掘ると、20 cm 下で 55°C であった”という記録を A. Hardy が残している。その他、多くの探検隊が同島を訪れ、また 1944 年以降、イギリス、チリー、アルゼンチンは、同島に観測基地を設けて火山調査を行ってきた。

ところが、1967 年に入って火山活動が非常に烈しくなり、11 月には小地震も群発し、12 月 4 日 18 時 40 分、島の北部の Pendulum 岬で、2500 m の噴煙を上げる大爆発がおこった。そのさい、Telefon 湾の水深 23 m のところに、長さ 336 m、巾 62 m、高度 15 m の新島が海底火山の噴火で生れている。近くのチリー基地は、この爆発の溶岩で埋ってしまった<sup>16),17)</sup>。

その後、同島の三国隊の基地はそれぞれ閉鎖されたが、1969 年 2 月 21 日、5 人のイギリス隊が火山調査に訪れたさい、再び大噴火がおこった。今回は島の東部氷河上が中心部で、このときの氷河融氷水による洪水で、Whaler 湾のイギリス基地は流出する被害をうけた<sup>17)</sup>。デセプション島は、その翌年の 1970 年 8 月 12 日にも再び爆発があったが、その時期には目撃者もおらず、詳細は明らかでない。しかし、同島の北 110 km にあるベリングスハウゼン基地（ソ連隊）は多量の降灰をうけ、またかなり強い硫黄臭もあったというから、3 回のうちでいちばん強い爆発であったと思われる。なお Greenwich 島のチリー基地では、650 g/cm<sup>2</sup> の降灰をうけたことが報告されている。この爆発によって、1967 年にできた Telefon 湾の新島は陸とつながってしまった<sup>18)</sup>。

最近、氷河氷の成層観測によって火山灰の噴火年代が明らかにされているが、これによると、デセプション島の火山爆発は、島の南部から時計廻りに発生していることがわかった。これはカルデラの回りの断層に沿って、マグマが上昇し噴出する結果とみられている<sup>19)</sup>。

1973 年 2 月 24 日、筆者はデセプション島を訪れ、元のチリー基地へ上陸した。基地背後の斜面には、一面に噴気孔から上がる蒸気がみられ、また基地の施設は三回の爆発のさいの溶岩で打ちくだかれ、その大部分が降灰に埋っていた。地上に見られるのは、焼け残った電柱とか、アンテナのみという惨状であった。海浜の波打ち際にはもうもうと湯気をあげる温泉があったので、採集した試料の分析を行なった。

第 2 表 デセプション島の温泉の化学成分

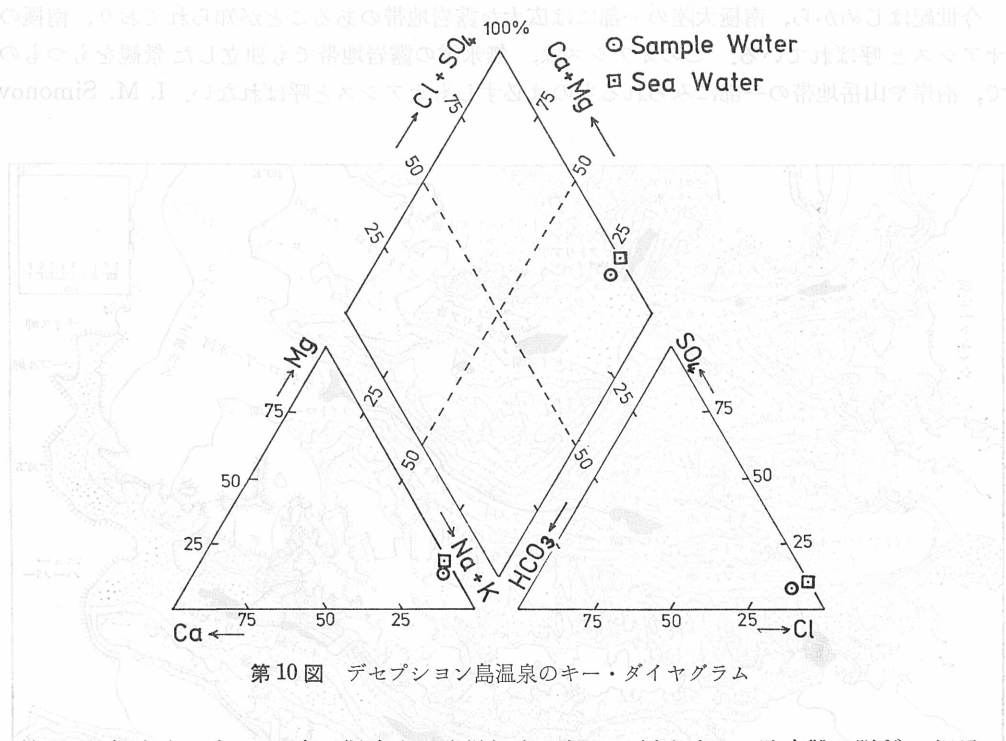
Sampling Point Sampling Date Temperature pH	Near Shore at Pendulum Cove 24 February, 1973 25.7°C 6.8	
Na	9.27 g/L	403.0meq./L
K	0.340 "	8.7 "
Ca	0.563 "	28.1 "
Mg	0.850 "	69.9 "
Sr	0.0048 "	
Cu	0.04×10 <sup>-3</sup> g/L	
Mn	0.03×10 <sup>-3</sup> "	
Fe	0.0128g/L	
Cl	15.80 "	445.7 "
SO <sub>4</sub>	1.91 "	39.8 "
HCO <sub>3</sub>	(1.5) "	(24.2) "

第3表 デセプション島の温泉と海水との比較

Ion	Sample	Sea Water
Na	0.586 wt.%	0.556 wt.%
K	0.0215 "	0.0200 "
Ca	0.0356 "	0.0211 "
Mg	0.0538 "	0.0684 "
Sr	0.0003 "	0.0004 "
Cl	1.00 "	1.00 "
SO <sub>4</sub>	0.121 "	0.139 "
HCO <sub>3</sub>	0.094 "	0.002 "

Reference:		
Cu	0.04mg/L	0.001-0.020
Mn	0.03 "	0.0005-0.003
Fe	12.8 "	0.01-0.1



第10図 デセプション島温泉のキー・ダイヤグラム

第2, 3表がデセプション島の温泉水の化学組成である。採水時には防寒靴を脱ぎ、裸足で海中に入った。水温は 25.7°C であったが、砂地が非常に熱くて静止できない状態であった。付近では硫黄臭がやや認められた。化学成分を当量濃度にして比較すると、陽イオンは Na がいちばん多く、ついで Mg, Ca となり、陰イオンは Cl が最も多く、ついで SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> となる。HCO<sub>3</sub> は、陽イオンの総量から Cl と SO<sub>4</sub> の分を差引いた残りとして計算した。この温泉は海岸に湧出するので、その水質を海水と比較したのが第3表である。Cl との重量比をみると、組成が海水に近いものであることがわかる。



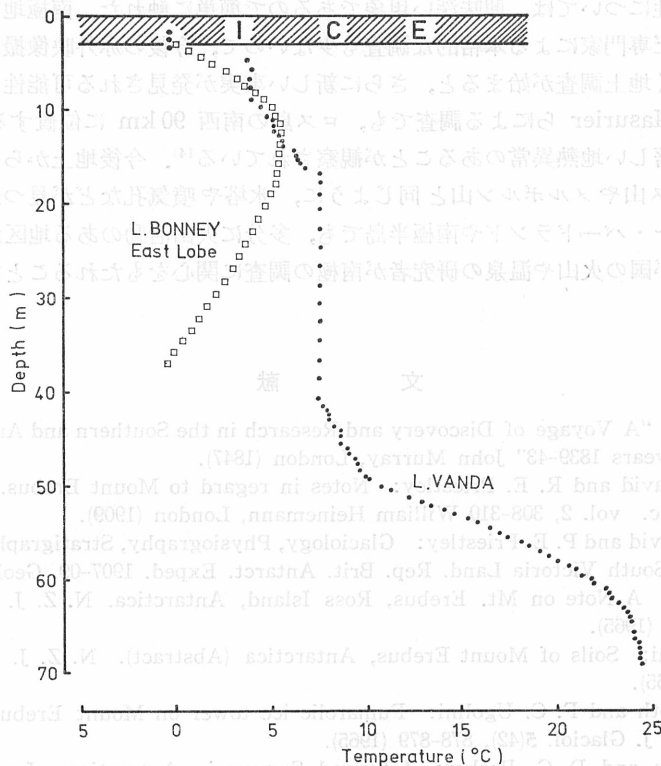




によると、今では20近くのオアシスが発見されており、その大きさは数100 km<sup>2</sup> から4000 km<sup>2</sup> のものまである<sup>20)</sup>。氷の南極大陸で、なぜオアシスが存在するか。その成因については各国隊によって調査されてきたが、最近では、特殊な気象条件に支配されることがいちばん大きな原因とされている。後述のドライバレー地域の研究によっても、内陸高原からの烈しい斜面下降風が吹くと、沿岸近くの一部の地形では、断熱圧縮をうけて一種のフェーン現象がおこり、気温の急上昇と相対湿度の低下をもたらす、その結果、無氷雪の地域が生まれるとわかった<sup>21)</sup>。しかし、1947年2月、アメリカ隊が始めて東南極の沿岸を航空偵察し、およそ600 km<sup>2</sup> の露岩面積をもつバンガーオアシスを発見したときは、ほとんどの科学者は火山活動による地熱の異常や、温泉の存在などを予想して大きな話題となっている。南極のオアシスには、その名がつけられたように、池や湖が多い。とくに、最大のオアシスとして知られるロス海西岸のドライバレー地域には、大小さまざまな湖沼があって、なかには海水の数倍という塩分を含む塩湖が発見されている。ここでは、これらの塩湖の中で、水温が25°Cというバンダ湖が、今もってその高温の由来について議論されているので、その概況を述べる。

4-1. バンタ湖の水温

ドライバレーには、北から南へ Victoria, Wright, Taylor の三つの大きな谷が、西の内陸



第12図 ドライバレー塩湖の水温分布

高原から東方のロス海へ向って走っている。そしてライト谷にはバンダ湖、テイラー谷にはポニー湖、フリクセル湖という三つの代表的な塩湖がある。その水温の垂直分布をみると、第12図に示すように、バンダ湖の水温は下へゆくほど上がり、底層近くでは  $+25^{\circ}\text{C}$  という高温となる。またバンダ湖の底層水は、海水の約6倍の塩分を含む。

この底層水の高温の原因については、太陽放射説<sup>21), 22), 23)</sup>や地熱説<sup>21), 24), 25), 26)</sup>があり、また塩分の起因については熱水説<sup>25)</sup>、風送塩説<sup>27)</sup>、既存の塩類堆積物説<sup>28)</sup>、海水起因説<sup>29)</sup>などが提出されている。アメリカ、ニュージーランド、ソ連、それにわが国の調査隊が1961年以来、毎年夏になると調査しているが、最近ドライバレー掘削調査のプロジェクトが国際協力で実施され、ようやくこれらの論争に終止符がうたれる見通しとなった。

今までの筆者ら日本隊の調査によると、水温の高い原因としては太陽放射説によること<sup>30), 31)</sup>、また主な塩分の起因として海水によることなどの意見が支配的である。また、ドライバレー掘削プロジェクトによるバンダ湖底の掘削コアからの研究でも、上記の説が妥当となってきた感がある。しかし、ドライバレー塩湖の水温に関する研究には、この地域が前述のロス海西岸の火山帯にあるという事実から、今後ともさらに地球物理学的な調査が行なわれることを望みたい。

## 5. おわりに

南極の温泉という表題ではあったが、火山活動を中心として調査概要を述べた。またバンダ湖の水温の異常性については、興味深い現象であるので簡単に触れた。南極地方の火山や温泉については、未だ専門家による本格的な調査も少ないので、今後の赤外映像撮影による航空調査、それにつづく地上調査が始まると、さらに新しい事実が発見される可能性が大きい。

1967年のLeMasurierらによる調査でも、ロス島の南西90 kmに位置するMorning山は、頂上付近に著しい地熱異常のあることが観察されている<sup>14)</sup>。今後地上からの調査が行なわれると、エレバス山やメルボルン山と同じように、氷塔や噴気孔などが見つかるかも知れない。また、メリー・バードランドや南極半島でも、多分に火山活動のある地区が発見されるだろう。今後、わが国の火山や温泉の研究者が南極の調査に関心をもたれることを望む次第である。

## 文 献

- 1) J. C. Ross: "A Voyage of Discovery and Research in the Southern and Antarctic Regions during the years 1839-43" John Murray, London (1847).
- 2) T. W. E. David and R. E. Priestley: Notes in regard to Mount Erebus. The Heart of the Antarctic. vol. 2, 308-310 William Heinemann, London (1909).
- 3) T. W. E. David and P. E. Priestley: Glaciology, Physiography, Stratigraphy and Tectonic Geology of South Victoria Land. Rep. Brit. Antarct. Exped. 1907-09, Geol. 1 (1914).
- 4) A. C. Beck: A Note on Mt. Erebus, Ross Island, Antarctica. N. Z. J. Geol. Geophys. 8(2), 180-185 (1965).
- 5) F. C. Ugolini: Soils of Mount Erebus, Antarctica (Abstract). N. Z. J. Geol. Geophys. 8(2), 397 (1965).
- 6) G. Holdsworth and F. C. Ugolini: Fumarolic ice tower on Mount Erebus, Ross Island, Antarctica. J. Glaciol. 5(42), 878-879 (1965).
- 7) W. G. Burge and D. C. Parker: Infra-red Survey in Antarctica: Imagery Analysis. Univ. of Michigan. Willow Run Laboratories Report. 1160-9-F (1969).

- 8) W. F. Giggenbach, P. R. Kyle and G. L. Lyon: Recent Volcanic Activity on Mount Erebus, Ross Island, Antarctica. *Geol.* **1**, 135-136 (1973).
- 9) G. L. Lyon and W. F. Giggenbach: Geothermal Activity in Victoria Land, Antarctica. *N. Z. J. Geol. Geophys.* **17**(3) 511-521 (1974).
- 10) H. Tazieff: 私信 (1975).
- 11) R. G. Adamson and R. J. Gavaney: Volcanic Debris-layers near Mount Melbourne, Northern Victoria Land, Antarctica. *N. Z. J. Geol. Geophys.* **10**(2), 418-421 (1967).
- 12) S. Nathan and F. J. Schulte: Recent Thermal and Volcanic Activity on Mount Melbourne, Northern Victoria Land, Antarctica. *N. Z. J. Geol. Geophys.* **10**(2), 422-430 (1967).
- 13) E. P. Kiver and W. Lokey: Summit Firn Caves, Mount Rainer, Washington. *Geol. Soc. Am. Abster.* **5**, 66-67 (1973).
- 14) W. E. LeMasurier and F. A. Wade: Fumarolic Activity in Marie Byrd Land, Antarctica. *Sci.* **162**, 352 (1968).
- 15) C. Wilkes: Narrative of the U. S. Exploring Expedition, during the years 1838, 1839, 1840, 1841, 1842, 1-V, Atlas. Philadelphia, Lea and Blanchard. (1845).
- 16) Polar Record: Volcanic Activity at Deception Island, South Shetland Islands, 1967. **14**(89), 229-230 (1968).
- 17) P. E. Baker: Investigation of the 1967 and 1969 Volcanic Eruptions on Deception Island, South Shetland Islands. *Polar Record*, **14**(93), 823-827 (1969).
- 18) C. H. Shultz: Eruption at Deception Island, Antarctica, August 1970. *Geol. Soc. Am. Bull.* **83**, 2837-2842 (1972).
- 19) O. Orheim: Volcanic Activity on Deceptin Island, South Shetland Islands. *Antarctic Geology and Geophysics*. ed. by R. J. Adie. 117-120, Universitet Forlaget, Oslo. (1972).
- 20) I. M. Simonov: Oasis of East Antarctica, Hydrometrological Publishing Office, Leningrad. (1971).
- 21) K. B. Armitage and H. B. House: A Limnological Reconnaissance in the Area of McMurdo Sound, Antarctica. *Limnol. Oceanog.* **7**, 36-41 (1962).
- 22) A. T. Wilson and H. W. Wellman: Lake Vanda: an Antarctic Lake, *Nature*. **196**, 1171-1173 (1962).
- 23) R. A. Hoare: Problems of Heat Trasfar in Lake Vanda, A Density Stratified Antarctic Lake. *Nature*, **210**, 787-789 (1966).
- 24) E. E. Angino and K. B. Armitage: A Geochemical Study of Lake Bonney and Vanda, Victoria Land, Antarctica. *J. Geol.*, **71**, 89-95 (1963).
- 25) E. E. Angino, K. B. Armitage and J. C. Tash: A Chemical and Limnological Study of Lake Vanda, Victoria Land, Antarctica. *Univ. Kansas Sci. Bull.*, **45**, 1097-1118 (1965).
- 26) R. A. Ragotzkie and G. E. Likens: The Heat Balance of Two Antarctic Lakes. *Limnol. Oceanog.* **9**(3), 412-425 (1964).
- 27) R. A. Ragotzkie and I. Friedman: Low Deuterium Content of Lake Vanda, Antarctica. *Science*. **148**, 1226-1227 (1967).
- 28) A. T. Wilson: Evidence from Chemical Diffusion of a Climatic Change in the McMurdo Dry Valleys 1200 years ago, *Nature*, **210**, 176-177 (1964).
- 29) H. Craig: Origin of the Saline Lakes in Victoria Land, Antarctica. *Trans. Am. Geophys. Union*, **47**, 112 (1966).
- 30) Y. Yusa: The re-evaluation of Heat Balance in Lake Vanda, Victoria Land, Antarctica. *Contrib. Geophys. Inst. Kyoto Univ.* **12**, 87-100 (1972).
- 31) 由佐悠紀: 南極ビクトリアランドの塩湖の水温について、水温の研究. **17**(4), 2-13 (1973).

	0.120	—	Brond land
	0.120	0.202	小
	—	3.2	Pathe
1980年までの計画	0.202	75	Cerro Prieto
	0.202	78.5	小