

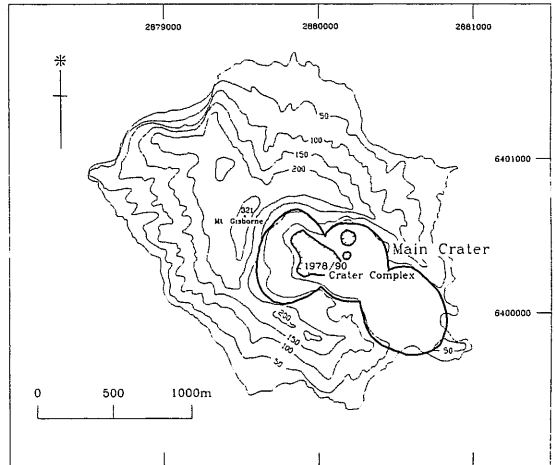
# ニュージーランド, ホワイト島火山の 地形図作成

安田 聰<sup>1)</sup>・西 祐司<sup>2)</sup>・杉原光彦<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

それは階段での立ち話から始まった。  
「今度ホワイト島という火山島の地形図を作りたいと  
思っているんですが…」と地殻熱部の当舎さんからの  
技術的相談に始まり, 何度か話しを重ねるうちに  
ニュージーランドとの共同研究の一環として, この火山  
島の地形図を作ることになった。さらに, 「飛行機は  
苦手だから」と固辞していたのだが, 現地での測量  
のために私にとって初めての海外出張をすることと  
なってしまった。「あの火山島はすぐ噴火するかも  
…」, 「ヘリコプターは危ないぞ」, 「和食派は食べ物  
で苦勞するよ」などと, 出張前には同僚らから色々  
と脅かされもしたが, 幸い噴火にも遭わず痩せもせ  
ず, 同行した小川さんの堪能な会話力と助力もあり,  
何の不自由もなく無事帰ってくる事ができたので  
その概要を紹介する。

ホワイト島火山(第1図)は, 本誌にも何回か登場  
した(Giggenbachほか, 1991; 玉生, 1991; 西・  
杉原, 1992)ニュージーランドにある世界でも有数の  
活動的な活火山であり, 従来の研究により浅部にお  
けるマグマおよび火山熱水対流系の存在が推定され  
ることから, 火山・地熱・鉱物資源等の各方面で  
学問的にも注目され, 科学的掘削調査の国際共同  
計画が提案されている(Giggenbach et al., 1989)。  
地質調査所もニュージーランドの地質・核科学研究  
所(Institute of Geological and Nuclear Sciences  
以後IGNSと略記)との共同研究として, 平成4年度  
および平成5年度に微小地震の調査を実施し, 同島  
における微小地震の震源分布を初めて明らかにし  
たり(Nishi et al., 1996), 観測中に起こった噴火地  
震の解析を行ったり(杉原・西, 1994)している。



第1図 ニュージーランド ホワイト島火山(Nishi et al.  
(1996)による)。これが今まで使われてきた最  
も詳細な同火山の地形図。

平成7年度においても, 科学技術振興調整費によ  
る個別重要国際共同研究「ホワイト島火山の構造調  
査」がIGNSと地質調査所の共同で実施されること  
になった。その一環として1996年3月に私も調査に  
行くことになった。今回は, 地質調査所が自然電位  
法・ANT(audio-magnetotelluric)法等の調査,  
IGNSが地磁気全磁力連続観測を実施し, これらの  
電磁気学的調査の結果と過去に実施した地震学的  
調査を併せた同火山の地球物理学的モデルを構築  
し, 将来の科学的掘削調査の基礎資料を提供する  
ことがプロジェクトの目的である。プロジェクト全体  
の概要については, グループ長である当舎さんの紹  
介(当舎, 1996)を参照されたい。

これらの研究のために, そして今後実施されるで  
あろう各種調査のためにも, 基礎的資料として地形

1) 地質調査所 地質情報センター  
2) 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, 火山, 地熱, 地図  
作成, New Zealand, White Island, volcano, geot-  
hermy, mapping

図は不可欠である。しかし、ホワイ島全体を含んだ縮尺の最も大きな地図は、ニュージーランドの国土地理院にあたるDOSLI (Department of Survey and Land Information) の発行している5万分の1の地形図(等高線間隔20m)のみであり、大きさ約2km×1.5km、最高標高321mの小さな火山島の調査のためには十分とはいえない。この火山の各噴火ステージで火口付近の地形が変わったときにはIGNSが火口付近の地形特徴図を作っていますが、これも詳細な地形図というものではない。1992年の調査では、共同研究相手であるDSIR(現在のIGNSの前身)には地震計設置点の特定のためには十分な精度の地形図がなかったため、DOSLIに問い合わせたところ、DOSLIの窓口で上記の地図とDSILの共同研究者を紹介されたそうである。第1図は1992年の調査データを基にした論文にも使われた図であるが、これが現在までのこの火山の最も詳細な地形図ともいえる。このため、今回の調査においては新たに地形図も作成することになった。今回のニュージーランド調査の中で、私が中心となって担当したのは、この新しい地形図作成のための標定点測量(写真測量に使う基準点を求める測量)を行うことであった。

## 2. ニュージーランド国へ

ニュージーランド(第2図)は南緯34~48度、東経166~179度で日本の南南東約9,000kmに位置する人口約350万人の国で、南北2つの主島と付近の島々からなっている。面積は北島が約11.5万km<sup>2</sup>、南島が約15.4万km<sup>2</sup>で2つの島はともに南北に細長く両島の北端から南端までは約1,700kmで日本の約70%の広さである。海洋性気候のため1年中家畜の屋外飼育が可能で、国土の50%が牧場や牧草地に利用され、人口の20倍の約7,000万頭もの羊がいたるところに放牧されている純然たる牧畜の国である。北島には火山と温泉、南島にはクック山を含む氷河地形が発達している。

1996年3月12日17時05分発JL090便で成田空港を定刻に出発した。同行者は電磁気法調査を行うために調査に加わった地殻物理部の小川さん。機内は空いていたのでゆっくりと座れた。機内食(夕食)頃からガタガタと揺れだしシートベルト着用の警報ランプが点灯し、なかなか消えない。そんな状態



第2図 ニュージーランド位置図

が長く続いていると慣れてしまっていて揺れているのが当り前ようになってしまった。赤道を越えるあたりが最高に揺れた。エアポケットにスーと落ちては上昇することを2、3回繰り返した時は、後方で若い女性のグループがキャーキャー声を出していた。この世ともお別れかと思った。ワインでも飲んで気を紛らわそうとするが、揺れがひどいためにこぼれてしまい口まで運ぶのに苦労した。そんな中でも旅慣れた同僚は隣のシートで心地よさそうに眠っていた。そんなことで一睡もしない11時間余の長い飛行機の旅の後、ニュージーランドの南島第一の都市クライストチャーチに飛行機が無事着陸した時はホッとした。日本ではまだ明け方だが、ニュージーランドがサマー・タイム制を採用しているこの時期は、日本との時差は普段より1時間多い4時間あり、現地はもう十分に朝だった。乗り継ぎまでかなりの時間があつたため街を散歩したが、緑(トチノキ、シラカバ、シダレヤナギなどの大木)の多い落ち着いた美しい街だった。クライストチャーチから目的地のロトルアまでは首都ウエリントン経由で約2時間、ウエリントンまではAnsett New Zealand航空のジェット機、ウエリントンからロトルアまではNew Zealand航空の双発機での飛行だったが、プロペラ機に乗るのも初



写真1 ニュージーランドホワイト島の全景

初めての経験であった。ロトルア空港に着いた時は既に夕方になっていた。大きな湖のほとりの小さなローカル空港には宿泊先のモーターの管理人さんが迎えに来ていた。宿泊したモーターは、日本で言うモーターとは違い貸マンションのようなもので、ベッドルーム2つがついた2LDKで素泊り1泊6~7千円/室、生活に必要な用具はほとんど整っていて自炊ができるようになっていた。

### 3. ホワイト島へ

ホワイト島はニュージーランド北島の北東岸の都市ファカタネから北北東に約50km、プレンティ湾に浮かぶ直径約2kmほどの小さな無人の火山島で、今も噴火活動が活発である(第1図, 写真1)。活発な火山活動と腐食性の火山ガスのためか植生が少なく、地肌が剥きだしになっていてまるで原始時代の地球である(実際に、しばらく前にNHKで放送された「生命」という科学番組では、その第1回の冒頭のカットはこの島であり、火山の強酸性の環境下に住むバクテリアが原始時代の地球に住んでいたものと同種の生命として紹介されている)。今世紀初頭にはこの島にも硫黄鉱山があり鉱夫らが居住していたが、このような状況のため現在は島内に居住者も宿泊設備もない。

この島に行くには近くファカタネやタウランガから船か、ヘリコプターを使うことになる。島の周りには海食崖による絶壁で大きな船が直接付けられる港はなく、硫黄積み出し用に使われた棧橋も今は壊れてしまっている。このため、船からは沖合いでゴム

ボートに乗り換えて島に少しだけある砂浜に上陸しなければならない。船は往復に時間がかかるだけではなく、砂浜へのゴムボートの使用が可能な海況・風向が整わなければ上陸できず、また島内でもクレーター以外への移動が困難などの欠点も多い。このため、調査のための島への往復はヘリコプターを利用する。ヘリコプターといえどもその運行は天候に大きく左右される。特に島の外側や山頂部に着陸してもらうためには比較的風の弱い好天時をねらわねばならない。ヘリコプターの運航費も安くはないため、何度もフライト出来るわけではない。このため、少ないチャンスを有効に生かすためにも計画は綿密にそして細心の注意を払って行った。フライト出来ない日は休暇となるわけではなく、ニュージーランド有数のワイラケイ地熱地帯で小川さんの電磁気法調査を手伝った(このため、宿泊地はファカタネとワイラケイの中間地点であるロトルアとなっていた)。

到着してから5日目にして準備が整った。一緒に測量する西・杉原両名も既に2ヵ月の滞在期間の帰国予定日が迫っており、天気が気になる。日本ほど頻繁に天気予報が放送されないため、翌日の天気を知るのは午後6時のテレビ・ニュースを聞いてからとなる。夕方、明日はフライト可能かどうかヘリコプターのパイロットに連絡したら多分大丈夫だろうとのことで、待ちに待ったフライトの日がやってきた。当日は、東北工業技術研究所もニュージーランドのIRL (Industrial Research Laboratory) と共同で研究している火山環境下での材料試験の実験設備回収を予定しており、我々は彼等のフライト前に朝早くホワイト島に飛ぶこととなった。

フライト日は3月17日の日曜日。この日はちょうど夏時間から標準時へと戻した最初の日であった。昨夜まで降っていた雨もやみ快晴の下、朝早くロルアのモーターを出発しファカタネ空港まで約1時間を車で移動する。本日のメンバーは凶化用の標定点測量を実施する安田・西・杉原の3名と電磁法探査の小川さんの総勢4名。移り変わる車窓を眺めていると、日本にいるような錯覚にかられる。山があり緑も多く左側通行で走っている車は日本車がほとんど、ただ違うことは、建築様式、放牧地が多いこと、電柱が四角でアルミの胴巻をしていること、電柱に胴巻をしているのはイタチに似たオポッサムが電柱に登り電線を噛み切ってしまうのでその予防だそうである(ちなみに、このオポッサムはもともとはオーストラリアの動物だが、毛皮を目的にニュージーランドに連れて来られ、野性化したものが天敵がないため相当増えているようである。道路上には横断を試み哀れにもペチャンコになったオポッサムが沢山いて、ロルアの土産店ではこの車に轢かれたオポッサムの縫ぐるみまであった)。

ファカタネ空港(調布飛行場の半分くらいの広さ)に予定より30分ほど早く着くとヘリコプターは既に格納庫の前に出ており、パイロットの自家用車もその脇に止まっている。しかし、パイロットも整備員も姿が見えない。ヘリコプターの側でどうしたものかと戸惑っていると、格納庫の建物から眠そうな目をこすりながら一人の男が近づいてくる。これがパイロットのロバート・フレミングさんであった。何でも前の晩に霜害の予防のため徹夜で農場の上、逆転層付近の高度で超低速で飛行し、暖かい空気を畑に送り込むという大変な仕事をしていたそうです。ヘリコプターに荷物を積み込んでいるうちに、東北工業技術研究所とIRLのメンバーも空港に到着した。我々のフライトで余裕のあったシートに東北工研の2名が同乗することになった。ヘリコプターに乗る前にパイロットから万一の不時着水した際の脱出方法の説明があった。これまで何度もこのヘリコプターに乗っている西から一応のことは聞いていたのでなんとなく理解できた。ヘリコプターは川崎重工製のジェット推進の9人乗り(写真2)、最近導入したそうです(以前はヒューズ社の5人乗りであった)。ヘリコプターに乗るのも初めてのこと。パイロットの隣、前席左側に座らせてもらったが足下まで透明なため



写真2 今回の調査に使用したヘリコプター。ファカタネ空港にて出発前の打ち合わせ時に撮影。川崎重工製である。

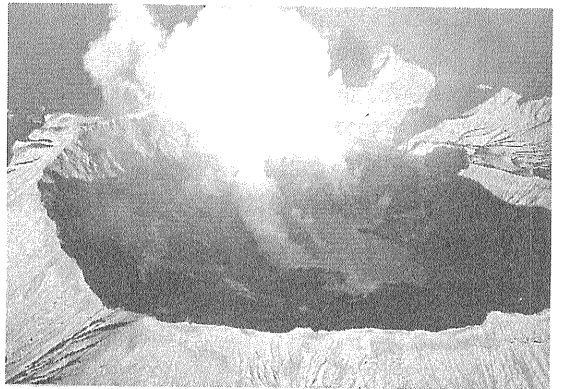


写真3 ヘリコプターから見たホワイト島火山の火口湖。1996年3月17日撮影。1993年まではこの湖の下の3つの噴火口が活動していた。

下を見ると目眩がするから遠くの景色を見ていた。空港からホワイト島まではヘリコプターで約20分。雲間から噴煙を噴き上げている島はすぐ近くに見えるのだがなかなか着かない。だんだんと心臓が激しく鼓動を打つ。ようやく島の上空に到達した。モクモクと吹き上げる噴煙の合間から見える青白い主火口(以後クレーターと表記)湖は神秘的であり恐怖さえ感じた(写真3)。島を一周してクレーターに、しばらくホバーリングしてから着陸したときはホッとした(エンジンに火山灰などの埃を吸い込まないためにホバーリングをして地表の埃を吹き飛ばすそうだ。以前の小さなヘリコプターに比べて現在のヘリコプターはより沢山の埃を巻上げるため、着陸できる地点はクレーター内に数ヶ所とクレーターの外側に2ヶ所だけしかなくなってしまったそうです)。

着陸と同時にパイロットからヘルメットと防毒マスクを渡された。あちこちから噴き上げる噴煙と、防毒マスクをしても鼻をつく硫黄の匂いに無性に恐怖感がつきあげてきた。まさに地獄の世界である。クレーターは東の方向が開けている馬蹄形で長径約1.5km、短径約0.9kmの広さであり、安山岩質と火山噴出物からなる火口壁は絶壁で、その比高は約100～300mもある。このため、クレーターの外へ出るにはよほど岩登りに熟練している人か、ヘリコプターでないと到底不可能と感じた(実際には2カ所ほど昇り降りできるところもあるが、下を向くと背中への背負子が壁についてしまうほどの急傾斜である)。

#### 4. 標定点測量

空中写真から地図を作るには、1対の空中写真につき少なくとも6点以上の標定点がバランス良く配置されているのが望ましい。基準点の少ないホワイト島のような離島などの標定点測量には、位置と高さが同時に求められるGPSが最適なので、今回の標定点測量にはGPSを使用した。GPSとはGlobal Positioning Systemという地球規模の測位システムのことで、同時に3個以上(3次元位置を求めるには4個以上)のGPS用の人工衛星の電波を受信することによって、世界中どこにいても自分自身の位置を知ることができる。用途は広く最近では自家用車のナビゲーションシステムなどにも使われているが、より精密に測れる測地用のGPSは、近年測地測量に多く使われるようになってきた。今回の観測では3台のTrimble 4000 SSE型GPS受信機を用い、精度の高い干渉測位を行った。このうち1台の受信機は、固定点としてIGNSと米国により'92年に決定されたGPS測量点(Blick et al.,1992)に設置した。

図化のための標定点は写真に明瞭に写っていて刺針(写真上に基準点などの位置を示すとき実体視しながら小さな針の孔をあけて位置を示す作業)しやすい場所を選点しなければならない。今回は岩、谷会、流山の頂および数少ないブッシュ等を選びその点の位置と高さを測定した。また、容易には到達できないクレーターの外側の標定点測定にあたっては、ヘリコプターが着陸できる地点を考慮する必要があった。これらの標定点の他にDOSLIで設置したベンチマークも測量し、この既知座標を用いて他



写真4 ホワイト島火山におけるGPS測量。手前が筆者。背後に見える三脚がGPSのアンテナであり、その脇に受信機がある。DOSLIのベンチマークの測量中であり、手前の廃屋は今世紀初頭に使用されていた硫黄工場跡。

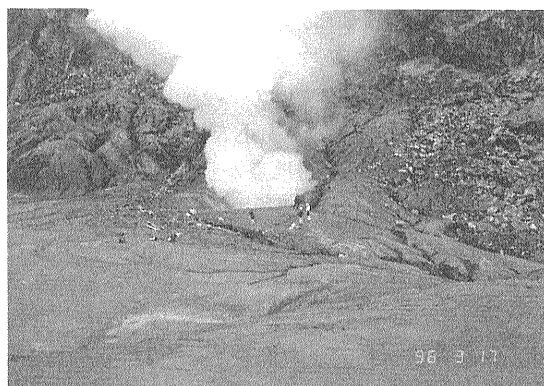


写真5 Noisy Nellieの噴気口において材料試験のサンプルを引き上げる東北工業技術研究所とIRLのグループ。

の標定点の座標をニュージーランドで一般的な地図座標系(New Zealand Map Grid)に変換した(写真4)。

クレーター内は、比較的容易に移動できるものの、あちらこちらで高温の噴気や変質帯があるので気をつけて歩かないと火傷する。このため、この島において既に調査経験のある西、杉原の両名と行動を共にした。クレーター内の測量中に、東北工研・IRLのグループが大きな噴気口から材料試験の実験器具とサンプルを回収しているところも見られた(写真5)。クレーターの外の標定点は、最もホワイト島調査回数が多い西が案内役兼GPS担当となった。我々がこれらの測量をしている間、杉原はクレーター内



写真6 GPSによる標定点測量。アンテナが強風で飛ばされないようにおさえている。山体の向こう側に主火口がある。

でさらに測量を続けた。絶壁を登っている日は暮れてしまうため、クレーターの外への移動にはヘリコプターを利用した。季節の変わり目かクレーターの外では風が強く、ヘリコプターもかなり風で揺さぶられた。また、クレーターの絶壁を越えたり海岸線付近を飛ぶ時には、上下方向にも大きく動揺した。ヘリコプターの着陸地点から標定点までは徒歩で行ったが、比較的緩傾斜な所でもV字の浸食谷(galley)が以外と深く、場所によっては迂回しなければならなかったり、地表では火山灰がモルタル状に固まっていたので、簡単に進むことができず、距離が近いにもかかわらず予想以上に時間がかかった。また、立ってられないほどの強風下での写真への刺針には苦労した(写真6)。山頂では強風でアンテナが飛ばされないように2人で風よけになったり、小さな溝に入って風を避けながらヘリコプターを待っていたら体が冷えきってしまった。外輪山の向こうから打ち合わせた時間通りに迎えに来たときは、ホッとした。我々がクレーター内に戻るとすぐに東北工研・IRLのグループが器材を積み込みホワイト島を離れた。ヘリコプターがまた戻ってくるまでの約1時間を利用し、さらに1点の測量と杉原の測量した点の刺針を行った。観測した標定点の数はクレーターの外に3点、クレーター内に6点であった。ホワイト島を後にしてまたも20分の空の旅の後、ファカタネ空港に無事帰還した。ヘリコプターから車への荷物の積み替えなどの全ての作業を終えて空港を後にする頃は、西の空が赤く染まっていた。3月(ニュージーランドは秋)の日暮れ

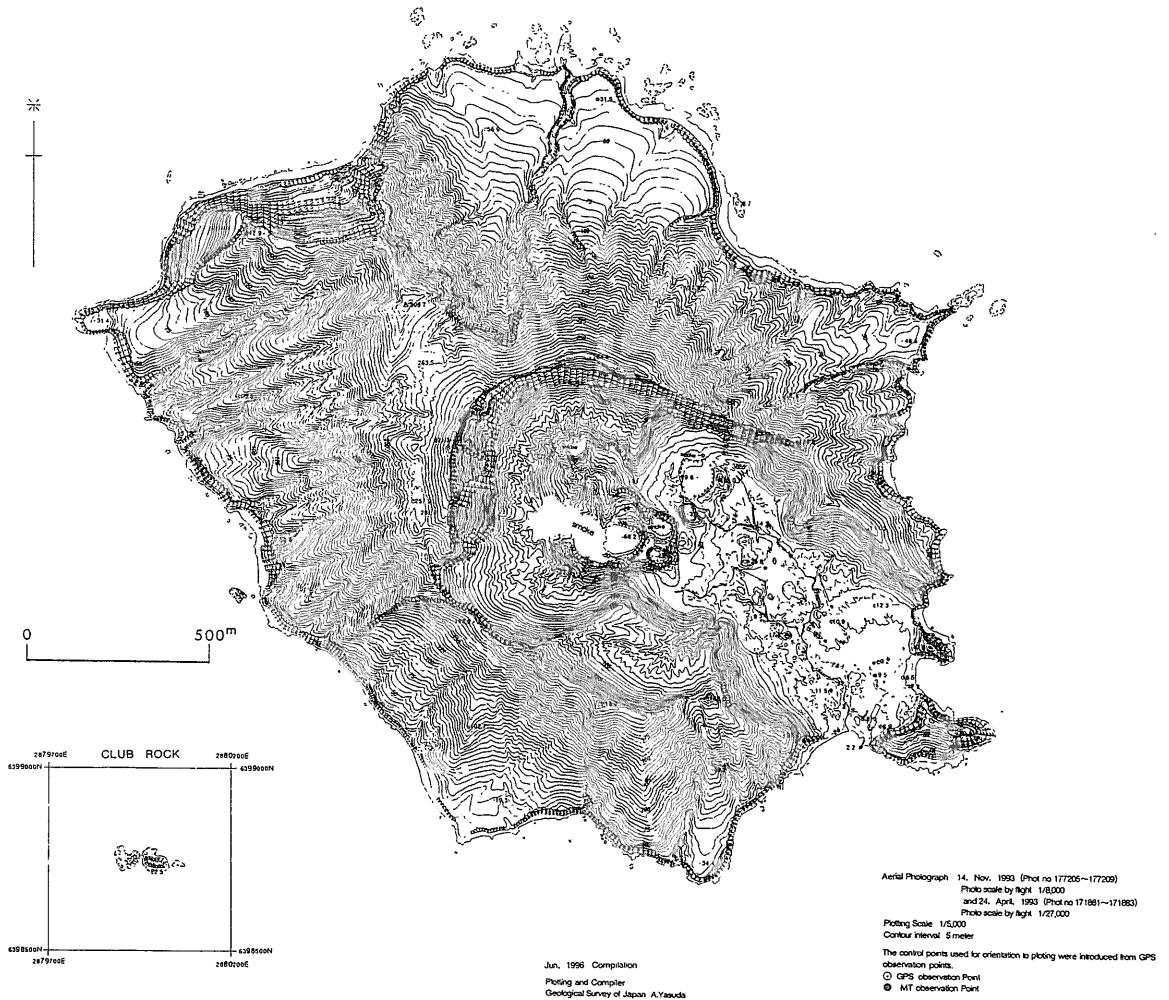
は早く、またサマータイムが前日終わったこともあり、ロトルアへ帰る途中で日は完全に落ちて暗くなってしまった。車窓からの夜空が余りにも美しかったので道端に暫く車を止めて星空を眺めた。特に南十字星、一際大きく輝いている $\alpha$ 、 $\beta$ 星がとても印象的であった。

## 5. 図化

帰国後直ちに図化を行った。図化には精密図化機(Wild A10 Autograph)を使用した。空中写真は島全体を東西に撮影した縮尺2万7千分の1とクレーターを中心に南北に撮影した8千分の1の写真を使用した。島全体の図化には縮尺2万7千分の1で、クレーター内の図化には比較的噴煙の少ない8千分の1の写真を使用した。写真の撮影時期は火山が静穏期にあった1993年4月24日および同年11月14日であり、噴火口周辺の地形も比較的良好にとらえられていた。クレーター壁・海岸線などに絶壁が多く、また静穏期とはいえ噴火口からは噴煙が噴出しており、この様な複数の写真を用いて図化する必要があった。それでも噴煙の下の部分の図化は出来なく空白として処理した(第3図)。作成した地形図の縮尺は5千分の1で、等高線間隔は5m(クレーター内は2.5m)である。この地形図はそのまま各種基図に使用されるのみならず、さらにデジタル化され、多くの用途に使用されて行く予定である。この図をもとにニュージーランドと日本の共同研究がさらに進展することを期待している。

## 6. おわりに

出発前には、飛行機のこと、ホワイト島の様子、崖登り、会話、食生活…と不安だらけだったが、無事終了して日本に戻ってくることができた。3週間の滞在中には本観測記には書ききれなかったことも沢山ある。食事のこと、街中でのこと、ショッピングのこと、そして美しい国ニュージーランドのこと…。思い出は尽きない。最後に、今回の出張の機会を与えて下さった当舎さん、現地でお世話になったIGNSの皆さんと小川さんに心からお礼を言いたい。なお、本報告は安田の執筆した原文に西・杉原が細かな点を補ったため、安田の1人称の形で書いている。



第3図 図化したホワイト島火山の地形図。図化縮尺5千分の1を縮小。

参 考 文 献

Blick, G.H., Darby, D.J., Meertens, C.M., Otway, P.M., Perin, B., Rocken, C. and Scott, B.J. (1992): Crustal deformation surveys in the Taupo Volcanic Zone and central North Island using GPS measurements. *New Zealand Surveyor*, 33, 281, 299-312.

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. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union* 70 No. 7: 98-109.

Giggenbach, W.T., 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.457, 1-4.

Nishil, Y., Sherburn, S., Scott, B.J. and Sugihara, M. (1996): High frequency earthquakes at White Island volcano, New

Zealand: insights into the shallow structure of a volcano-hydrothermal system. *J. Volc. Geoth. Res.*, in press.

西 祐司・杉原光彦 (1992): ニュージーランド ホワイト島火山微小地震観測記. *地質ニュース*, no.457, 34-49.

杉原光彦・西 祐司 (1994): 地震からみたマグマの挙動と噴火レビューおよび、ニュージーランドのホワイト島火山での噴火地震の解析例-*地質学論集*第43号, 32-52.

玉生志郎 (1991): 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. *地質ニュース*, no.438, 52-56.

当舎利行 (1996): ニュージーランドでの地熱・火山の共同研究. 地熱, 印刷中.

YASUDA Akira, NISI Yuji, SUGIHARA Mituhiko (1996): Topography mapping of White Island volcano in New Zealand.

< 受付1996年8月9日 >