

ヴァヌアツの地熱資源について -エファテ島とトンゴア島を訪れて-

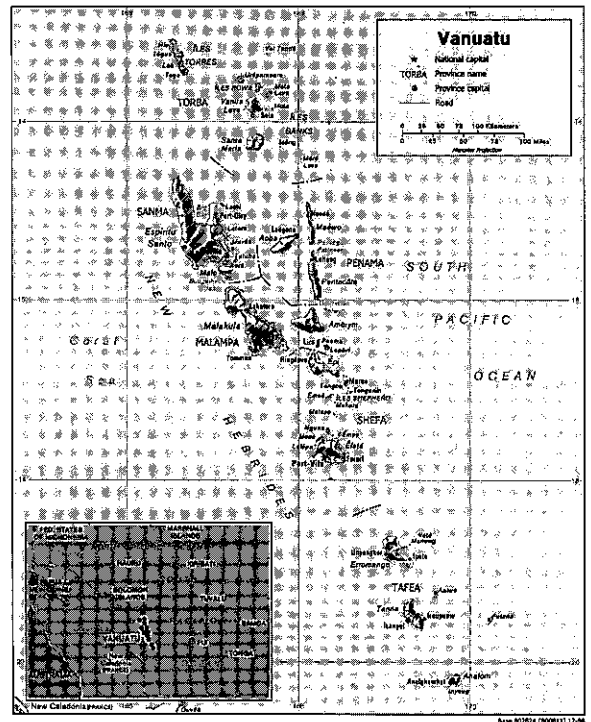
堀越 孝昌¹⁾・村岡 洋文²⁾・高橋 正明³⁾

1. はじめに

ヴァヌアツ共和国(The Republic of Vanuatu)は、ニューカレドニアの北方約500km、フィジーの西方約1,000kmの南太平洋に位置し、多数の島々からなる島嶼国である(第1図)。わが国と同様に環太平洋火山帯の一画を占めており、現在も活発に活動する火山も多い。豊富な地熱資源の賦存が期待されながら、現在までのところこれらの資源は手つかずのまま残されている。

一方、世界的な地球環境問題への関心の高まりの中で、わが国の京都議定書遵守のためのあらゆる可能性を真剣に追求することが、日本の責務として今後強く求められるものと予想される。このような中で、温室効果ガス排出削減の可能性、地域の持続的な開発への貢献という視点から、発展途上国と先進国とのプロジェクトにより、発展途上国の持続可能な成長に資すると共に、先進国の温室効果ガス排出数量の目的達成にも使える「クリーン開発メカニズム(CDM)」の重要性が増している。わが国にとって、豊富な地熱資源を有する発展途上国において、その開発可能性を明らかにし、それを追求することは、このCDMの目的に一致するものと考えられる。

現在、わが国では地熱開発が停滞し、これまで地熱エネルギーの開発に関わってきた多くの技術者や研究者が、地熱の分野から他の分野へ急速に流出している。筆者らはその地熱分野に関わる技術者及び研究者の一人として、このままでは先人たちがこれまでに蓄えてきた地熱探査・開発・貯留層管理に関する技術や経験が失われてしまうので



第1図 ヴァヌアツ共和国の地図 (http://www.janeresture.com/vanuatu/Vanuatu_rel98.jpgによる)。

はないかと憂えている。今のうちにこれらの技術を地熱資源を有する発展途上国へ展開し、CDMの一端として発展途上国のためにも、またわが国のためにも役立てる機会がないかと考えていた。

2001年の秋に、国連の一機関であるESCAP (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific)から要請があり、新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDOと略)及び産業技術総合研究所(以下、産総研と略)の3名は、

1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 地熱開発室：
〒170-6028 東京都豊島区東池袋3-1-1 サンシャイン60
2) 産総研 地圏資源環境研究部門
3) 産総研 深部地質環境研究センター

キーワード：ヴァヌアツ、エファテ島、トンゴア島、地熱資源、地熱開発、可能性調査

2002年3月に南太平洋の火山国、ヴァヌアツ共和国(以後、ヴァヌアツと略)を訪れ、トンゴア(Tongoa)島およびエファテ(Efate)島の地熱開発可能性予察調査を実施した。限られた予算の中で短期間の調査であったが、この調査を通じて得た知見や考えたことなどをここに紹介したい。

2. ヴァヌアツの一般事情

ヴァヌアツは、南緯 $13^{\circ} \sim 21^{\circ}$ 、東経 $166^{\circ} \sim 171^{\circ}$ に位置し、やや北北西へ傾いた“Y”字型に配列する83の島々からなる。北端のトレス(Torres)諸島から南端のアナトム(Anatom)島まで約900km、総面積は約1.2万 km^2 であり、新潟県とほぼ同じ広さである。ヴァヌアツのほぼ中央に近くに位置するエファテ島に首都ポートヴィラがある(第1図)。

ヴァヌアツの気候は熱帯気候に属し、5月から10月が乾期で快適であるが、11月から4月は雨期で湿度が高く、暑く、サイクロンのシーズンでもある。

1999年に行われた国勢調査によるとヴァヌアツの人口は約19万人、1989-1999年間の平均人口増加率は2.6%であった。近年、都市部を中心に人口が急速に増加している。また、15歳以下の人口が全体の45%を占める若い国でもある。人種的にはメラネシア系が93%を占め、他に英仏系、中国系、ヴェトナム系などから構成されている。

公用語はビスラマ語(ピジン英語)、英語、仏語の3言語であり、英語はトンゴア島のような遠隔地でも通用する。ほとんどがカトリック教徒である。

ヴァヌアツは新しい国で1980年に英国・フランスの共同統治から独立したばかりである。独立前はニューヘブリデスと呼ばれ、ニューヘブリデス諸島の名は現在でも使われている。独立後も英国、フランスの援助に大きく依存していた。現在、英国に代わりオーストラリア、ニュージーランドの援助が増えている。2001年の日本の援助額はオーストラリア、フランス、ニュージーランドに次いで4番目とのことであった。

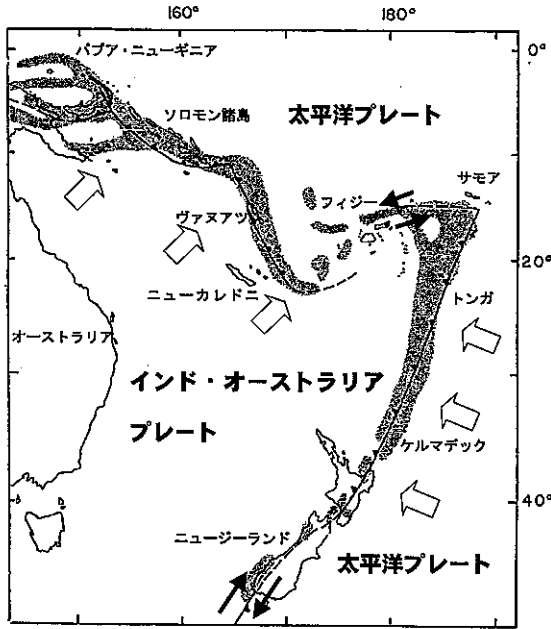
主な産業は、自給自足の農業とコプラ、牛肉の生産であり、他にココア、コーヒー、カヴァ、香辛料など農産品も輸出している。しかし、ほとんどすべての工業製品や燃料さらには食料品に至るまで輸

入に依存し、貿易収支は恒常的に赤字で、外国の援助に頼っているのが実状である。輸入品の物価は日本とほとんど変わらない。近年、ヴァヌアツは観光にも力を入れ、エファテ島ポートヴィラには高級リゾートホテルが建てられている。

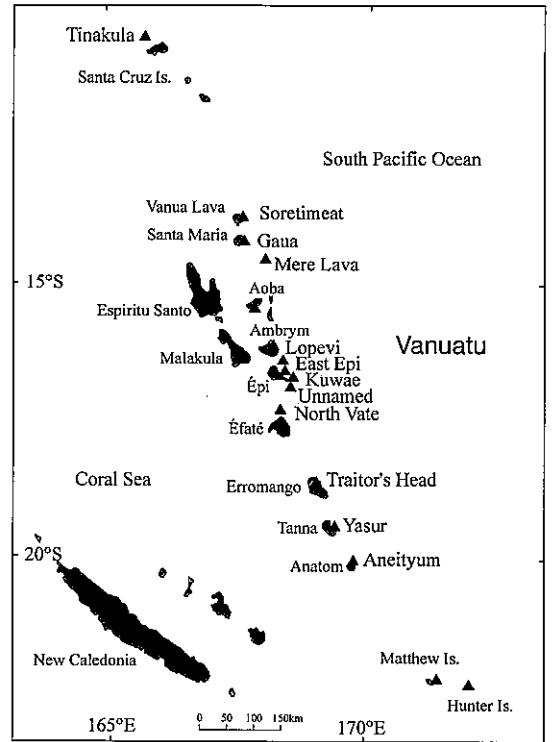
ところで聞き慣れない「カヴァ」であるが、これはヴァヌアツやフィジー独特の飲み物で、ある種の胡椒科の木(ヤンゴーナ)の根を良く乾燥させ粉末にしたものを水に浸して絞り出した一種の「地酒」である。アルコール分は含まれていないが、飲むと唇の廻りが痺れたようになり、平衡感覚を失い酔っぱらったような状態になる。アルコールと違う点は、カヴァを飲むと次第に気分が沈んで行くところにある。冠婚葬祭など正式な儀式や賓客があった時などにはカヴァの儀式が行われる。筆者らもトンゴア島を訪問した際にカヴァの儀式を受けたが、これについては後述する。

ヴァヌアツで電力が供給されているのは、エファテ島ポートヴィラとエスプリッツ・サント島のルガンヴィルの2都市だけである。主要なリゾートホテルは自家発電装置を有している。電圧は50Hz、240V。エネルギー局でお聞きした話に基づく、一般住宅の電化率は16%程度であり、ポートヴィラもルガンヴィルもフランス系の電力水道会社UNELCOが独占的に電力供給を行っている。2000年のデータでUNELCOの発電能力は、ポートヴィラで18.4MW(ディーゼル)、ルガンヴィルで4.3MW(ディーゼル)である(Promocom Ltd., 2001)。電力料金は、1999-2000年の平均基本料金が32.03VT(参考: VTはヴァヌアツの通貨単位でヴァツと読み、1VT \approx 1円で換算し易い)、25.72VT/kWh、総発電量33,269,117kWhであった。なお、エスプリッツ・サント島には日本国政府の援助で建設された水力発電所(0.6MW)があり、電力をUNELCOへ供給している。他に日本国政府が1999年から開始した「地方電化プロジェクト」により、モデル村落において個別設置型の太陽光発電システムが200セット設置されている。

ヴァヌアツでの役所の勤務時間は朝が早い。午前中の勤務時間は7:30~11:30、昼休みが2時間あり、午後の勤務時間は13:30~16:30である。午前中の勤務が終了するとほとんどのヴァヌアツ人は家へ帰り、昼食後、また午後の勤務のために出勤す



第2図 南太平洋のプレート境界(Cox, 1980に加筆). 影のゾーンは震源が浅い(<70km)地震の発生域.



第3図 ヲァヌアツ共和国の火山分布.

る。町が小さいので、このようなことが可能なのである。一般事情の最後として、治安が良いことを強調しておきたい。筆者らがヴァヌアツを訪れた際にJICAの青年協力隊の方が21名活動していたが、6~7割が女性隊員であり、それぞれ一人で勤務地へ入り活動をしている。彼らの心意気もさることながら、治安の良きなしには成り立たないことである。

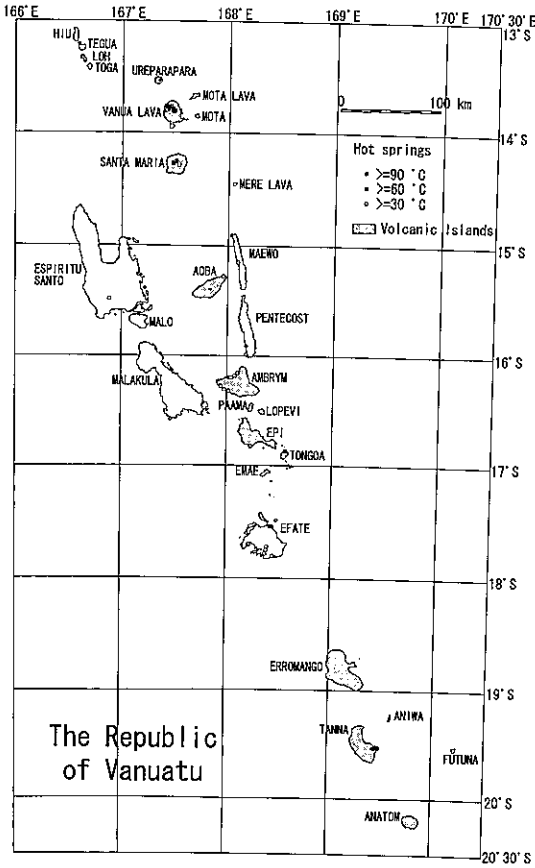
3. ヲァヌアツの火山と地熱徴候

ヴァヌアツは南太平洋地域で環太平洋火山帯の一面を占めており、現在も活発に活動する火山が多い。南太平洋地域では、太平洋プレートとインド・オーストラリアプレートが接し、環太平洋火山帯はこの境界ゾーンにおいて海溝の背面に沿って分布している。このプレート境界は、パプア・ニューギニアからソロモン諸島へ西北西-東南東方向へ伸び、ヴァヌアツで方向を北北西-南南東へ変え、ヴァヌアツの南部で一部不明瞭になり、北東へ転移し、フィジー、サモアを経て、方向を北北東-南南西へ変えトンガ、ケルマデックを経て、ニューージーランドへ至っている(第2図)。ヴァヌアツ付近では、イ

ンド・オーストラリアプレートが東側へ沈み込んでいる。ヴァヌアツを構成するニューヘブリデス諸島付近では、西側に並行してニューヘブリデス海溝が形成されている。

ヴァヌアツを構成する地質帯は、エスプリツ・サント島、マラクラ島、エファテ島などから構成される西部帯、マエウォ島、ペンテコスト島からなる東部帯、およびこれらの中央部を南北にヴァヌア・ラヴァ島、サンタ・マリア島、アオバ島、アンブリュム島、エピ島、トンゴア島、エロマンガ島、タンナ島、アナトム島へと分布する中央帯の3帯に区分できる(第3図)。

ヴァヌアツ北部のテクトニクスは複雑である。西部帯は、中新世以前に太平洋プレートが西側のインド・オーストラリアプレートに向かって沈み込んでいた時代の火山弧であり、現在、火山活動は見られない。中新世の中頃(11~8Ma)にこの西への沈み込みが終わった(Carney, 1982)。東部帯は中期中新世から前期鮮新世に、インド・オーストラリアプレートが東に向かって沈み込み始めた初期の玄武岩や安山岩から構成されている。その後、6Maこ



第4図 ヴァヌアツ共和国の温度別温泉分布。

る東への沈み込みと西へ約30°の回転が生じている。その結果、現在では、インド・オーストラリアプレートがニューヘブリデス海溝から太平洋プレートの下に沈み込んでいる。中央帯はこの最も新しい沈み込みの反映であり、最も新しい火山活動の噴出物により構成されている。ノースダコタ大学のVolcano worldのホームページ(<http://volcano.und.nodak.edu/vw.html>)によると、現在ヴァヌアツには、Ambrym (アンブリュム島), Aneityum (アネイティウム島), Aoba (アオバ島), East Epi (エピ島東側の海底火山), Gaua (サンタマリア島), Kuwae (エビ島とトンゴア島間の海底火山), Lopevi (ロペヴィ島), Mele Lava (メララヴァ島), North Vate (ングナ島), Soretmeat (ヴァヌアラヴァ島), Traitor's Head (エロマンガ島), Yasur (タンナ島) および無名海底火山 (トンゴア島南東側) の13の活火山がリストアップされている。いずれにせよヴァヌアツは中新世以降、太平洋プレートとイ

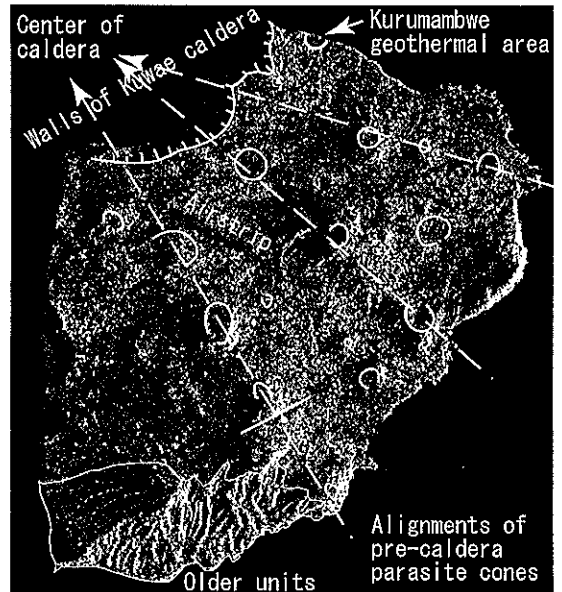
ンド・オーストラリアプレートの境界付近に位置し、島弧海溝系を形成して玄武岩質の火山岩類を主体とする火山活動が継続されてきた地域である(第3図)。

ヴァヌアツの地熱微候地は、主として中央帯を中心に40カ所に温泉の存在が知られている(第4図および口絵参照)。温泉のタイプは、「火山活動に直接伴う温泉」と「火山活動に直接関連していない温泉」の2タイプに大別される。「火山活動に直接伴う温泉」は活火山の噴火口に近い位置に分布する。「火山活動に直接関連していない温泉」は、島の海岸に近い部分に分布する傾向がある。また、直径5kmよりも小さい島に温泉が分布することは稀れである。

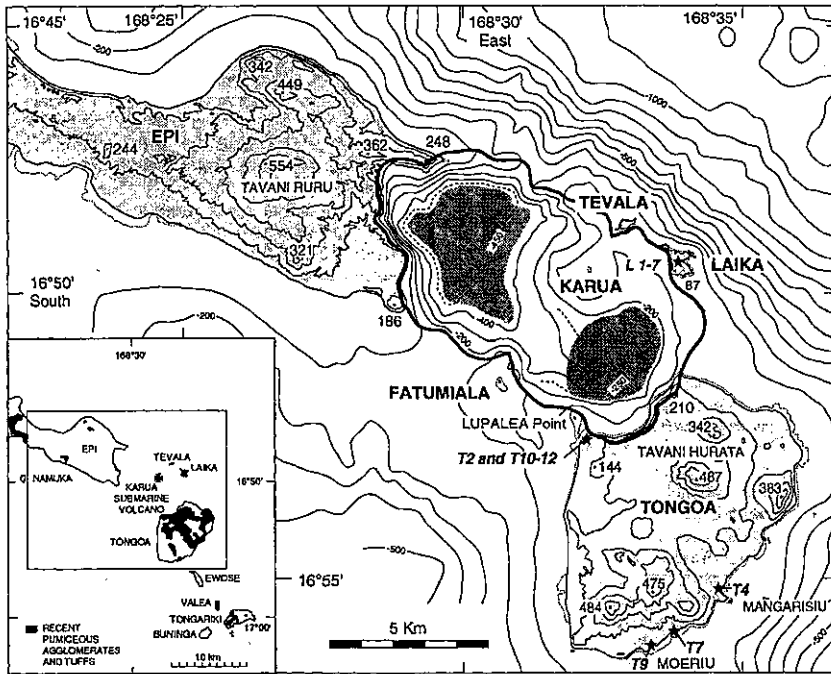
4. 地熱開発の可能性

4.1 トンゴア島

トンゴア島はヴァヌアツの首都ポートヴィラがあるエファテ島の北約70km、エビ島の南東約10kmに位置する。長径9km、短径6kmほどの小さな火山起源の島であり、標高487mのMallamao山が最も高い地点である。トンゴア島には約15の火山円錐丘 (volcanic cone) が分布する(第5図)。人口は約



第5図 JERS-1 SAR画像でみたトンゴア島の地形 (Copyright: METI/NASDA).



第6図
Kuwae火山の海底カルデラ
(Monzier et al., 1994).

2,500人であり、主たる産業は自給自足農業である。第二次大戦中に米軍が築いた飛行場があるが、付帯する設備は何もない。島にはホテル等の宿泊施設も無い。住民共有で使っている集会所がゲストハウスとして使われている。トンゴア島付近から赤道に近い北側の島では、マラリアや寄生虫対策に注意を払う必要があると言われている。

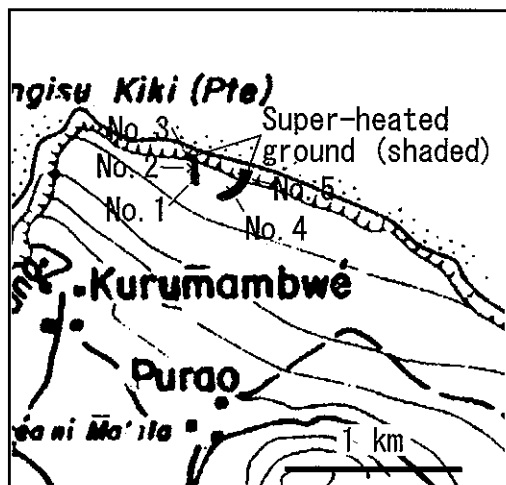
トンゴア島は、Kuwae海底カルデラの南東カルデラ縁を構成している(第5図)。トンゴア島は更新世以降の比較的新しい火山岩類からなり、主として玄武岩質及び安山岩質の火山噴出物から構成されている。エピ島とトンゴア島の間にあるKuwae火山は海面下に2つのカルデラ basin をもち、合わせて約6km×12kmの規模の海底カルデラを形成している(第6図)。トンゴア島とエピ島はかつて陸続きであったが、1420～1430年に、カルデラを形成した非常に大規模な噴火が起こり、一部が海底に没し2つの島、エピ島とトンゴア島に別れた(Monzier et al., 1994)。Kuwae火山は1452年以降、少なくとも12回の噴火を起こした。最近では1974年、1977年、1979年、1980年に小規模な噴火があった(<http://volcano.und.nodak.edu/vw.html>)。

トンゴア島の地熱地帯は北部の海岸近くに位置する(写真1および口絵写真参照)。近くにある村



写真1 トンゴア島北海岸のKurumambwe地熱地域。高温のため、植物が育たず、裸地となっている。レイを首にかけ、調査で観察したことを地元の人に説明する筆者(村岡)。

の名前をとってKurumambwe地熱地帯と呼ぶことにする。Kurumambwe地熱地帯には東側と西側の2つの地熱微候地があり、島民の話によるとトンゴア島の地表で見られる地熱微候地はこの他にはないという。地熱微候地は高温のため植生が無く裸地を形成しており、ASTER VNIR画像でも容易に識別することができる(第7図および口絵写真参照)。しかし、雨期の最後の時期であるというのに、西側地熱微候地の1露頭でごく弱い噴気が認められる以外は噴気・温泉の湧出は認められず、ただ



第7図 トンゴア島のKurumambwe地熱地域を拡大したASTER VNIR画像(左図, Copyright: METI/NASDA)とその説明図(右図).

高温を示すのみである。この高温は尋常なものではなく、地表下10cmで海水の沸点と同じ100.6℃を示す部分が数カ所に認められ、地熱流体の存在が認められない割には非常に高い温度を示している。海岸は海食崖になっており、地熱地帯の標高は約20mである。周囲は玄武岩質火砕岩およびラハール堆積物が分布するが、変質はごく弱く、X線回折により、一部にAlモンモリロナイト、方解石、非晶質シリカが認められた(谷口政碩主研の協力による)。

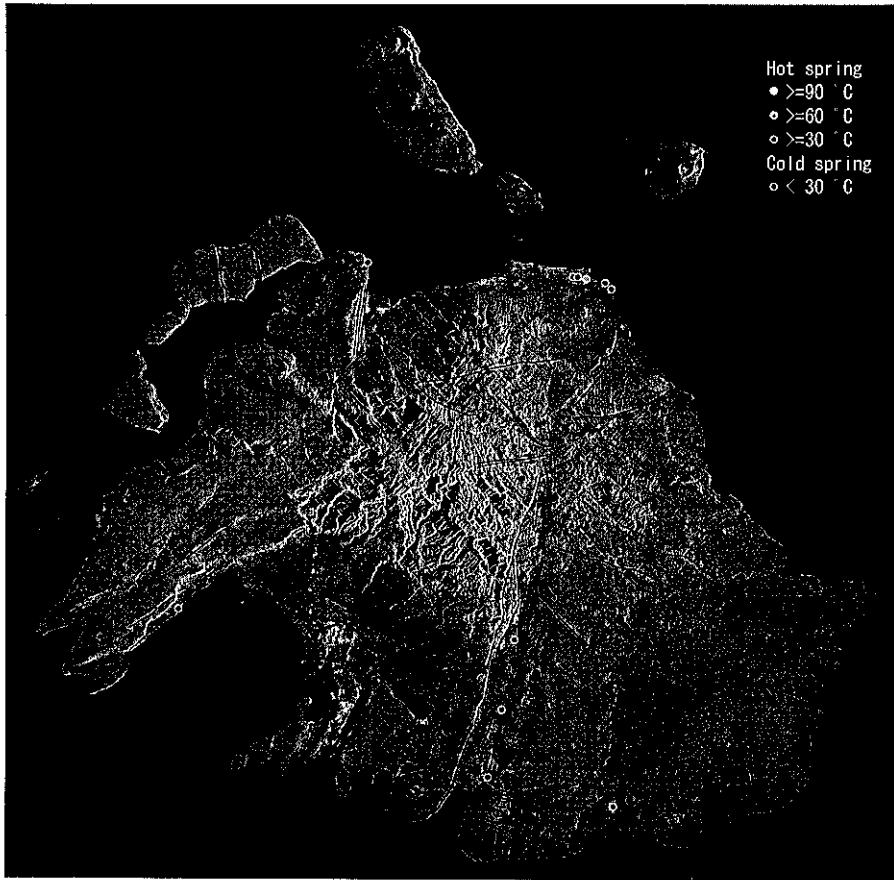
Kurumambwe地区の地熱地帯は、まだ非常に新しい地熱系であるため、変質帯の形成が十分には進んでおらず、透水性が高い地質からなるために、地表部で噴気や温泉が見られないのであろうと推測した。海水準付近では、海水起源の熱水が沸騰し、その蒸気が上昇して地表付近を加熱されていると考えている。大量の熱は供給されているが、閉じた系としてのいわゆる地熱貯留層はまだ形成されていない可能性が高いのではないかと考えられる。出来ることならば比抵抗調査と試錐を行い、比抵抗構造と地表の高温の裸地から海水準下までの試錐コア、変質、検層データが欲しいところである。地表徴候から判断して、ごく小規模な地熱発電は可能かもしれないが、うかつに地熱開発の可能性について楽観的な判断は下せないと感じた。

4.2 エファテ島

エファテ島は、“Y”字型に配列するニューヘブリデス諸島の要に位置している。東西約46km、南北約33kmで、地表に分布する地質は鮮新世-更新世の軽石角礫凝灰岩、かんらん石玄武岩類からなり、これらの周囲を裾礫性石灰岩が取り巻いて分布する。エファテ島は更新世の後期に隆起し、この裾礫性石灰岩からなる段丘面が形成されている。

エファテ島を特徴づける構造として、中央に幅1.2~1.6km、北北東-南南西の方向へ約20kmにわたり延びるテウマ・リフトゾーンが存在する(第8図および口絵写真参照)。現在、エファテ島には第四紀火山は無いが、北側に隣接するングナ島、ペレ島、エマウ島は、第四紀の玄武岩類からなる新規火山が分布している。

エファテ島では、海岸近くの各所と、テウマ・リフトゾーン沿いに温泉等の湧出地が知られている(第8図および口絵写真参照)。海岸近くの温泉湧出地としては、島の北東の海岸部Takara、南部の海岸に近いRandapao、ポートヴィラ西部のBukuraに存在が知られており、北部のSiviri Caveには洞窟内に湧水池がある。また、テウマ・リフトゾーンには、Lower Teuma, Mid Teuma, Upper Teumaと、さらに上流のNorthern Groupと呼ばれる温泉湧出群がある。今回測定した湧出温度は、26.2~58.7℃、湧出量は0.1リットル/分~36,000リットル/分であった(第1表)。



第8図
JERS-1 SAR画像で
みたエファテ島の
地形 (Copyright:
METI/NASDA).

第1表 エファテ島の温泉・地下水湧出地 (2002年測定分のみ, 位置測定はGPSによる).

Sites	Latitude	Longitude	Temperature degree Celsius	Flow rate	date of measuring by GPS
Takara	17° 32.118' S	168° 26.155' E	56.0-60.8	3,000-4,000 l/min	12, Mar, 2002
Siviri Cave	17° 31.450' S	168° 19.578' E	26.8	-	18, Mar, 2002
Bukura	17° 41.949' S	168° 13.899' E	43.6	8,000 l/min	19, Mar, 2002
Randapao	17° 49.938' S	168° 27.343' E	44.0	20 l/min	19, Mar, 2002
Lower Teuma	17° 47.078' S	168° 23.514' E	26.2	36,000 l/min	20, Mar, 2002
Mid Teuma	17° 44.987' S	168° 23.383' E	46.2	0.1 l/min	20, Mar, 2002
Upper Teuma	17° 43.549' S	168° 22.943' E	33.2	2 l/min	22, Mar, 2002

Greenbaum (1974), Hochstein (1977)によると, Takaraでは海岸近くの東西約900m, 約2km²の範囲に温泉群が湧出し, 湿地帯が形成されている。地下2mで80~100℃を示し, 微弱ではあるが蒸気(湯気)を示す部分がある。地化学温度は146~167℃が得られている。蒸気発電を行うには温度が足りないが, バイナリー発電の適用を考えれば, Takara地区はエファテ島で最も有望な地熱開発地点と考えることができる。

一方, テウマ・リフトゾーンのMid Teumaでは,

流出量が極端に少なく0.1リットル/分で湧出温度が46.2℃であるが, 144~208℃の地化学温度が得られており, 深部に高温の地熱流体が存在する可能性が全く期待できない訳ではない。地化学探査や1m深地温調査等の地表精査を実施し, 地表の地熱徴候地を絞り込むことが望まれる。その他, 海岸近くに分布するRandapao (泉温44.0℃, 地化学温度179℃), Bukura (泉温43.6℃, 地化学温度176℃)が得られているが, これらの地域がすぐに地熱開発の対象となる段階にはない。

5. トンゴア島調査(トラブルとハプニング)

<トンゴア島へ移動手段の決断>

今回現地調査を行ったトンゴア島は8km×7kmほどの大きさで、人口僅か約2,500人の島である。無電化地帯であり、ほとんど自給自足の島である。しかし、空港がある。航空便を調べてみると毎週月、水、土の3便があるので、ヴァヌアツへ行くまでは、トンゴア入りは「なんとかなる」と考えていた。

調査団3名は、2002年3月9日(土)日本を出発し、3月10日(日)にニューカレドニア経由でヴァヌアツの首都ポートヴィラへ到着した。3月11日(月)朝、ヴァヌアツ側の受け入れ先である土地・地質・鉱山・水・エネルギー・環境省エネルギー局で打ち合わせを行い、午後の便でトンゴア島へ入る予定であった。

はじめに、JICAヴァヌアツ駐在員事務所の赤星所長を訪ね、現地の情報をお聞きした。今回の現地滞在中、赤星所長には終始にわたりご支援お世話をして頂いた。ここで入手した重要な情報は、当日(3月11日)午後に出発予定のトンゴア島への航空便の欠航であった。また、JICAの青年海外協力隊の女性隊員が1名、トンゴア島の小学校で教師をしておられることをお聞きした。なにはともあれ、現地に日本人が居ること知り、心強く思った次第である。

ヴァヌアツは、11月から4月の間は雨期で降水量が多い。トンゴア空港は、草が生えた滑走路があるだけの空港である。この空港は、米軍が第二次大戦中に隣のソロモン諸島まで進出した日本軍への反攻の基地としてヴァヌアツの各島に築いた飛行場の1つであろう。まとまった雨が降ると滑走路に水たまりができ、着陸の際に危険になるため、すぐに欠航になる。とくに雨期に欠航が多い。また、草がすぐに繁茂するため草刈りをきちんとしておかないと飛行機の発着ができなくなる。赤星所長から、以前トンゴア島からエファテ島へ行かれた方が、滑走路の水たまりと草の繁茂が原因で、飛行機の欠航が続き、1ヶ月ほどエファテ島に足止めになり、最後はとうとう船で戻られたというお話をお聞きした。

次のトンゴア便があるのは3月13日(水)、3名の調査団の中で産総研の2名は3月17日(日)にポートヴィラを立ち帰りに就く予定であった。NEDOの堀越は3月22日(金)までヴァヌアツ滞在予定で多少

の余裕がある。ただ仮に次のトンゴア便のある3月13日(水)にトンゴア島入りができたとしても、3月16日(土)に飛行機が飛ぶという保証はない。次回は3月18日(月)…。さらに次回は3月20日(水)…。天気図にはサイクロンの姿も見える。船便も考えたが、1隻の船が1週間ほどかけて、ヴァヌアツの南北を行き来しているが、数日前にポートヴィラからエスプリッツ・サント島へ向かって出航したばかりで、翌週までは次の便はない。いろいろ考えたが、帰りのリスクを考慮すると費用はかかるが、観光用の水上飛行機かヘリコプターをチャーターするのが移動の確実性は高い。しかしながら、今回の調査は極く限られた予算で行動しており、限度を超えると自費負担になることも考える必要がある。調べた結果、ヘリコプターは客が少ないためすでに廃業していた。水上飛行機の受付で聞いたところ、4人乗り(パイロットを含めると5人)の水上飛行機で、朝8時に、トンゴア島まで行き、6時間滞在し、夕方戻ってくるということで46,000VTというので、短時間ではあるが、まずは現地の予察をするという考えからこの手段を選ぶこととし、予約ができる一番早い日ということで3月14日(木)にトンゴア行きを決めた。予約を入れた段階で、なぜか料金が48,000VTに値上がりした。

<トンゴア島へ移動>

2002年3月14日(木)午前8:00。筆者ら3人は、いよいよ今回の主目的のトンゴア島入りすべく、準備を整え、水上飛行機(写真2)の発着場へ向い、出発の時を待っていた。現地で滞在できるのは夕方



写真2 トンゴア島への移動に利用したSea Air。パイロットを含め5人乗り。余計な荷物は積めない。

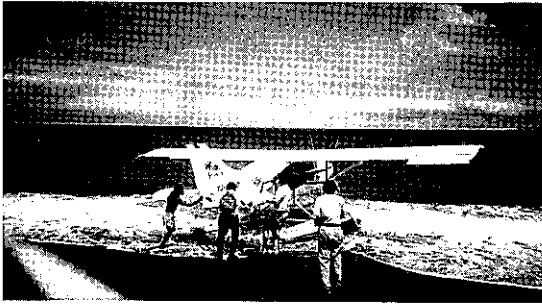


写真3 トンゴア島Panita海岸で水上飛行機が流されないように抑えているパイロット、この状態ではここに長時間、飛行機を停めてはられない。

まで、明るいうちに戻ってこなければ着陸(着水?)が危険になる。また、干潮時間(午前中)に行けば、海食崖の下にあると言われている温泉湧出帯が見られるかもしれない。しかし、幾ら待ってもパイロットが来ない。結局、出発は10時になってしまった。パイロットはニュージーランド人で、「出発の時間は朝9時」と聞いていたと言うし、「飛行機のキーを家に忘れた」といい、待たされること暫し。怒りがこみ上げたが、筆者ら3人とヴァヌアツ側のカウンターパートでエネルギー局のMoli Jeajea氏の4人は、なんとか現地入りを果たすことができた。トンゴア島はわずか30分ほどで到着する距離であった。トンゴア島のPanitaという海岸に到着した。地形図には港のマークが記載されているが、実際には砂浜があるだけで特別な設備は何もない。飛行機はというと、流されて行かないようにパイロットがロープで引っ張っているだけである(写真3)。こんな状態ではとても夕方まで待ってられない。筆者らが「17:00までに戻る」というと、パイロットは「別の客がいるので、ポートヴィラへ戻る」という。「夕方迎えに来るが、別料金だ」と言うのではないか! 話が違う! パイロットは、飛行機が流されないようにロープを引っ張りながら、早く決めろという。結局、帰りの料金を値切って往復で80,000VTで手を打たざるを得なくなった。いったい何ということだ。話が決まると水上飛行機はさっさと帰ってしまった。

夕方、Panitaへ戻り水上飛行機が来るのを待った。迎えに来なければ、集落にあるカヌーのような心許ない船しかない。それをチャーターしてエファテ島まで帰らねばならないのかもしれない。そんなことを話しているうちに迎えの水上飛行機が来たの



写真4 トンゴア島から遅れてポートヴィラへ戻ってきたカウンターパートのMoli Janjea氏。トンゴア島でみやげにもらった生きた鶏と子豚(背中に背負っている)、さらにトンゴア名物の「ごご」を手に入れている。

で、4人全員が乗り込んだ。しかし、何度飛び立とうとしても飛び上がらない。1度はフロートに入っている水をくみ出し、飛行機の総重量を落としたが、それでも飛び上がらない。おそらく来るときのポートヴィラは内湾なので波がなく飛び立ち易かったのであろう。Panitaの海岸は外海に面しているので波がある。あるいは帰りに村でもらったみやげ物で重くなったのか? 日はどんどんかげってくる。明るいうちにポートヴィラへたどり着かねば危険である。ついにパイロットが言った。「一人下りろ!」「……」沈黙の後、カウンターパートのMoli Jeajea氏が下りることを立候補してくれた。筆者は「すまない!」と心の中でつぶやいた。

その後、Moli Janjea氏は3月16日(土)に無事飛んだ定期便にてポートヴィラへ帰ってきた。筆者らは短いスケジュールに縛られていたとは言え、彼一人をトンゴア島に残してきた後ろめたさから、空港に迎えに行ったのである。Moli Janjea氏はトンゴア島の村人におみやげとしてもらった生きた鶏を手を抱え、生きた子豚をザックに入れて背中に背負い、トンゴア土産の手編みのきれいな「ごご」を持ちニコニコしていた(写真4)。その笑みのお陰で、筆者らは後ろめたさからも救われ、まずはこれにて一件落着。

<トンゴア島の歓迎>

さて、トンゴア島で何が筆者らを待ち受けていた



写真5 トンゴア空港。平らな滑走路があるだけの空港。週に3便が首都ポートヴィラとの間を往復する。雨で滑走路に水溜まりができると飛行機の着陸が危険になるので欠航になる。また、雨季に滑走路の草が伸び過ぎ、1ヶ月ほど発着できなかったことがある。

か？ もちろん我々のミッションは、トンゴア島の地熱徴候地の予察調査を行い、地熱開発の可能性があるのか、そのためには今後どのような調査を行えば良いのかを検討し提言することにある。筆者らには限られた時間しか無かったので、とにかく早く地熱徴候地へ行き、地熱徴候がどのようなものであるのかを見たかった。トンゴア島は無電化地域であり、島の経済は、自給自足の農業と出稼ぎ人の仕送り成り立っている。トンゴア島には7台の小型のトラックがあり、カウンターパートを通じて、そのうちの1台を手配していた。トンゴア島のPanitaから、平らなだけのトンゴア空港(写真5)を通り、島北部のKurumambweへと向かった。途中で出会った子供たちがニコニコして声をかけ、手を振ってくる。Kurumambwe村の中央には広い空き地があり、中央に儀式や集まりなどに使うのであろう天井が草葺きで、周囲の囲いが無い建家があった。この中央広場の入り口でトラックを下りさせられた。村人全員とも思われる人々200~300人が集まっている。村長と思われる方がJICAのマークのあるハンドスピーカーで歓迎の辞を述べている。全く突然なので戸惑ってしまった。筆者らは早く地熱徴候地へ行かねばならぬのだ…。しかし、「郷に入れば郷に従え」で整列し歓迎の草で作ったアーチをくぐり、村長と握手し、花束を首からかけられた(写真6)。考えてみれば筆者らは海外から島のためにやって来た賓客なのかもしれない。筆者らにはその



写真6 トンゴア島Kurumambwe村の村長の歓迎を受ける調査団。右から、村岡, Philip Rarua Taripoomata氏(村長), 高橋, 堀越。

ような意識は無かったので戸惑った。村長は立派であった。立派な英語で堂々とし、大勢の村民が集まる中で歓迎の辞を述べて下さった。一瞬、嫌な予感がした。予感はずぐに現実のものとなった。突然、筆者らに挨拶の言葉を求めてきたのだ。何を話したか忘れてしまったが、村長の立派な英語に比べ、ひどく見劣りする挨拶であったことは間違いない。冷や汗、多々。30分ほどの一連の儀式の後、やっと地熱徴候地へ出発できることになった。Kurumambwe村の中央広場から海岸際の地熱徴候地までは急な坂を下り、500m程の距離がある。筆者らはトラックに乗って現地へ向かったが、ゆっくりしか走れない。多くの村人たちが付いてくる。まるで大名行列だ。このような調査は初めてである。巡検とも違う、調査が見せ物のようにもなっている。

一連の調査終了後、Kurumambwe村へ戻った。そこへトンゴア島で唯一の日本人滞在者であるJICA青年海外協力隊の森田倫子さんが来ておられた。小学校の教師として活動しておられる。着任後、1年半が過ぎており、島民の方々からは親しまれ信頼されておられる。電気も物もないところで、地元溶け込み、活動されておられた。生きる力のたくましさを感じさせられた。

村の中央広場では、地熱徴候地を調べた結果を求められ率直な考えを述べた。その後、補足するようにカウンターパートのMoli Janjea氏が説明したが、細かい話の内容は解らなかった。ずいぶん楽観的なリップサービスをしたのではないであろう



写真7 トンゴア島Kurumambwe村にてKavaの儀式。3杯飲み干すのが作法。右から、JICA青年協力隊の森田さん、高橋、村岡、堀越。

か? 気になる。その後、遅い昼食となった。ここで図らずも「カヴァ」の儀式が待っていた。ヴァヌアツの文化の一つでもあり、正式な儀式や賓客があった時に「カヴァ」を飲む。3杯飲むのが決まりである。前述したように「カヴァ」はある種の胡椒科の木の根を良く乾燥させて粉末にしたものを水に浸して絞り出した一種の地酒である。地域ごとに作法があり、根を粉末にするときに、普通はすりこぎのようなもので潰して粉にするが、ここトンゴア島では、人が口で噛んで粉にする。その話をすでにポートヴィラで聞いていたが、案の定、目の前に現れてしまった。避けて通ることは出来ない。覚悟を決め、目をつぶって飲み干した。2杯目、3杯目は少ない目でお願した。誰かが噛んでくれた「カヴァ」なのか…。まさか目の前におられる村長ではあるまいな…。普通は暗くなってから飲むものだそうであるが、筆者らはその日中に帰らねばならないので、明るいうちから「カヴァ」を飲まされた。唇が痺れ、酔っぱらった感覚に陥る(写真7)。

帰りに村からトンゴア名物の手編みの「ござ」を筆者ら3人それぞれにおみやげとして下さった。大きなござだ。村長曰く、「日本へ帰ったなら、このござの上で横になってください。そうすればトンゴアの事を思い出すでしょう。私たちは、あなた方がトンゴア島の地熱開発のために、また戻って来てくれる日を待っています。いつまでも待っています。」と。この言葉は後々まで耳に残った。

この「ござ」と、たらふく頂いたラブラブなど現地を食べ物だけが原因ではないと思うが、帰りの飛

行機が飛び上がることが出来ず、1人飛行機から降りられたのは前述したとおり。また、この「ござ」は、スーツケースに入れるには大き過ぎ、日本へ持ち込む時には成田の検疫を受ける必要がある。手間暇かけて準備して下さった「ござ」ではあるが、ポートヴィラに置いてきてしまった。しかし、「トンゴア島の地熱開発」のことは今でも気になっている。何とかできることなら何とかしたい。客観的にみるともっと他にプライオリティの高い地域があるはずなのが解っているのだが…。

6. 今後の展望

エファテ島には首都ポートヴィラがあり、人口が増加しており、今後の電力需要の伸びが見込まれることから、需要サイドからみると地熱開発の適地があれば開発の検討対象にあげ得る可能性がある。ヴァヌアツでは、ニュージーランドの援助により1980年代半ばから1990年代半ばにかけてエファテ島の地表地熱資源探査が行われ、Takara地区からその西部のMt. Sussunatarr付近が地熱資源的に注目された。しかしながら、地熱資源の存在を確認する坑井調査が、まだ実施されていない。坑井調査にはかなりの費用がかかるので、その先に開発の展望が描けなければ、なかなか踏み切れなかったものと考えられる。

2001年3月にエファテ島において3MWのバイナリー地熱発電プロジェクトが計画された。総予算はUS\$13.34millionである。Takara地区がその対象と推定される。しかしながら、筆者らがヴァヌアツを訪問した2002年3月段階ではこのプロジェクトは何ら進展はしていなかった。恐らく資金調達ができずに、雲散霧消してしまっただけに見受けられる。

今後、ヴァヌアツで実質的な地熱開発を考えるならば、次の段階としてはTakara地区あるいは周辺地区の坑井調査、およびテウマリフトゾーンのMid Teuma付近において地質精査、1m深地温調査、土壌中のHgガス調査、比抵抗調査等を実施し、試錐掘削位置を抽出した後、坑井掘削による地熱資源の賦存を確認する調査を提案したい。1MW以下の小規模なバイナリー発電を計画する場合には、坑井調査の必要はないであろうが、インフラの整備が整っていない地域での経済性を考慮すると、あ

まり小さい規模の地熱発電は事業として成り立たない可能性が懸念される。

トンゴア島については、地表の地熱徴候から、まだ地熱系として十分には成熟せず、変質帯の形成も小規模で、貯留構造が形成されていない可能性が大きいと考えている。可能ならば、高温の地熱徴候地に100m~300m程度の小口径調査井を数本掘削し、海水準付近の温度や、変質の状況を確認することが必要である。恐らく数100kW程度の小規模な地熱発電は可能であろう。しかしながら、トンゴア島は自給自足に近い社会であり、開発費と探査リスクをかけて地熱開発を目的とした調査を実施する価値があるのか疑問を感じている。初めは何らかの換金作物を育て、収入を得、小規模なディーゼル発電機を持ち込む方がリスクは少なく現実的であろう。将来、何らかの産業ができ、ある程度まとまった電力需要が発生すれば、小規模でもベース電源として地熱発電を考えることは意義であろう。筆者らを大歓迎して下さったトンゴア島 Kurumambwe の人々の期待は受け止めながら、現実を考えると、なにがしかの産業、言い換えれば、現金収入を考えねば、最初に援助により地熱発電を始めたとしても維持することが難しいのではないかと感じている。

小さな新しい火山島では、透水性が高い火山岩から構成されているので、沢に水がなく、海水準に Ghyben-Herzberg レンズと呼ばれる淡水層が海水層の上部に薄く形成されているだけである。雨期は凌げても、乾期には水に苦労している。海岸部の地熱を利用して、簡単な真水と塩を製造する装置を工夫できれば、非常に喜ばれるのではないかと考える。ただし、電気はない。どなたかアイデアがあれば教えて頂きたい。

50kW~100kW程度の小型バイナリー発電機が自動車や家電製品くらいに大量に生産され、価格が自動車や家電製品程度にまで低価格化すれば、トンゴア島のようなところでも地熱発電は可能となるであろう。そのような時代が来る日が近いことを期待している。

ヴァヌアツにおいて地熱を利用した「クリーン開発メカニズム(CDM)」を考える時には、地熱資源が豊富にあるだけでは開発が難しく、需要のあるところでなければ意味があるものにはなり得ないと、

自明のことを今回改めて考え直した。将来、水素エネルギーが普及した時には、南海の孤島でも地熱資源があれば地熱発電を行い、海水を電気分解して水素を作り、輸出するという事は可能かもしれない。しかし、今はまだ時期が早い。このアイデアはいつか実現させるために、今しばし温めておこう。

謝辞：2002年3月に実施したヴァヌアツ地熱予察調査について地質ニュースへ掲載くださる機会を与えて頂き深く感謝している。また、現地でご支援頂いたJICA駐在員事務所の赤星所長、松本専門家をはじめとする専門家、青年協力隊の方々には紙面をお借りして御礼を申し上げたい。また、本調査に際して、ASTER、JERS-1等の衛星画像の取得にご支援いただいた産総研の浦井 稔主任研究員、X線回折にご支援いただいた産総研の谷口政碩主任研究員に御礼申し上げる。

文 献

- Ash R. P., Carney J. N. and Macfarlane A. (1978) : Geology of Efate and Offshore Islands, New Hebrides Condominium Geological Survey, Regional Report; 49.
- Carney, J.N. (1982) : Efate Geothermal Project Phase I. Geology and reconnaissance hydrology of the Project Area. Overseas Division, IGS.
- Cox Malcolm E. (1980) : Geothermal Occurrences in the Southwest Pacific, UN ESCAP, CCOP/SOPAC Tech. Bull. 3, 197-219.
- Greenbaum, D. (1974) : Geothermal activity on Efate, Annual Report of the Geological Survey for the year 1972, New Hebrides Condominium, 11-13.
- Hochstein, M. P. (1977) : Geothermal reconnaissance, Efate. Annual Report of the Geological Survey for the year 1975, New Hebrides Condominium, 29-33.
- KRTA-GENZL (1987) : A Report on A Survey of Geothermal Resources, Efate Island, Vanuatu, 1985-1986, undertaken for N.Z. Ministry of Foreign Affairs by KRTA-GENZL. 63.
- Monzier, M., Robin, C. and Eissen, J-P. (1994) : Kuwae (=1425 A.D.) : the forgotten caldera. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 59, 207-218.
- Promocom Ltd. (2001) : Destination - South Pacific - Vanuatu, 87.
- Wendell A. Duffield, John H. Sass, and Michael L. Sorey (1997) : Tapping the Earth's Natural Heat. U.S. Geological Survey Circular 1125, 63.

HORIKOSHI Takamasa, MURAOKA Hirofumi and TAKAHASHI Masaaki (2002) : On the geothermal resources in Vanuatu - Visiting Efate and Tongoa Islands -

<受付：2002年7月17日>