

ニュージーランド ホワイト島の 火山活動と科学掘削計画について

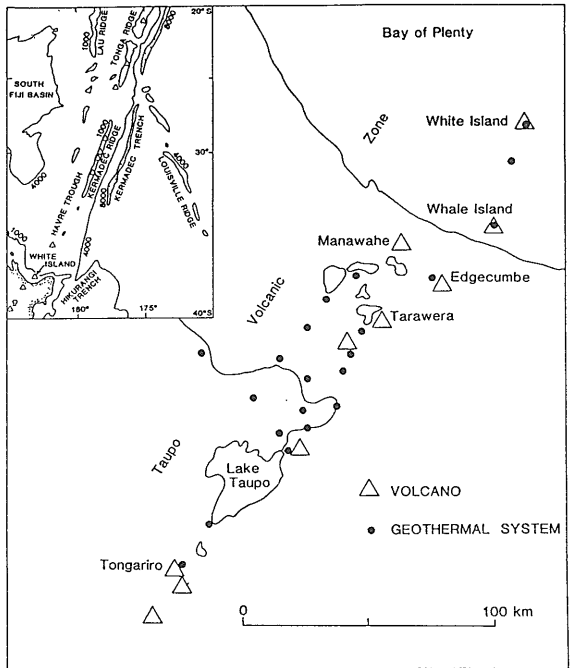
玉生志郎¹⁾

1. はじめに

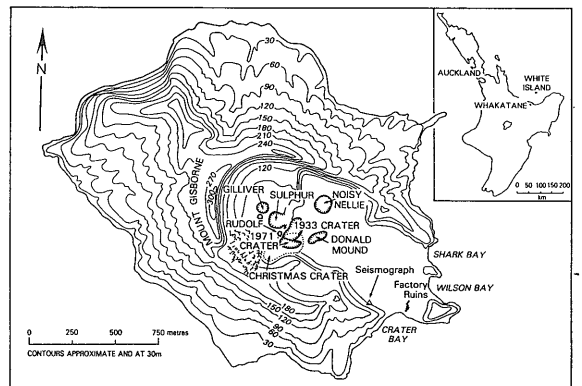
本誌(1991年2月号)の表紙およびグラビアには、ニュージーランド、ホワイト島の魅力的な火山活動の写真および簡単な説明文が掲載されている(Giggenbach ほか, 1991)。私は昨年秋にホワイト島を垣間見る機会を得たので、グラビアの説明を補充する意味で、主に文献をもとに、この島の火山活動の概要を紹介することにした。また、この火山島においてはニュージーランド科学技術研究省(以後 DSIR と略記)により火山・地熱系の解明を目指した科学掘削計画が計画されている。この計画の立案にあたって中心的な役割を果たした J. W. ヘデンクイストさんが、1988年度より日本の地質調査所の職員になったことから、地質調査所と DSIR の間の情報交換が積極的に行われるようになり、1990年7月には両者の間で地球科学分野の協力に関する了解覚書(MOU)が交わされた(本誌昨年10月号59ページ参照)。DSIR はホワイト島での科学掘削計画について、アメリカ地球物理学連合(AGU)の会報 EOS の VGP ニュースに詳しく紹介し、世界各国にプロジェクトへの参加を呼びかけるとともに(Giggenbach et al., 1989)、特に日本に対して熱い期待をよせている。一方、地質調査所では鉱物資源部、地殻熱部、環境地質部、地殻物理部の研究者を中心にこの計画について深い関心を寄せている。そこで、今回編集委員会からの依頼に応じて、地質ニュースにホワイト島の火山活動と科学掘削計画について紹介することにした。

2. ホワイト島の火山活動

ホワイト島は第1図に示す通り、ニュージーランド北島の北方約50kmの海上に浮かぶ火山島で、タウポ火山帯の北端に位置する。1976年噴火以前のホワイト島の火口の分布は第2図に示す通りである。現在の火口の配列



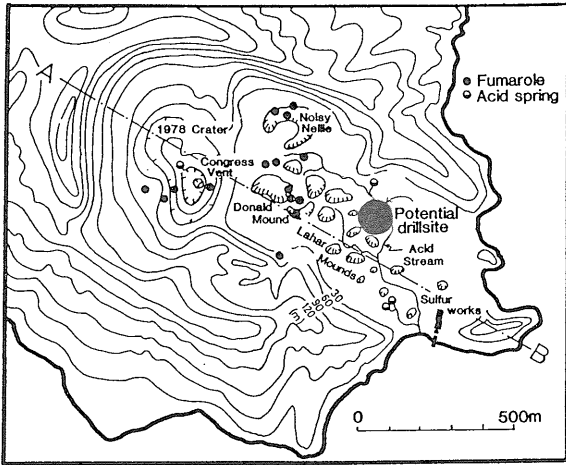
第1図 ホワイト島とタウポ火山性地帯内の火山・地熱地帯の位置図(Giggenbach et al., 1989)。



第2図 1976年当時のホワイト島の火口分布(Nairn and Houghton, 1989)。

1) 地質調査所 地殻熱部

キーワード: ニュージーランド, ホワイト島, タウポ火山帯, 火山活動, 科学掘削計画



第3図 現在のホワイト島の火口・噴火地点の分布と掘削予定地点 (大きな黒丸)。(Giggenbach et al., 1989)

は、基本的には第3図に示したようなものとなっているが、1990年秋の噴火で1978年火口と कांग्रेस火口が一つの火口となってしまっているようである。以下、ホワイト島の火山活動をニュージーランド地質調査所報告 No. 103 (Houghton and Nairn, 1989) に基づいて紹介する。この報告書では特に1976-82年の火山活動について詳しく紹介しているが、その他の火山活動についても触れられている。またこの報告書に収められている論文は第1表に示す通り、10編におよぶ。

1976-82年の火山活動は過去100年間で最も激しく長いものであり、かつこの活動によって初めて初生的な玄武岩質安山岩の噴火が生じた。まず、この噴火に先だて、主火口では200mmを越える火口底の上昇が認められるとともに、ドナルド丘の噴気帯で2次的な隆起が認められた。また、当噴火の3年前の1973年に始まった主火口周辺での磁気強度の減少は、その火口の下部で噴火以前にかなりの温度上昇が起こったためと解釈されている。1976年に入ると1971年火口の西壁で高温の噴気現象が現れた。1976年12月16日に地震計の無線テレメータを設置すると、その2日後から噴火活動が始まった。この噴火期間中に噴火口および陥没火口は、第4図、第5図に示すように位置を順次変化させた。

1976-82年の噴火活動は新たに玄武岩質安山岩マグマが貫入したために生じたもので、1977年中頃にはマグマは最も浅部まで上昇し、噴火活動、火口の隆起、負の磁気強度異常がピークに達している。地形の変位測定に基づくモデルによると、マグマは地下200-300m付近まで貫入したと考えられている。そして、マグマおよびマグマ性ガスは火道周辺に発達している酸性、高塩濃度の熱

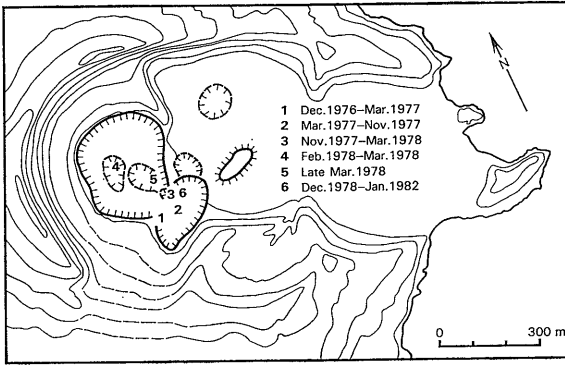
第1表 ニュージーランド地質調査所報告 No. 103 「ニュージーランド、プレントゥー湾ホワイト島での1976-82年噴火活動について」に収録されている論文一覧表

1. ホワイト島での1976-82年噴火以前の火山モニタリングと監視 (Clark and Cole)
2. ホワイト島での1976-82年マグマ水蒸気噴火とストロンボリ噴火：噴火記録 (Houghton and Nairn)
3. ホワイト島での1976-82年噴火中の陥没火口の形成と主火口の形態変化 (Nairn and Houghton)
4. ホワイト島での1976-82年マグマ水蒸気噴火とストロンボリ噴火：堆積物と堆積機構 (Houghton, Nairn and Scott)
5. ホワイト島での1976-82年マグマ水蒸気噴火とストロンボリ噴火によってもたらされた噴出物の岩石学 (Cole and Graham)
6. ホワイト島での1976-82年噴火に伴う変位モニタリング (Clark and Otway)
7. ホワイト島での1976-82年噴火に伴う地震活動 (Latter, Scott and Dibble)
8. ホワイト島での1976-82年噴火に伴う磁場の強度変化 (Christoffel)
9. ホワイト島での1972-85年間の噴気ガスの温度と化学組成の変化 (Giggenbach and Sheppard)
10. ホワイト島での1976-82年マグマ水蒸気噴火とストロンボリ噴火のモデル (Houghton and Nairn)

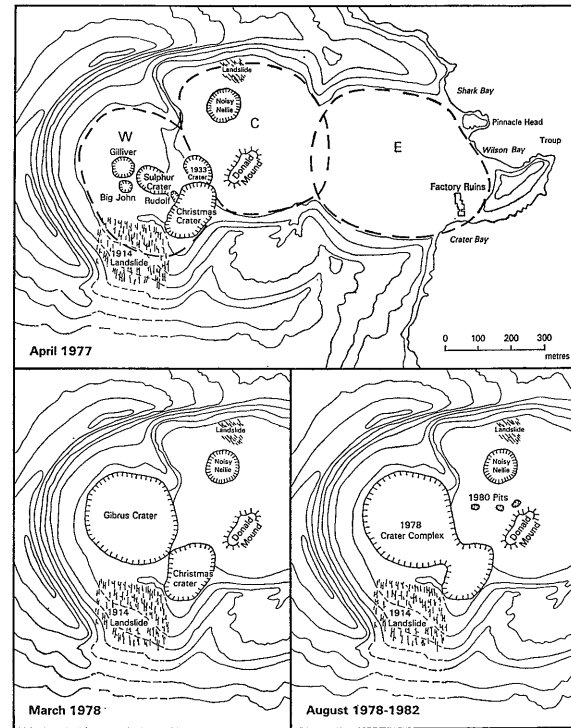
水系と反応したと思われる (第6図)。

最近のホワイト島での火山活動は、先歴史時代に形成された西側、中央、東側の三つの準火口のうち西側周辺のみで生じている。ここで言う準火口とは、深い盆状構造をもった直径300-500mの円形の陥没地形である (第5図)。1976年の噴火以前は、この盆地は再堆積した変質火砕岩および堆積岩で埋積されていて、その中を火山ガスで酸性化した地下水が充填していた。ここにマグマが上昇してきたために、湿った堆積物は再流動化し、最初の噴火にもなる水蒸気やガスといっしょに地表に噴出した。そのため、上昇マグマの上部に空洞ができ、火口を埋めていた堆積物が崩落して、垂直に切り立った。大きな陥没火口が形成された。これは1914年に生じた火口東壁の崩壊にもなる火山泥流発生以来の、壮観な地形変化であった。

1977年のクリスマス火口と1978年のギブルス火口の陥没により、地表水が火口に流入するようになると、地下の水理系は大きく変化した。それに伴い、噴火様式や噴気放出の時系列変化にも影響がでて、部分的なフィードバックが起こるようになった。ホワイト島での1976-82年噴火の多くは、浅所まで貫入したマグマと地下水または地熱性高塩熱水の相互反応に大きく影響を受けている。噴火はまず火道を塞いでいる物質を吹き飛ばすマグマ水蒸気爆発から始まり、次いでマグマが大気と直接接するようになるとストロンボリ噴火に移行し、最終的に



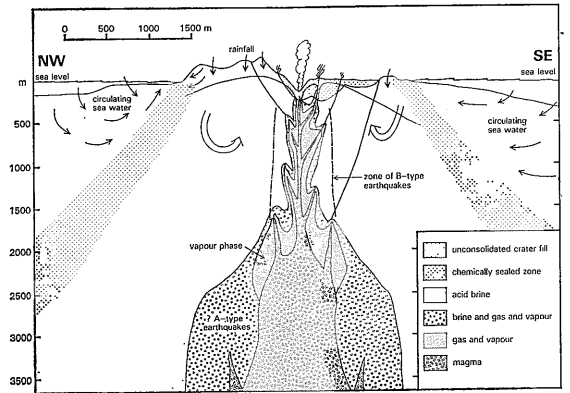
第4図 1976-82年噴火中に生じた一連の火口の位置 (Houghton and Nairn, 1989b).



第5図 1976-82年噴火で生じた陥没地形の分布図, 1977年4月時点のW, C, Eはそれぞれ存在が予想された準火口群 (Nairn and Houghton, 1989).

は火道が塞がって噴火は終了する。火山噴出物は降下火山灰, 放出火山弾, サージ堆積物などからなる。主火口の周りにはタフリングが出来ているものの, 一般に火口底は陥没しており, たいていの場合, 火山灰は周辺海域や山体の外側に堆積している。

1976-82年の噴火中の地震活動はほとんど記録されたものの, 1台の地震計のみであったため詳しい震源決定



第6図 地震, 地化学, 構造調査から推定されたホワイト島の地下構造・水理モデル (Houghton and Nairn, 1989b).

は不可能であった。大量の火山灰噴火に伴う高圧ガスの放出が発生する時には, 火山微動や微小地震が激しくなった。火口の陥没時には, 時々高周波の火山-構造性的地震が起こった。低-中周波の火山性地震は一般に地表での噴火活動と関連していなかった。噴火性的地震はいつもではないが, 一般に噴火に伴って起こっていた。大きな噴火は不連続な地震活動を伴っていたが, いくつかの主要な地震は噴火と関連していなかった (第2表)。

1986年の短期間の微小地震観測では, 低周波の火山性地震が火口の周辺数100mの範囲に起こっている事を明らかにした。これはマグマと水の反応が数kmにおよぶマグマ貫入岩の範囲で起こったことをしめしている (第6図)。この地震観測データは地形, 磁気, 岩石, 化学などの観測データと相まって, ホワイト島の総合的な火山・構造モデルを構築する上で大いに役立った。本島の深部になりの量のマグマが存在していることは, 長期にわたるSO₂ガス(400t/d)と対流熱(400MW)の放出量から予測することができる。ホワイト島の周りの海洋性堆積物は本島の火山活動が1万年以上続いていることを示している。そうすると, 本島にはいままでに数10km³のマグマが供給されたことになる。1976-82年の噴火のモデルに基づくと, この時は相対的に少量のマグマ(10⁶-10⁷m³)が1kmの深さにゆっくりと上昇してきたと考えられる。噴火が始まった時, 既存の, しかし塞がっていた火道は地表まで押し広げられた。噴火が長期間継続した原因は, マグマが高温の熱水系に覆われていて地下水で急冷されなかったためと思われる。閉じ込められた熱水系の中の, 大量な, しかし局在していた地下水は, 1976-82年の火山活動の噴火様式とメカニズムに最も大きな影響を与えた。ホワイト島の火山活動は水に富んだ火山-熱水系で生じたという特徴を有し, モニタリング

第2表 1976-82年噴火中の地震活動と噴火との関連 (Latter, Scott and Dibble, 1989)

時期	地震活動	噴火活動	摘要
1976. 12. 16-19	高一中周波火山性微動	水蒸気火山灰	噴火活動の開始
1976. 12. 19-22	Aタイプ地震	水蒸気火山灰	クリスマス火口の陥没
1977. 3	不明	マグマ噴火	地震計故障
1977. 6	微小地震, Bタイプ地震	火山灰	火山噴出物中のマグマ成分増大
1977. 10	Aタイプ地震群発, その後Eタイプ, Cタイプ地震	火口陥没と爆発的噴火	クリスマス火口の拡大と不連続なマグマ水蒸気噴火
1978. 2	Aタイプ地震群発, その後火山性微動	マグマ水蒸気噴火	ギリバー火口への火道の再開
1978. 3	高一中周波火山性微動, Cタイプ, Eタイプ地震	烈しい大量のマグマ水蒸気噴火	ギブルス火口の形成
1978. 4-6	多数のBタイプ地震	観測されず	バックランドの地震活動
1978. 6	火山性微動		クリスマス火口に2つの小孔が発生
1978. 8-10	Bタイプ, Cタイプ地震	観測されず	バックランドの地震活動
1978. 11	高一中周波火山性微動	マグマ水蒸気噴火	新火口の形成
1978. 12-1979. 1	高一中周波火山性微動, Aタイプ地震	マグマ水蒸気噴火	火口の拡大, 新しいマグマの放出
1979. 3	Cタイプ地震の群発	データなし	
1979. 4	Cタイプ地震の群発	ストロンボリ噴火	主要なマグマ噴火
1979. 6	Aタイプ地震の群発, 火山性微動	データなし	多分, マグマの貫入
1979. 7-1980. 1	微小地震とBタイプ地震	マグマ噴火 (ストロンボリ式)	84-90% 初生マグマ成分
1980. 2	Eタイプ地震	不連続なマグマ水蒸気噴火	
1980. 4	微小地震の増大, わずかなBタイプ地震	ストロンボリ噴火	相対的にわずかな噴火
1980. 5-8	中一強度微小地震 Eタイプ地震	マグマ性およびマグマ水蒸気噴火	この時期の終りにむかって火山性微動は微小地震に入れかわる
1981. 1-2	Eタイプ地震, 火山性微動	マグマ水蒸気噴火	海岸で降灰
1981. 6	Aタイプ地震の群発	観測されず	
1981. 9-1982. 1	Bタイプ地震	マグマ水蒸気—マグマ活動	

で観測されたパラメータにも地下水の影響が表れている。現状のままのマグマの供給割合および噴火の発生割合であれば、地下水は火山—熱水系の変化に対して緩衝的な役割を果たして、活火山の火口表面を絶えず海面付近に一定に保つよう、働いていると思われる。

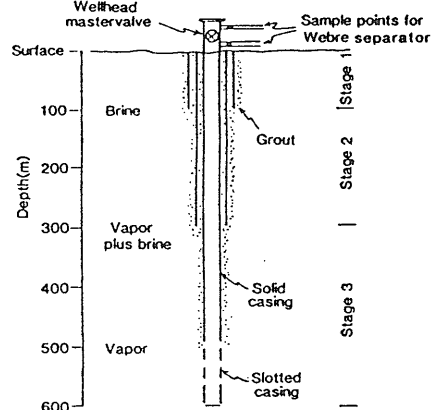
3. ホワイト島における火山・地熱系解明のための科学掘削計画

この計画についてはEOSのVGPニュースをもとに玉 1991年2月号

生・宮崎 (1991) が紹介記事をかいているので、ここでは、計画の概要を紹介するととめる。

ホワイト島ではいままでの地表調査、特に噴気ガスの調査によりグラビアの第8図に示されたような火山・地熱系モデルが作られている。そのモデルに基づくと、ホワイト島の地下600m以深にはマグマ溜りが存在し、その周りをマグマから分離した蒸気、およびこの蒸気が熱水中に吹き込んで形成された高温の塩水が取り囲んでいると考えられている。そこで、この高温の蒸気層に達する600mのボーリングを行い、これらの蒸気および熱水の存在を実証するとともに、その物理的、化学的特徴を明らかにしようとするものである。掘削予定地点は第3図に示すように、コングレス火口の600m東、ドナルド高温噴気丘の300m東を想定している。ボーリングのケーシング・プログラムは第7図に示すようなもので、100m, 300m, 600mの各掘削深度で各種検層を行うとともに、熱水採取を行う予定になっている。このような調査は、資源開発の観点から言えば火山性地熱資源や熱水性金鉱床の研究に相当し、また防災の観点から言えば噴火予知、火山防災の研究に相当するものである。

このプロジェクトが実施されれば第3表に示したような成果が期待されるので、地質調査所としてもプロジェクトに参加できるよう関係機関に積極的に働きかけているところである。



第7図 掘削坑井のケーシング・プログラム (Giggenbach, et al., 1989).

第3表 科学掘削計画で期待される成果¹⁾ (Giggenbach et al., 1989)

- 1) 火口底の地下浅部の堆積物の地質・層序を調査して、火山活動史と火口の形成過程を明らかにする。
- 2) 掘削岩芯の熱水変質鉱物と採取熱水の化学組成の分析を行い、地下の熱水系の化学・同位体化学に関する情報を得る。特に、塩類に富んだ流体の中性化および鉱化作用の際に起こる化学反応を掘削によって検証する。
- 3) 岩石の物理特性（密度、空隙率、磁化率、帯磁率、電気伝導度、誘導磁気極性効果）の測定、およびその物性値の深度方向と変質に応じた変化の度合を測定する。このデータは噴火予知のモニタリング・データの解釈に重要な役割を果たす。
- 4) 深度別の流体採取を行い、マグマ溜を取り囲んでいる、希釈されていない塩水の化学特性を明らかにする。
- 5) 掘削坑井内において温度検層、圧力検層（または、水位測定）および注水テストを行い、地層の透水性や流体流動の特性を明らかにする。
- 6) この研究から得られる金属元素の含有率は、成層火山の上部に形成される鉱床の成因を考察する上で大変貴重な基礎データとなる。
- 7) 坑井内水位、圧力、温度、化学組成の変動を観測することで、短期の噴火予知に役立たせる。また、潮汐効果の遅れを測定して、広域的な透水率を推定する。
- 8) ホワイト島は小規模なドライ型とウェット型の噴火を繰り返して行っている。そのため、マグマと地表水の反応を調べるには最適な場所と考えられる。本研究により噴火前の水相の状態、噴火の引金としての降水の役割、マグマと水の反応を制御するメカニズムなどについて情報が得られる。

文 献

Giggenbach, W. F., Hedenquist, J. W., Houghton, B. F., Otway, P. M. and Allis, R. G. (1989): Research drilling

into the volcanic hydrothermal system on White Island., New Zealand-VGP News, EOS, 70, no. 7, 98-100, 108-109.

Giggenbach, W. F., 佐藤興平, Hedenquist, J. W. (1991): ニュージーランド White Island のマグマ熱水系. 地質ニュース no. 438, 1-4.

Houghton, B. F. and Nairn, I. A. ed. (1989a): The 1976-82 eruption sequence at White Island volcano (Whakaari), Bay of Plenty, New Zealand. New Zealand Geol. Surv. Bull. no. 103, 139p.

Houghton, B. F. and Nairn, I. A. (1989 b): A model for the 1976-82 phreatomagmatic and strombolian eruption sequence at White Island volcano, New Zealand. New Zealand Geol. Surv. Bull. no. 103, 127-136.

Latter, J. H., Scott, B. J. and Dibble, R. R. (1989): Seismic activity associated with the 1976-82 eruption sequence at White Island volcano. New Zealand Geol. Surv. Bull. no. 103, 85-107.

Nairn, I. A. and Houghton, B. F. (1989): Formation of collapse craters and morphological changes in the main crater of White Island volcano during the 1976-82 eruption sequence. New Zealand Geol. Surv. Bull. no. 103, 25-34.

玉生志郎・宮崎芳徳 (1991): ニュージーランド、ホワイト島における火山・地熱系解明のための科学掘削計画について、地熱 no. 116, 52-60.

TAMANYU Shiro (1991): Volcanic activity and research drilling at White Island, New Zealand.

<受付: 1991年2月1日>

地学と切手



ト ン ガ 諸 島 の 火 山

P. Q.

山を表している。右の見事な円垂形の島はカオ島であるが、活火山カタログでは記載されていない。かえって切手のカタログにはカオ火山となっている。

左の噴煙を上げているトファ火山は海拔 506m, 海底下から 1,800m の火山である。頂部には直径 5 マイルのカルデラがあり、ほぼ海面に等しい汽水の湖を有している。カルデラの北東から北にかけて火口があり、もっとも西の 200×300m の大きさの円垂丘が一番活動的である。噴火は 1774 年から記録されており、20 世紀に入ってから 1906 年, 37 年, 39 年, 55 年, 58-59 年と知られている。岩は SiO₂ 約 54% の普通輝石安山岩である。ちなみにこの火山はバウンティ号の反乱で漂流したブライ船長とその部下の到着した島として知られている。

切手は 1896 年に発行されたもの。

トンガは南太平洋でサモアの南にあるイギリス保護領の王国である。大小 150 余りの島々からなり、面積は総計して 640km²、人口は約 90,000 人 (1976 年) である。その東側をトンガケルマデク海溝が走っている。

島は北からヴァヴァウ、ハーバイ、トンガタブの 3 つの群に分れ、北北東-南南西に並んでいる。しかし活火山はそれより西側約 30km のところに並列している。カタログには 10 コの活火山が記載されているが、その中の南の 5 コは海底火山である。

画面は中央のハーバイグループのカオ火山とトファ火