

アルゼンティン共和国
ネウケン州北部地熱開発計画調査

(第1, 2年次)

中間報告書

1983年11月

国際協力事業団

鉦計資

83-115

アルゼンティン共和国
ネウケン州北部地熱開発計画調査
(第1, 2年次)
中間報告書

1983年11月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1053763[7]

国際協力事業団	
---------	--

受入 月日 '84. 9. 21	701
登録No. 10710	643
	MPN

目 次

まえがき	.....	I
要 結	.....	III
1. 総 説	.....	1 - 1
1.1 アルゼンティンにおける地熱開発の背景	.....	1 - 1
1.1.1 アルゼンティンのエネルギー事情	.....	1 - 1
1.1.2 アルゼンティンにおける地熱開発事情	.....	1 - 3
1.2 ネウケン州における地熱開発の背景	.....	1 - 6
1.2.1 ネウケン州のエネルギー事情	.....	1 - 6
1.2.2 ネウケン州における地熱開発事情	.....	1 - 7
1.3 調査に至る経緯	.....	1 - 8
1.4 調査の目的	.....*	1 - 8
1.5 調査の手法	.....	1 - 9
1.6 調査の体制と調査団の編成	.....	1 - 11
1.6.1 調査の体制	.....	1 - 11
1.6.2 調査団の編成	.....	1 - 11
1.7 調査日程	.....	1 - 12
1.8 調査地域の概要	.....	1 - 15
1.9 調査の実施作業量	.....	1 - 16
2. 第1次調査(広域調査)の概要	.....	2 - 1
2.1 第1次調査(広域調査)の内容	.....	2 - 1
2.2 広域地質と地質構造	.....	2 - 2
2.2.1 地質概要	.....	2 - 2
2.2.2 地質構造概要	.....	2 - 3
2.3 広域地熱構造	.....	2 - 4
2.3.1 新期火山と地熱徴候概要	.....	2 - 4
2.3.2 第1次地熱構造モデル	.....	2 - 5
2.4 第2次調査対象地域の選定と実施計画	.....	2 - 6
2.4.1 第2次調査対象地域の抽出	.....	2 - 6
2.4.2 第2次調査の基本方針と調査計画内容	.....	2 - 6
3. 調査地域の地質	.....	3 - 1
3.1 地形図の作成	.....	3 - 1
3.2 地質層序と地質単元	.....	3 - 2
3.2.1 基盤岩類	.....	3 - 2
3.2.2 中生層	.....	3 - 3
3.2.3 第三紀層	.....	3 - 4

3.2.4	新期火山岩類	3-4
3.2.5	氷河堆積物及び河川堆積物	3-5
3.3	構成岩石の岩石学的特徴	3-5
3.3.1	岩石の絶対年代	3-5
3.3.2	顕微鏡観察による岩石の特徴	3-8
3.3.3	完晶質岩の特徴	3-11
3.3.4	新期火山岩の特徴	3-12
3.4	構成岩石の物性	3-13
3.4.1	密度	3-13
3.4.2	有効空隙率	3-13
3.4.3	帯磁率	3-14
3.4.4	比抵抗	3-14
3.4.5	熱伝導率	3-14
3.5	地質のまとめ	3-15
4.	調査地域の地質構造	4-1
4.1	地質分布及び岩石物性からみた地質構造	4-1
4.1.1	地質分布からみた地質構造	4-1
4.1.2	岩石物性からみた地下構造	4-2
4.2	重力分布から推定される地下構造	4-2
4.2.1	現地重力探査	4-2
4.2.2	補正密度	4-4
4.2.3	ブーゲー異常の解析結果	4-6
4.3	地質構造に関する考察	4-9
4.3.1	重力異常域と地質との関係	4-9
4.3.2	重力断面解析による基盤構造	4-10
4.3.3	東部低重力異常域についての検討	4-11
4.3.4	断層系の検討	4-12
4.4	地質構造のまとめ	4-13
5.	調査地域の熱構造	5-1
5.1	変質帯	5-1
5.1.1	変質帯調査の目的と方法	5-1
5.1.2	各変質帯の状況	5-1
5.1.3	変質分帯	5-3
5.1.4	地熱徴候としての変質に関する考察	5-5
5.2	地温と地化学	5-6
5.2.1	地温分布調査と地化学探査の目的及び方法	5-6
5.2.2	1 m深地温測定結果及び解析	5-6

5.2.3	水銀濃度分布調査及び解析	5-8
5.2.4	炭酸ガス濃度分布調査及び解析	5-8
5.2.5	地熱徴候としての地温・地化学異常に関する考察	5-9
5.3	熱源	5-11
5.3.1	火山活動	5-11
5.3.2	熱源としてのマグマ溜り	5-12
5.4	熱構造のまとめ	5-12
6.	調査地域の地熱流体構造	6-1
6.1	水文	6-1
6.1.1	水文調査の目的及び方法	6-1
6.1.2	流量測定結果および解析	6-1
6.1.3	水文に関する考察	6-3
6.2	温泉及び噴気	6-4
6.2.1	温泉水及び噴気ガス調査の目的及び調査対象地域	6-4
6.2.2	温泉水の主成分	6-4
6.2.3	温泉水の解析結果	6-6
6.2.4	噴気ガスの主要成分及び解析結果	6-10
6.3	地熱流体構造に関する考察	6-13
6.3.1	温泉水の泉質と地化学温度からみた地域の特徴と分布	6-13
6.3.2	温泉・噴気ガスの地熱流体構造との関係	6-14
6.3.3	熱水, 温泉水, 地下水及び地表水の循環に関する基本的な考え方	6-15
6.4	地熱流体構造のまとめ	6-16
7.	地熱構造モデル	7-1
7.1	地質構造モデル	7-1
7.1.1	地質層序と重力異常からみた地質構造モデル	7-1
7.1.2	断層および断裂系からみた地質構造モデル	7-2
7.2	熱構造モデル	7-2
7.2.1	熱構造平面モデル	7-3
7.2.2	熱構造断面モデル	7-4
7.3	地熱流体構造及び貯留層構造モデル	7-5
7.3.1	熱水の生成モデル	7-5
7.3.2	地熱流体循環モデル	7-5
7.3.3	貯留層構造モデル	7-6
8.	総括	8-1
8.1	第1次・第2次調査のまとめ	8-1
8.1.1	地熱開発計画調査の目的と経緯	8-1
8.1.2	第2次調査結果のまとめ	8-1

8.2	地熱開発の可能性と重点目標地域	8-3
8.3	今後の地熱開発調査の課題	8-4
8.3.1	第3次調査の基本方針	8-4
8.3.2	第3次調査の方策	8-5
付帯資料(各種調査手法の説明と結果) 巻末一括		
A. 1	地形図作成	A-1
A. 2	フィッシュトラック法年代測定	A-1
A. 3	K-Ar法年代測定	A-4
A. 4	顕微鏡観察	A-5
A. 5	岩石物性測定	A-7
A. 6	重力探査	A-11
A. 7	X線回折	A-27
A. 8	地温及び地化学	A-29
A. 9	流量測定	A-30
A. 10	温泉及び噴気調査	A-31

付 図

- Fig. 1-1 調査地域位置図
- Fig. 1-2 ネウケン州北部状況説明図
- Fig. 2-1 ランドサット画像による地質解析図
- Fig. 2-2 広域地質図
- Fig. 2-3 空中写真による地質解析図
- Fig. 2-4 踏査ルート選定位置図
- Fig. 2-5 地熱構造モデル
- Fig. 3-1 空中写真標定点及び測量基準点位置図
- Fig. 3-2 鳥かん図
- Fig. 3-3 総合地質柱状図
- Fig. 3-4 地 質 図
- Fig. 3-5 地質断面図
- Fig. 3-6 完晶質岩のQ-Kf-Plモード図
- Fig. 3-7 花崗閃緑岩中の節理系
- Fig. 3-8 アルカリ・シリカ関係図
- Fig. 3-9 MKF組成図
- Fig. 3-10 岩石試料採取位置図
- Fig. 3-11 岩石物性総合図
- Fig. 4-1 ラコステG型重力計
- Fig. 4-2 基準点及び基点スケッチ
- Fig. 4-3 測量ルート図
- Fig. 4-4 重力日変化観測結果図
- Fig. 4-5 g-H関係図
- Fig. 4-6 広域ブーゲー異常図
- Fig. 4-7 ブーゲー異常図 ($\rho = 2.30$)
- Fig. 4-8 ブーゲー異常図 ($\rho = 2.00$)
- Fig. 4-9 ブーゲー異常図 ($\rho = 2.50$)
- Fig. 4-10 長波長ブーゲー異常図
- Fig. 4-11 短波長ブーゲー異常図
- Fig. 4-12 3次元ブーゲー異常図
- Fig. 4-13 重力分布区分図
- Fig. 4-14 重 力 解 析 図
- Fig. 4-15 重力断面解析図 (A-A')
- Fig. 4-16 重力断面解析図 (B-B')

- Fig. 4 - 17 重力断面解析図 (C - C')
- Fig. 5 - 1 変質帯位置図
- Fig. 5 - 2 変質帯スケッチの範囲と広域変質鉱物強度指数図
- Fig. 5 - 3 変質帯スケッチ ; Rincon de Las Papas
- Fig. 5 - 4 変質帯スケッチ ; La Bramadora
- Fig. 5 - 5 変質帯スケッチ ; El Humazo - 1
- Fig. 5 - 6 変質帯スケッチ ; El Humazo - 2
- Fig. 5 - 7 変質帯スケッチ ; El Humazo - 3
- Fig. 5 - 8 変質帯スケッチ ; Las Olletas
- Fig. 5 - 9 変質帯スケッチ ; Los Tachos - 1
- Fig. 5 - 10 変質帯スケッチ ; Los Tachos - 2
- Fig. 5 - 11 変質帯スケッチ ; Los Tachos - 3
- Fig. 5 - 12 X線回折分析チャート
- Fig. 5 - 13 Los Tachos 変質分帯図
- Fig. 5 - 14 1 m 深調査孔位置図
- Fig. 5 - 15 1 m 深地温測定結果と等温線図
- Fig. 5 - 16 1 m 深地温度数分布図
- Fig. 5 - 17 気温及び 1 m 深地温の日変化
- Fig. 5 - 18 気温及び 1 m 深地温の経日変化
- Fig. 5 - 19 1 m 深地温移動平均図
- Fig. 5 - 20 1 m 深地温と標高の関係図
- Fig. 5 - 21 1 m 深地温残差 (1 次)
- Fig. 5 - 22 1 m 深地温残差 (2 次)
- Fig. 5 - 23 Hg 濃度結果図
- Fig. 5 - 24 Hg 濃度度数分布図
- Fig. 5 - 25 Hg 濃度移動平均図
- Fig. 5 - 26 CO₂ 濃度結果図
- Fig. 5 - 27 CO₂ 濃度度数分布図
- Fig. 5 - 28 CO₂ 濃度移動平均図
- Fig. 5 - 29 地温・Hg濃度・CO₂ 濃度相関図
- Fig. 5 - 30 地温残差値とHg・CO₂ 濃度相関図
- Fig. 5 - 31 1 m 深調査異常値関係図
- Fig. 5 - 32 地温・地化学異常域総合図
- Fig. 6 - 1 流量測定位置及び比流量計算図
- Fig. 6 - 2 流量・水温・気温日変化
- Fig. 6 - 3 模式有効空隙率柱状図
- Fig. 6 - 4 温泉水・噴気ガス・凝縮水採取位置図

- Fig. 6 - 5 同上詳細図 Rincon de Las Papas
- Fig. 6 - 6 " La Bramadora
- Fig. 6 - 7 " El Humazo -1
- Fig. 6 - 8 " El Humazo -2
- Fig. 6 - 9 " El Humazo -3
- Fig. 6 -10 " Las Olletas
- Fig. 6 -11 " Aguas Calientes
- Fig. 6 -12 " Baños del Agua Caliente
- Fig. 6 -13 " Los Tachos +1
- Fig. 6 -14 " Los Tachos -2
- Fig. 6 -15 " Los Tachos -3
- Fig. 6 -16 主要成分の相互関係図
- Fig. 6 -17 (1)~(3)主要成分のヘキサダイアグラム
- Fig. 6 -18 Cl-HCO₃-Bダイアグラム
- Fig. 6 -19 温泉水と海水のイオン濃度指数図
- Fig. 6 -20 シリカ温度計(1)
- Fig. 6 -21 混合モデル1-1によるシリカ温度計
- Fig. 6 -22 混合モデル1-2によるシリカ温度計
- Fig. 6 -23 混合モデル2によるシリカ温度計
- Fig. 6 -24 温泉・噴気ガス分帯と地化学温度総合図
- Fig. 7 - 1 地質構造総合解析図
- Fig. 7 - 2 熱構造総合解析図
- Fig. 7 - 3 地熱流体貯留層構造モデル(1)
- Fig. 7 - 4 地熱流体貯留層構造モデル(2)
- Fig. 8 - 1 第3次調査計画案

付 表

Table 1-1	国民1人当りのエネルギー消費量の例
Table 1-2	アルゼンティンのエネルギー資源の生産と自給率の推移
Table 1-3	アルゼンティンのエネルギー需給構造
Table 1-4	アルゼンティンのエネルギー資源用途別消費の推移
Table 1-5	エネルギー庁の地熱開発計画による有望地域と開発スケジュール
Table 1-6	ネウケン州におけるエネルギー資源の生産と包蔵の比率
Table 1-7	アルゼンティンの地方別エネルギー消費の分布と伸びの見込み
Table 1-8	3段階調査フローチャートとその内容
Table 1-9	3段階調査工程計画表
Table 1-10	実施調査量一覧表
Table 3-1	使用空中写真一覧表
Table 3-2	測量基準点一覧表
Table 3-3	地質層序対比表
Table 3-4	フィッシュントラック年代測定結果表
Table 3-5	フィッシュントラック年代測定総括表
Table 3-6	K-Ar法年代測定結果表
Table 3-7	全岩分析結果一覧表
Table 3-8	ノルム計算結果一覧表
Table 3-9	岩石試料一覧表
Table 3-10	岩石物性測定結果総括表
Table 4-1	重力計定数及びスケールコンスタント表
Table 4-2	基準点の重力計算値表
Table 5-1	変質帯調査結果総括表
Table 5-2	変質鉱物温泉沈殿物諸性質一覧表
Table 5-3	地温度数分布表
Table 5-4	Hg濃度度数分布表
Table 5-5	CO ₂ 濃度度数分布表
Table 6-1	流量測定結果一覧表
Table 6-2	流量及び比流量一覧表
Table 6-3	比流量総括表
Table 6-4	温泉水・凝縮水分析結果一覧表
Table 6-5	温泉水と海水のイオン濃度比較表
Table 6-6	地化学温度計算結果一覧表
Table 6-7	噴気ガス分析結果一覧表

ま え が き

本報告書は、アルゼンティン共和国政府の要請に基づき、日本国政府とアルゼンティン共和国政府との間で、1982年2月25日に締結されたS/W (Scope of Work) によつて実施された「アルゼンティン共和国ネウケン州北部地熱開発計画調査」の第1次、第2次現地調査およびその解析・検討の結果をまとめた中間報告書である。

この調査の実施に当つては、アルゼンティン政府とネウケン州政府側 counter part の極めて積極的且つ友好的な協力と現地日本側政府出先機関の支援を得て、順調な工程進行をみると共に、第1次、第2次各段階の調査に於て、極めて興味ある負、試料が得られた。これらを解析・検討した結果も以下に詳報するごとく、ネウケン州北部地域内で各種の手法により段階的に target を絞りながら Domuyo 地区内の凡そ 4 0 km² の範囲が地熱貯留層胚胎の場として、極めて有望であり、更にこれを追究、確認するための次段階調査が是非必要であるとの結論に達した。

この報告書の提出にあつて、調査チームの名においてアルゼンティン、日本両国の関係機関および調査地域の関係者の協力、支援に対して深い感謝の意を表する。

要 結

1. アルゼンティン共和国は、その内蔵するエネルギー事情を解決する一助に、1979年に「地熱開発基本計画」を公布して、地熱資源の開発を積極化した。又、ネウケン州はこの一環としてのローカルエネルギー開発による過疎地の活性化を目指して、州内地熱資源の開発を重点政策としており、当該調査はこれらの背景に沿ったものである。

● 2. 当該調査は1982 (S. 57) 年2月から開始され、アルゼンティン共和国ネウケン州北部地域の15,000 km^2 の範囲の地熱資源を対象に、広域概査から精査に至る各種手法による3段階の調査を実施して、次第に焦点を絞り、最終的に地熱貯留層胚胎の場としての最有望地区を選定して、その地熱貯留層構造を解明・把握および評価するとともに、以後に必要とされる調査井の掘削等を含めた適切な探査の指針と計画を提言することを目的としている。

3. 第1段階広域調査(第1次調査)は1982 (S. 57) 2月~3月に実施され、域内の地熱徴候地 Vn. Domuyo, Vn. Tromén および Co. Carrereの各地区を含む15,000 km^2 に対してリモートセンシング解析、空中写真地質解析や地表踏査による概査を行い、この地域の広域地質構造や各地熱徴候地の実態を把握確認した上で、第2段階調査の対象とすべき最有望地区として、Vn. Domuyo 西側の Domuyo 地熱徴候地 200 km^2 の範囲を選定した。

4. 第2段階調査(第2次調査)は1982 (S. 57) 年11月~1983 (S. 58) 年3月にわたって実施され、対象 Domuyo 地区 200 km^2 の範囲を対象に、地質、地化学、水文および重力の各種手法による精査を行い、地区の有望性と次段階調査の必要性を確認するとともに、第3段階調査の対象とすべき有望な焦点地区として40 km^2 の範囲を選定した。

5. Domuyo 地区では域内に温泉、蒸気、ガスの噴出を伴う高温、優勢な地熱徴候が多数存在し、又、調査の結果得られた

- (1) 地質層序、重力異常、断層・断裂系等のデータによる地質構造、
- (2) 土壌、温泉、蒸気、ガス等の地化学的データ、水文学的データおよび地温データ等による熱構造や地熱流体構造、
- (3) これらを総合的に解析したデータによる地熱貯留層構造、

等について極めて有望且つ興味ある知見が得られた。

6. 今後必要とされる第3段階調査では、選定された40 km^2 の最有望範囲に対して、詳細な

地下地質構造と地熱流体構造を把握するための地下深部の情報を得る目的で、

- (1) 反射法地震探査による層序・基盤構造および断裂系の精査
- (2) 垂直電気探査による地下深部の変質帯および低比抵抗帯の調査
- (3) 孔井測温調査による地下熱流量の調査

を主体とした各種調査と全段階の調査結果を併せた最終的な総合解析と検討を行い、当該地区の地熱貯留層構造を解明し、且つポテンシャルを評価することが必要と考えられる。

1. 総

説

1. 総 説

1.1 アルゼンティンにおける地熱開発の背景

1.1.1 アルゼンティンのエネルギー事情

アルゼンティンは、中南米諸国の中では国民所得の水準や、国民エネルギー消費量が比較的高い。

Table 1-1 国民1人当りのエネルギー消費量の例

(石油換算 ton/年)

国 別	年度別	
	1975年	1978年
アルゼンティン	1.201	1.274
メキシコ	0.833	0.941
ブラジル	0.479	0.540
日本	2.463	2.602
アメリカ	7.397	7.737
世界平均	1.327	1.411

(国連資料)

一方、同国に石油、天然ガス、水力、ウラン等の天然エネルギー資源に恵まれており、Table 1-2 に示す如くその自給率は高く、石油に限ってみれば1985年には完全な自給を目指している。

Table 1-2 アルゼンティンのエネルギー資源の生産と自給率の推移

年度別 資源別	1974年		1976年		1978年	
	生産量	自給率	生産量	自給率	生産量	自給率
石油	(千ton) 2,124.6	(%) 87.6	(千ton) 2,043.7	(%) 86.8	(千ton) 2,017.9	(%) 91.4
天然ガス	7,257	82.9	8,587	81.1	9,284	78.8
石炭	626	40.8	615	42.5	434	34.7
ウラン鉍	30	?	141	?	253	?

(エネルギー庁資料)

しかし同国におけるエネルギー需給構造の特徴として、Table 1-3 にみられるごとく、推定供給可能量と消費量との不均衡、特に石油、天然ガス等の再生不能エネルギー源への過度な依存が認められ、将来の問題点であるとともに、今日この石油の不足分の輸入は小規模であっても、1979年には全輸入額の6%に達して外貨事情圧迫の一つの要素となっている。

Table 1-3 アルゼンティンのエネルギー需給構造

(1979年現在)

	推定供給可能量		消費量(年間)	
	石油換算(100万ton)	%	石油換算(100万ton)	%
水力発電	1,430.0	52.9	3.1	7.6
石油	344.4	12.7	24.7	61.0
天然ガス	508.1	18.8	9.2	22.7
石炭	80.4	3.0	1.0	2.5
ウラン鉱	280.5	10.4	0.6	1.5
その他	60.5	2.2	1.9	4.7
合計	2,703.4	100.0	40.5	100.0

(エネルギー庁資料)

石油、天然ガスは石油公社、ガス公社の手で活発な探査、開発が行われており、今後ある程度の供給量の増加が見込まれるものの、1978年の資料では、将来の推定供給可能量として石油は14年分、天然ガスは55年分程度が見込まれているに過ぎない。

アルゼンティン政府は重要課題として、石油、天然ガス等の再生不能エネルギー資源の可能な限りの温存、および石油、ガス化学工業の振興による高付加価値原料としての活用を計るため、Table 1-4にみられるごとく、1976年のエネルギー生産における石油依存率66.6%を1985年までに51.6%とすることを策定し、代替国産エネルギー源の開発を計りつつあり、中期的には石炭、天然ガス、長期的には水力、原子力、地熱等の開発に関して、政策的な配慮がなされている。

Table 1-4 アルゼンティンのエネルギー資源の用途別消費の推移

年別 資源別	1976年実績	1979年実績	1985年計画
石油	66.6 (%)	61.0 (%)	51.6 (%)
天然ガス	22.8	22.7	27.4
水力	6.0	4.7	2.8
石炭	2.5	7.6	10.4
原子力	1.2	1.5	3.0
木炭	0.9	2.5	4.8
計	100	100	100

(エネルギー庁資料)

1.1.2 アルゼンティンにおける地熱開発事情

アルゼンティンにおける地熱開発は、前述代替エネルギー開発政策の一環として位置づけられるが、

- (1) 同国がアンデス脊梁山脈沿いの火山・地震活動の活発な地域を擁して世界的にも地熱資源賦存ポテンシャルが高い事、
- (2) 同国の広大な国土内の人口分布、経済活動に伴うエネルギー消費、生産の地域単元の分布が偏在し、全域的なエネルギー流動は効率が悪く、構造的な問題がある事、
- (3) 同国の地熱資源分布地帯は、アンデス山脈沿いの同国内での社会的、経済的後進地域開発振興の直接的引金となる事、
- (4) 現在、世界的な代替エネルギー対策の一環として、世界各国で地熱開発が技術的にも経済的にも進展しつつあるが、アルゼンティンの国民性として、南米諸国の中での域内リーダーとして常に先進性を保つため、新技術に属する地熱開発についても他に先がけたいとの国民的合意が強い事、

等の事情をも背景に、1979年同国政府の公共事業省国家エネルギー庁と大統領府企画庁の提案による「国家地熱開発基本計画」が大統領令第3408/79号として承認公布された。これは同国内の地熱資源開発を目的とした調査、研究および技術開発の振興と、このために国家エネルギー資金を充当することを認めたものである。

更に1980年3月には、この基本計画の施行のための1980年～1984年にわたる地熱開発実施計画が発表された。この時点では、全国で地熱有望地域として7ブロック15地域がノミネートされ、この5年間の概略スケジュールが決められた(Table 1-5参照)。この骨子は最初の予備的、基礎的調査の段階では、前記政令にもとづき、国家が財政的支

援を行いつつ、実施は地方自治体（州）が担当し、開発投資段階では民間の参加を認めることとし、取り敢えず国内の有望地域の調査と概評価を比較的短期間で実施しようとするものである。

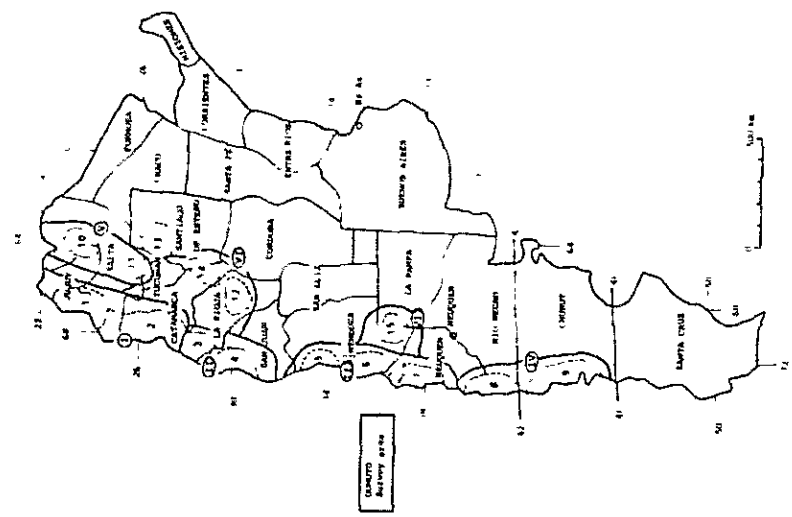
このスケジュールによる現状は、ネウケン州以外は遅れ気味で、最近ようやくフファイ州、サルタ州、サンファン州およびメンドサ州等がそれぞれ予備的調査に着手する気運にある。

Table 1-5 エネツルギニ庁の地熱開発計画による有望地域と開発スケジュール

地熱地域名		開発スケジュール							
大ブロック	小ブロック	地名	1979	1980	1981	1982	1983	1984	
I	Puna	1	Jujuy	※ Tuzgle					
		2	Salta	◀ Catamarca	→ Salta				
II	Cordillera Norte	3	Tinogasta						
		4	Iglesia						
III	Cordillera Principal	5	Tupungato						
		6	Sosneado						
		7	Chos Malal	※ Copahue	◎ Domuyo				
IV	Cordillera Sur	8	Neuquen						
		9	Chubut						
V	Sub Andina	10	Sta. Barbara						
		11	Metan						
VI	Sierra Pampeanas	12	Belen						
		13	Famatina						
		14	Rio Hondo						
VII	Mendoza Sur	15	Payun Matro						

..... 予察調査
 → 予備F/S調査
 [スケジュールは歴年]

注 ※：イタリア系地熱コンサルタントに発注調査せる地域
 ▲：日本政府に提案あった地域
 ◎：ネウケン州北部地熱開発計画調査対象地域



1.2 ネウケン州における地熱開発の背景

1.2.1 ネウケン州のエネルギー事情

ネウケン州は、州中央部の石油、天然ガス田と州東境界を流れるコロラド河(Rio Colorado)、リマイ河(Rio Limay)を中心とする水系を擁して、アルゼンティン国内22州の中では最も恵まれており、Table 1-6でみるごとく電力(水力)、石油、天然ガスの包蔵と生産は国内でも有数である。

Table 1-6 ネウケン州におけるエネルギー資源の生産と包蔵の比率

	1980年現在	
	生産量全国比 (%)	推定包蔵量全国比 (%)
水 力	35	60
石 油	13	43
天然ガス	25	70

(州資料)

又、州政府の活発な工業振興政策(石油・ガス化学、セメント、粘土工業、農産加工等)の影響もあって、エネルギー消費の地域分布をみると、Table 1-7でみるごとく、ネウケン州の将来のエネルギー消費の伸びは他地方と比較して著しく大きく見込まれている。

Table 1-7 アルゼンティンの地方別エネルギー消費の分布と伸びの見込

地域別	年度別	1977年	1990年推定	$\frac{1990}{1977}$ 変動率
北 西 部		4.7 (%)	6.6 (%)	1.40 (%)
北 東 部		2.7	4.0	1.48
中 央 部		6.9	6.4	0.93
ク - ヨ 地 方		9.4	10.9	1.16
パ タ ゴ ニ ア 地 方		6.8	6.4	0.94
コマウエ(ネウケン州)		2.8	5.5	1.96
ブエノスアイレス南部		6.5	7.8	1.20
首 都 圏		45.0	34.7	0.77
リ ト ラ ル 地 方		15.2	17.7	1.16
合 計		100.0	100.0	100.0

(エネルギー庁資料)

現在、ネウケン州内のエネルギー資源、即ち石油、天然ガス、水力発電の生産と運用は全て中央政府およびこれに直結した石油、ガス、電力各公社に属しており、その流動は殆んど完全に首都圏を中心とする消費地帯に向けられており、州政府にとっては、生産に伴う地域雇庸と付随的経済アクティビティーの他には直接的メリットは少ないとされている。一方州政府としては、地域開発振興のための工業化政策の基本に、州独自でガス化学工業の振興と、併せて州自前のローカルエネルギーの確保と、これによる州内後進過疎地帯の開発を重点的に取り上げ、後者については地熱資源の開発を特定した。

1.2.2. ネウケン州における地熱開発事情

アルゼンティンでは、歴史的には地熱への関心は薄く、ただアンデス山脈火山地帯にかかる火山学、火山地質学的観点と、温泉医学の観点からいくつかの調査研究がなされて来たに過ぎなかった。

一方、ネウケン州内には著名な火山や温泉の分布が比較的多く、前述の既調査研究の殆んどが州内で実施されたものであって、必然的に州内での地熱ポテンシャルへの期待が紹介されている。

1974年、州内油田地帯で作業中の石油公社（YPF）は、州西部のチリー国境に近いコパウエ（Copabue）火山温泉地帯に関心を持ち、石油公社自身で試験的に若干の基礎的調査を行った後、1976年に深度1,500mの予定で調査井の掘削を行い、深度860m以降で乾質高温蒸気に逢着したのち、技術的なトラブルから深度954mで掘削を打ち切り放置した。

その後、1979年の国家地熱開発基本計画の公布を受けて、州政府は1980年12月にエネルギー庁と協定を結び、コパウエ地区の地熱開発を州政府の手で再開することにした。州政府は企業局的性格を持った開発局（Secretaría de Estado del COPADE : Consejo de Planificación y Acción para Desarrollo）を設けて担当させ、エネルギー庁の資金援助を受け、コパウエ地区の地熱ポテンシャルを認識するために必要な調査コンサルタント業務を国際入札し、イタリア系地熱コンサルタント業者〔Electroconsult（ELC）〕に純商業ベースで発注した。そして1980年～1982年にわたり、同地区の調査を行う一方、放置されていた旧調査井の改修と深度954m以降の再掘削を石油公社の協力で言い、1,414mまで掘削して230℃、 35Kg/cm^2 の蒸気貯留層を把握した。

尚当該調査井は再開掘削予定深度2,000mであったが、同国にとっては技術的に全く未経験であったため、技術的トラブルで途中で中止せざるを得なかった。

コパウエ地区については、1982年以降はイタリア系コンサルタント業者との契約は終了し、州政府としてはコパウエ地区地熱貯留層の具体的な開発を進めるための次段階の作

業を検討中である。

又この間、州開発局技術者により、州北部を含む他の州内地熱微候地への予察が実施され、又技術研修のため州予算により地熱技術者2名を国連国際地熱研修コースに派遣留学させている。

1.3 調査に至る経緯

前各項で述べた事情を背景に、アルゼンティン政府は計画の推進策の一環として、1981 (S.56) 年度に日本政府に対して、地熱開発に関する技術協力援助の公式要請を行った。日本政府はこの要請を受け、国際協力事業団 (JICA) が地熱開発計画調査の適否および調査対象地域の評価選択のため同年9月と12月の2回にわたり事前調査団を派遣した。当該調査団は、アルゼンティン側から提案のあった5地域 (Table 1-5 参照) 即ち

サンティアゴ デ エステロ州 リオ オンド (Rio Hondo) 地区
ラ リオハ州 ファマティナ (Famatina) 地区
カタマルカ州 カタマルカ (Catamarca) 地区
メンドサ州 ツプンガート (Tupungato) 地区
ネウケン州 ドムージョ (Domuyo) 地区

について調査検討を行った結果、ネウケン州のドムージョ地区を含む同州北部を調査対象地域として取り上げる事が提言された。次いで、1982 (S.57) 年2月、国際協力事業団とアルゼンティン政府側 (企画庁、エネルギー庁およびネウケン州政府) との間で「アルゼンティン共和国ネウケン州北部地熱開発計画調査」にかかる S/W が締結され、当該調査の着手に至ったものである。

1.4 調査の目的

当該調査の主たる目的は、締結された S/W にもとづき、アルゼンティン共和国ネウケン州北部地域の 15,000 ㎢ の範囲の地熱資源を対象に、広域概査から精査に至る各種手法による3段階の調査を実施して、次第に焦点を絞り、最終的に地熱貯留層胚胎の場としての最有望地区を選定して、その地熱貯留層構造を説明・把握および評価するとともに、以後に必要とされる調査井の掘削等を含めた適切な探査の指針と計画を提言することである。

この間、第2段階調査 (第2年次) 終了時点では、第1段階、第2段階の調査の結果を総合的に解析し、対象となる地熱貯留層の概念モデルを想定し、且つ第3段階調査への進行の可否と、その範囲の設定や作業手法の検討等を行うことも予定された。

又、今日ようやく端緒につかんとしているアルゼンティン側の地熱探査開発に携わる現地技術陣に対して、この調査を一つのモデルとして、地熱資源の探査に関する各段階の技術の移転あるいは付带的に技術陣容の整備に関する助言を行うことも併せて期待された。

1.5 調査の手法

当該調査は、最初ネウケン州北部地方の南緯 $36^{\circ}00'$ ～ $37^{\circ}30'$ 、西経 $69^{\circ}30'$ ～ $71^{\circ}00'$ に囲まれた $15,000\text{km}^2$ を対象とし、3段階における各種調査手法により、最終的には選出された最有望地区における調査井の掘削地点の選定に至る事を目的とするため、概略次のような段階的手法が計画された。

(1) 第1段階（第1年次） 対象： $15,000\text{km}^2$

既存資料の収集・検討を行い、予備的知見を得た上で、リモートセンシング手法（ランドサット画像解析）により広域地質構造の検討と、地域内各地熱徴候地に対する地表概査を行い、有望地域約 $5,000\text{km}^2$ を選出する。

次いで、上述の $5,000\text{km}^2$ を対象に空中写真を使用した地質構造解析および地表地質概査を行って、第2段階調査のための最有望範囲 200km^2 を選出する。

(2) 第2段階調査（第2年次） 対象： 200km^2

事前に対象地域 200km^2 について、空中写真による詳細な地形図（ $1:25,000$ ）を作成する。次いでこれを使用して地域内で地質、岩石、水文、変質帯調査および地化学探査（地温探査）、重力探査と、岩石、土壌、水試料についての関連分析、試験、研究を行い、結果を総合的に解析した上で、対象地熱貯留層のモデルを推定且つ評価して、第3段階調査の対象とする最有望範囲 40km^2 を選出する。

(3) 第3段階調査（第3年次） 対象： 40km^2

最終対象範囲に対して、電気探査（シュランベルジャー法）、地震探査（反射法）および 100m 深度孔井による地温調査等の物理探査と岩石試料による各種試験、研究と、これらの地下情報による総合解析検討を行い、最終目的である対象地域内地下構造、地熱貯留層の把握と地熱ポテンシャルの推定および調査井掘削位置の選定に至る。これらの段階的手法、その内容および各段階での期待されるデータ等をTable 1-8に表示した。又、これらの業務のうち、調査現地で実施されるものと、試験および解析等について日本国内で実施されるものがあるが、各々の過程で日本側技術者からアルゼンティン側技術者への技術伝達が行われる。

Table 1-8 3 段階調査プロセスとその内容

段階別	調査対象範囲	調査手法	調査項目	期待されるデータ
第 1 段階 (第 1 年次)	(前段) 15,000 km ²	既存資料収集検討 ランドサット画像解析 5,000 km ² 抽出 ↓ 空中写真地質解析 地質概査 (現地踏査, 地熱徴候予察調査)	地質状況, 地質構造, 火山, 地熱徴候分布, 断層系, 破砕帯, 水系, 相対的空隙の程度, 土地利用, 地熱徴候特性, アクセスビリティ, 地形等の把握	マグマ活動及び地熱活動の背景 水収支, 熱水貯溜構造, 地熱徴候と火山, 地熱開発有望地及び地熱開発適地, 地熱系の推定
	(後段) 5,000 km ²	200 km ² 抽出 ↓ 地形図凶化 地質調査 岩石調査 水文調査 変質帯調査 岩石試験 (比重・空隙率, 帯磁率, 電気比抵抗, 検鏡, X線分析, 年代測定) 地化学探査 (1 m 深地温, 土壤水銀, CO ₂ ガス, 温泉・噴気ガス) 重力探査	地質構成, 層序, 地質構造, 断層系, 地表面積, 流出量, 地下浸透量見積とその機構, 変質帯の分布, 形状, 拡がり 岩石性状, 組成, 比重, 空隙率, 変質程度, 形成年代, 地温・Hg・CO ₂ の分布と相互関連性 温泉, 噴気の分布, 分布傾向, 湧水量, 含有成分, 含有量, 温度, PH, 導電率, 重力値, 地下構造	地層の拡がり・新旧 (相対的)・厚さ, 岩石性状 水収支, 地熱担体としての水の補給機構, 新旧 (絶対的) 熱源火山活動, 地熱活動のアクティビティ, 熱史, 地熱系, リザーバー温度, 地熱流体上昇機構 地下深部機構 貯溜層モデル
第 2 段階 (第 2 年次)	200 km ²	40 km ² 抽出 ↓ 電気探査 (シュランペルジャー法) 地震探査 (反射法) 100 m 深刺通孔 コア, カッテングス調査 コア一試験 (比重・空隙率, 帯磁率, 電気比抵抗, 検鏡, X線分析, 熱伝導率, 弾性波速度)	電気比抵抗, 深部構造 弾性波速度 (P 波) 温度勾配, 温度分布, 電気比抵抗, 自然電位 岩石比重, 空隙率, 電気比抵抗, 帯磁率, 変質, 熱伝導率, 弾性波速度等の空間的分布と変化状況	低抵抗帯の拡がり, 深度, 形状, 地熱構造 地下構造, 低速度層の拡がり・深度・形状, 熱源温度, 放熱量見積, 地下温度・分布と勾配, 地熱系, 岩石性状変化, 貯溜層モデル (貯溜層工学的見地から) 地熱ポテンシャル評価 調査井掘削計画提案
第 3 段階 (第 3 年次)	40 km ²			

1.6 調査の体制と調査団の編成

1.6.1 調査の体制

当該調査の日本，アルゼンティン双方のS/Wにもとづく体制は次の通りである。

日 本 側：国際協力事業団

アルゼンティン側：大統領府企画庁

公共事業省エネルギー庁

ネウケン州政府

又，調査の実務面では

日本側（業務実施受託者）：日鉱探開株式会社

アルゼンティン側（主務者）：ネウケン州政府開発局

が担当する他，アルゼンティン側では工鉱業省鉱山庁鉱山局，同地質局，陸軍工廠開発局から，又州政府内では鉱山局，水利局，測量局等から技術的に，又資料提供等の支援を得ている。

1.6.2 調査団の編成

(1) 第1次調査

日 本 側 調 査 団			アルゼンティン側 カウンターパート		
区分・担当	氏 名	所 属	区分・担当	氏 名	所 属
団長・総括	掛川 周男	日鉱探開協	責任者・総括	Alfredo Esteves	州開発局
地 質	粥川 富喜雄	"	化学工学	Jose L. Sierra	"
リモートセンシング 写真地質	谷 藤吉郎	"			

(2) 第2次調査

日 本 側 調 査 団			アルゼンティン側 カウンターパート		
区分・担当	氏 名	所 属	区分・担当	氏 名	所 属
団長・総括	掛川 周男	日鉱探開協	責任者・総括	Alfredo Esteves	州開発局
地質・岩石	粥川 富喜雄	"	化学工学	José L. Sierra	"
地質・岩石	宮石 修	"	地 質	Mario O. Gingsins	州鉱山局
地 化 学	小泉 久直	"	地 質	Luis C. Mas	州水利局
地 化 学	菅原 一安	"	地 化 学	Miriam Loewy	"
重 力	野村 拳一	"	測 量	Juan de D. Albornoz	州測量局
重 力	森林 成生	"	測 量	Carlos R. Fernandez	州測量局
重 力	高橋 郁夫	"			

1.7 調査日程

3段階調査の工程はS/Wに沿ってTable1-9のように計画され、今日までに第1段階（第1次）、第2段階（第2次）の調査が実施された。

Table 1-9 3段階調査工程計画表

段階	項目	1982												1983												1984											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	年度	←56年度				←57年度								←58年度				←59年度																			
	現地調査可能期間	—				—								—				—																			
第1次調査 (15000 km ²) 実施済	事前準備	—												—												—											
	ランドサット画像解析(15000km ²)	—				—								—				—																			
	空中写真地質解析(1200km ²)	—				—								—				—																			
	関連資料収集, 検討	—				—								—				—																			
	地質概査	—				—								—				—																			
第2次調査 (200 km ²) 実施済	地形図図化(200 km ²)	—				—								—				—																			
	地質調査(200 km ²)	—				—								—				—																			
	岩石試験	—				—								—				—																			
	水文調査	—				—								—				—																			
	地化学探査	—				—								—				—																			
	温泉, 噴気ガス調査	—				—								—				—																			
	重力探査(200 km ²)	—				—								—				—																			
	報告書原稿作成	—				—								—				—																			
第3次調査 (40 km ²) (予定)	電気探査	—												—												—											
	地震探査	—												—												—											
	100m測温孔掘さく(指導)	—												—												—											
	100m測温孔検層	—												—												—											
	コア一試験, 分析等	—												—												—											
	報告書原稿作成	—												—												—											
	事前計画検討	—												—												—											
	現地報告書提出	—				—								—				—																			
	中間報告原稿検討	—				—								—				—																			
	最終報告原稿検討	—				—								—				—																			
	報告書提出(JICA)	—				—								—				—																			

(1) 第1次調査実施日程

第1次調査では、1982(S.57)年2月20日より3月31日までの40日間の現地業務が行われた。

日順	年月日	移動又は所在	業務内容
1	1982. 2. 20	Tokyo →	東京発
2	21	→ Bs. As.	ブエノスアイレス着
{	{	Bs. As.	日本大使館 JICA 支部 アルゼンティン関係官庁表敬, 打合せ, 折衝
6	25	Bs. As. → Nq. → Bs. As.	ネウケン州政府での S/W 調印式
{	{	Bs. As.	後続団員到着, 作業準備
12	3. 3	Bs. As. → Nq.	移動
{	{	Nq.	州開発局での打合せ, 作業準備
17	3. 8	Nq. → Copahue	調査地への移動とコパウエ地熱帯の視察
18	3. 9	Copahue → Domuyo	調査地への移動
{	{	Domuyo	ドムージョを中心とする現地調査
26	3. 17	Domuyo → Chos Malal	移動および広域調査
{	{	Chos Malal	広域調査
29	3. 20	Chos Malal → Nq.	移動
{	{	Nq.	州開発局での整理, 検討, 報告書作成
33	3. 24	Nq. → Bs. As.	移動
{	{	Bs. As.	関係官庁報告, 挨拶, 打合せ
38	3. 29	Bs. As. →	ブエノスアイレス発
40	3. 31	→ Tokyo	東京着

Bs. As. : Buenos Aires, Nq. : Neuquén

(2) 第2次調査実施日程

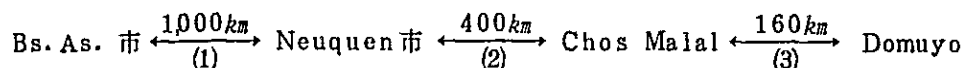
第2次調査では1982(S.57)年11月15日より1983(S.58)年3月31日までの137日間の現地業務が行われた。

日順	年 月 日	移動又は所在	業 務 内 容
1	1982. 11. 15	Tokyo →	東京発
2	11. 16	→Bs. As.	ブエノスアイレス着
3	3	Bs. As	日本大使館, JICA支部 アルゼンティン関係官庁, 表敬, 打合せ, 機材通関
7	11. 21	Bs. As → Nq	移動
8	8	Nq	州開発局での打合せ, 準備, 機材受入れ
9	11. 23	Nq → Domuyo	移動
10	10	Domuyo	キャンプ設営準備
11	11. 25	Domuyo → Nq	移動
12	12	Nq	州開発局での打合せ, 準備, 機材受入れ
20	12 4	Nq → Bs. As	移動
21	21	Bs. As.	後続団員到着, 各種準備
22	12. 6	Bs. As → Nq	移動
23	23	Nq	州開発局での準備
25	12 9	Nq → Chos Malal	調査地への移動
26	12 10	Chos Malal → Domuyo	"
27	27		各種現地調査
105	1983. 2 27	Domuyo → Chos Malal	移動
106	2. 28	Chos Malal → Nq	"
107	107	Nq	州開発局での現地解析作業と報告
129	3 23	Nq → Bs. As.	移動
130	130	Bs. As.	関係官庁への報告, 挨拶, 打合せ
136	3. 29	Bs. As. →	ブエノスアイレス発
137	3 31	→ Tokyo	東京着

8 調査地域の概要

第1次広域調査対象地域はアルゼンティン共和国ネウケン州北部の南緯 $36^{\circ}00' \sim 37^{\circ}00'$ 、西経 $69^{\circ}30' \sim 71^{\circ}00'$ に囲まれた、西がチリー共和国に接する $15,000 \text{ km}^2$ の範囲である(Fig. 1-1 参照)。

又、調査キャンプ基地のあるドムージョ (Domuyo) 地区までの交通は次のとおりである。



- (1) { 国内幹線航空便 1時間30分 (1日4~5便)
 鉄道 22時間 (1日1便)
- (2) { ローカル線航空便 1時間 (1日1便)
 自動車 7時間 (区間の60%は舗装)
- (3) 自動車 3時間30分 (未舗装山岳道路)

当調査地域は、アンデス脊梁山脈の東側に位置して、最低部海拔高度はチョスマラル(Chos Malal)付近で 850 m 、最高部はドムージョ火山の山頂で $4,709 \text{ m}$ 、ドムージョ地区の調査基地キャンプ付近で $1,700 \text{ m}$ を示す、いわゆるアンデス前縁山岳地帯に属する。地勢は新期火山噴出物に覆われた比較的平坦部、深く刻み込まれた溪谷および急峻な山岳部等変化が著るしい。

ネウケン州内の気候は、北部山岳地帯、アンデス脊梁山岳地帯、中部地帯、東部乾燥平野地帯に大別されるが、調査対象地域は北部山岳地帯に属して年間降水量 $200 \text{ mm} \sim 1,500 \text{ mm}$ 程度(冬期5月~10月に集中)、又気温は夏期平均 $18^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 、冬期平均 $4^{\circ}\text{C} \sim 6^{\circ}\text{C}$ であって、冬期は降雪も多く、野外調査の可能な季節は11月~4月の間である。

このような季節により地域内の自然植生は半乾燥高地型で、高地部ではいわゆるプーナ(Puna)植生、比較的低位部でも乾燥に強い矮性小灌木が部分的にみられるに過ぎない。

又、調査地域はネウケン州内の最過疎地で、集落、人口も極めて少なく、調査基地キャンプ付近に定住者はみられず、最も近い集落はキャンプから 35 km 離れた人口400人のバルバルコ(Varvarco)部落である。以上の関係をFig. 1-2で模式的に示した。

又、第2次調査の中心となったドムージョ地域はアルゼンティンのパタゴニア地方での最高峯ドムージョ火山の西側山腹部に位置し、地域の西側は急激な落ち込みをみせるバルバルコ川(Rio Varvarco)で区切られ、又東から西へ流れてこれに注ぐ水系が発達し、冬期の降雪およびドムージョ火山高部の氷河等により、通年これらの水系の流量は豊富である。

ドムージョ地域内には温泉や高温噴気を伴う優勢な地熱徴候地が分布し、州北部地域の中でも最も地熱資源が期待される地域の一つであり、又、州政府は1982年此処の温泉の利用

のため、小規模なリゾート施設を造成した。当該調査のベースキャンプにはこの設備の一部を活用した。

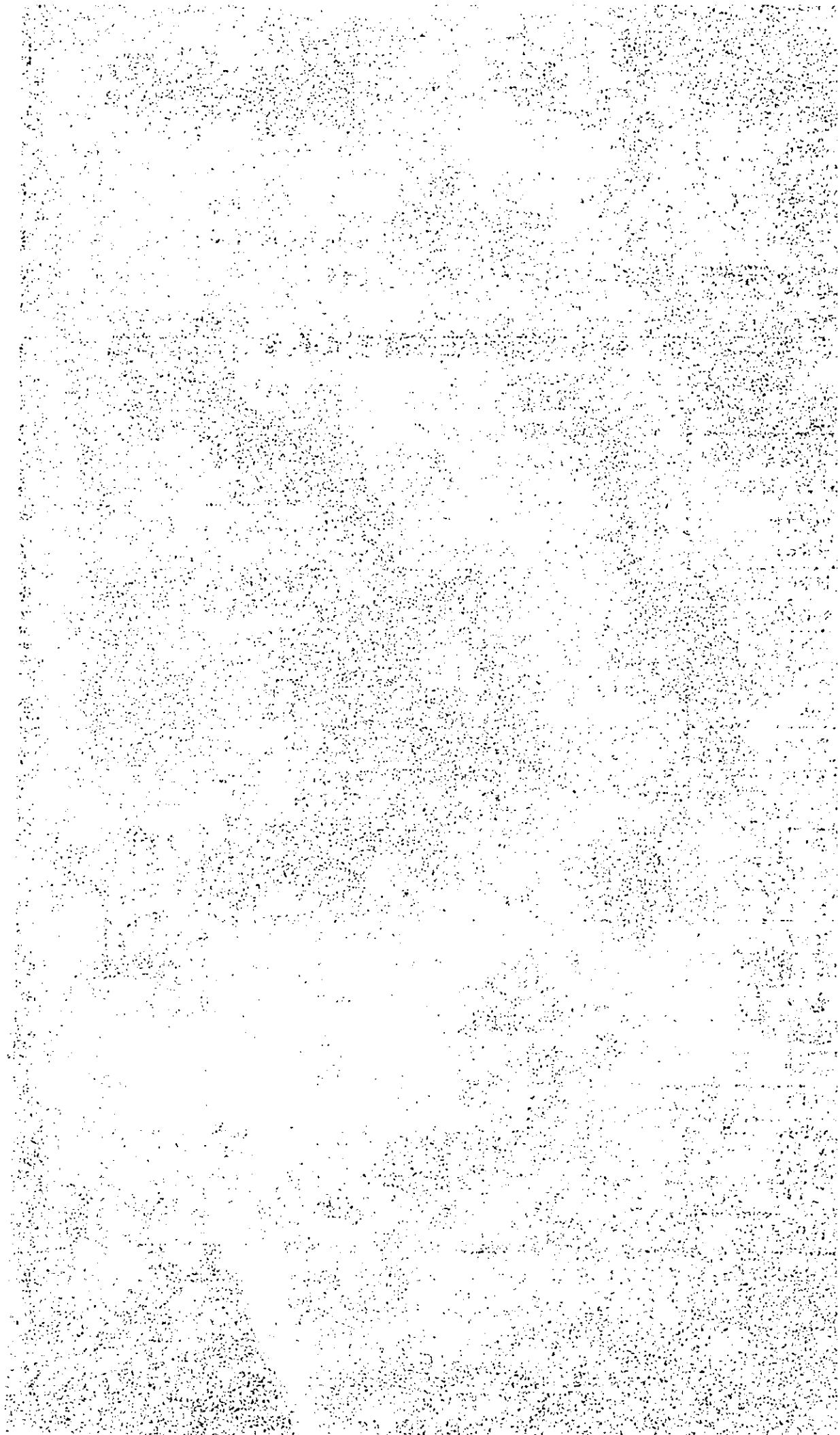
1.9 調査の実施作業量

3段階調査計画のうち、今日までに実施した第1次、第2次調査における作業量を要約してTable1-10に示す。

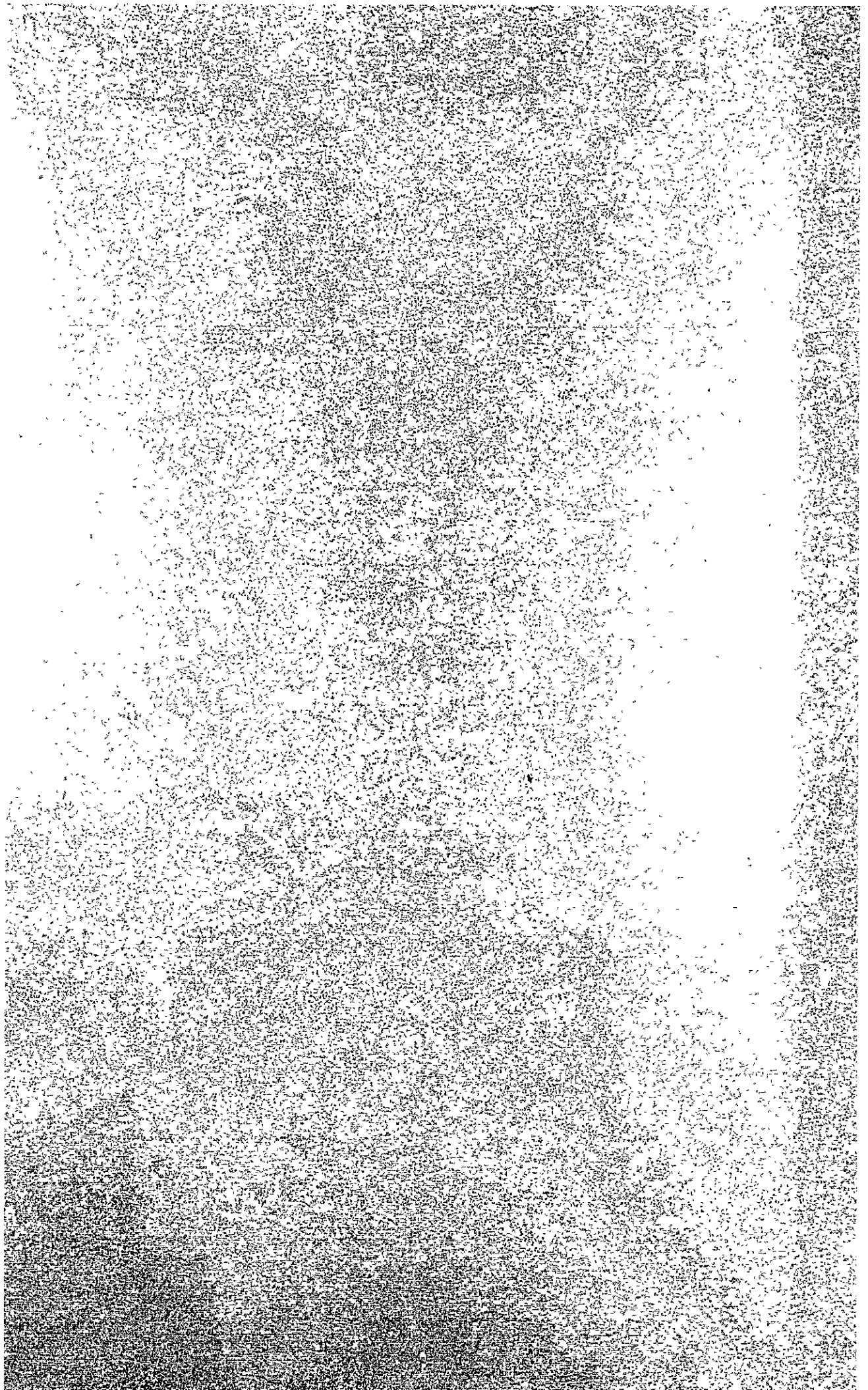
Table 1-10 実施作業量一覧表

段階別	項 目		作 業 量	
第1段階 (第1次)	ランドサット画像の解析(縮尺 1/250,000)		15,000 km ² (2シーン)	
	空中写真地質構造解析(縮尺 1/50,000)		1,200 km ² (150枚)	
	広域調査 踏査延長		500 km	
	ドムージョ地区 踏査延長		150 km	
第2段階 (第2次)	地形風の作成 (縮尺 1/25,000)		200 km ²	
	地質調査	調査面積	200 km ²	
		踏査延長	315 km	
		試料数	薄片用試料	110個
			年代測定用試料	8個
			X線解析試料	130個
			物性測定試料	60個
	流量調査		28箇所	
	地化学探査	1 m深温度調査	広域的調査	460点
		CO ₂ ガス調査	精密調査	57点
		土壤中Hg調査	計	517点
		温泉水試料		18個
		ガス試料		9個
		凝縮水試料		9個
	重力調査	測 量	レベル測量	85点
			トランソト, 測距儀測量	137点
			高度計測高	94点
計			316点	
重 力 測 定		316点		
広域調査		測 定 数	31点	
	測定ルート長	1,050 km		

2. 第1次調査(広域調査)の概要



2. 第1次調査(広域調査)の概要



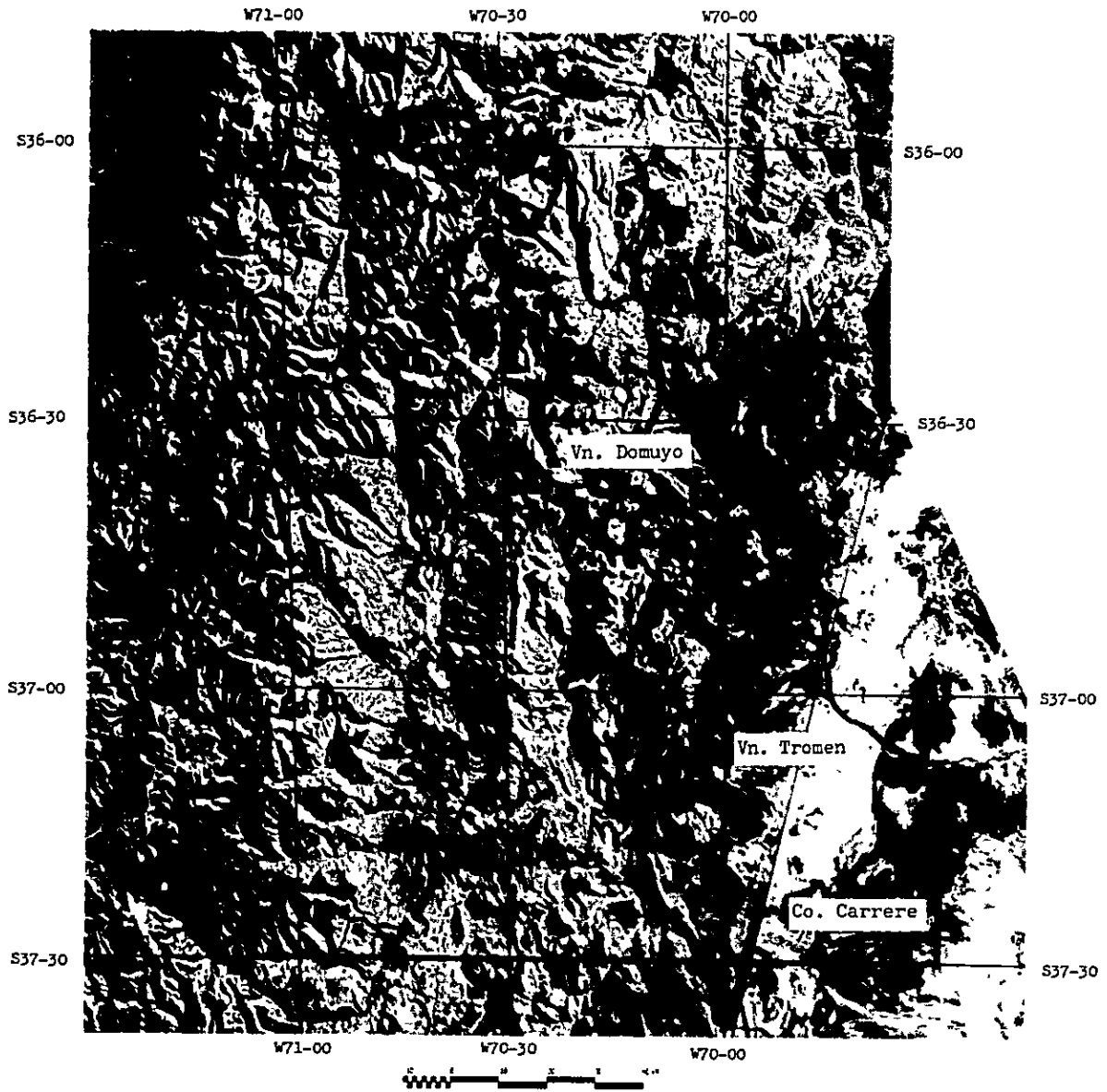


Plate 1 Landsat image of Vn. Domuyo area

2. 第1次調査（広域調査）の概要

2.1 第1次調査（広域調査）の内容

第1次調査は、3年間にわたって実施される3段階方式調査の第1段階に当るもので、ネウケン州の北部地域およそ15,000km²を取り上げて、その中から第2段階の調査対象となる有望地域約200km²を抽出選定する目的をもって、下記のような調査を実施した。

(1) ランドサット画像解析

調査対象地域15,000km²をカバーするランドサット画像3シーン（Path 248・Row 86, Path 249・Row 86及びPath 249・Row 85）の解析を、現地調査に先立って国内において実施した。

解析方法は、上記3シーンのフォールス・カラー合成画像（縮尺1：250,000）について写真地質的手法により、地質単元の区分として古生層～中生層の基盤岩類、第三系及び第四紀の新期火山群の分布と地質的關係、並びに主要地質構造線などを判読した。これらの結果を既存の地質資料と照合して、広域的な地質及び地質構造の概要が纏められた（Fig.2-1）。

(2) 空中写真解析

ランドサット画像解析及び既存の広域地質図（Fig.2-2）の検討によって抽出された5,000km²の広域に対して空中写真解析を実施した。本作業は現地にて入手した縮尺1：50,000の空中写真及びその集成写真を用いて、現地踏査の期間を通して行った。

解析対象地域が広範囲にわたるため、本調査の目的に対して有望と考えられる地域以外は、集成写真及び単写真の観察による“Quick looking”を行い、ランドサット画像の解析結果を補填した。有望地域については実体視によって、詳細な水系図の作成及び地質判読を行い、これに現地踏査結果を加えて、第2次調査の対象地域に選定されたVn. Domuyo西部地域を含む周辺地域一帯の地質、地質構造、地熱徴候地の検討に資するとともに、道路状況などの資料とした（Fig.2-3）。

(3) 現地踏査

ランドサット画像及び空中写真の解析結果と既存資料の検討結果に基づいて、Cordillera del Vientoを主体とする山系に位置するVn. Domuyo, Co. Cruzada, Vn. Tromen及びCo. Carrereなどの火山が分布し、これらに関係した地熱徴候地が知られている次の3ルートの現地踏査を実施した（Fig.2-4）。

- ① Chos MalalからAndacollo, Las Ovejas, Varvarcoを経て、Vn. Domuyo西方の地熱徴候地に至るNeuquén川, Varvarco川沿いのルート。

- ② Chos Malal から Chapua を経て Vn. Tromen に至るルート。
- ③ Chos Malal から Chacayco, Auquinco を経て Co. Carrere 北方の El Tril に至るルート。

2.2 広域地質と地質構造

2.2.1 地質概要

(1) 地質層序

基盤は二疊系ないし三疊系と考えられる堆積岩類と火山岩・火山砕屑岩類及びこれらを貫く深成岩類からなり、この上位に不整合に中生代の堆積岩類と火山砕屑岩類を主とする地層が覆っている。第三紀には安山岩類の火山活動とこれに引続く深成活動が行われた。第三紀末に至ると、古生層あるいは中生層などの基盤岩類を覆って、酸性火山岩溶岩及び火山砕屑岩類が堆積し、Vn. Domuyo を中心に石英斑岩類の大規模な貫入岩体が形成された。これらは一括して Domuyo 火山複合岩体と呼ばれている。第四紀には中性火山活動が起り、玄武岩質安山岩、安山岩溶岩及び石英安山岩溶岩が溢流した。

(2) 基盤岩類及び中生層

Chos Malal から Varvarco, Vn. Tromen 及び El Tril に至る各ルートにおける二疊・三疊系とされている基盤岩類の Choiyoi 層群は、泥岩を主としこれに互層する砂岩、石灰岩などの層理面のよく発達した堆積岩類から構成されており、玄武岩類あるいは変朽安山岩類を介在する。Varvarco から Domuyo に至るルートでは、堆積岩類よりも流紋岩質溶岩及び火山砕屑岩類が多くなり、これらの累層を閃緑岩、花崗閃緑岩及び細粒花崗岩が貫いている。

中生層は下位より Chacay Melehue 累層、Auquilco 累層、Tordillo 累層及び Mendoza 層群が累重する。Chacay Melehue 累層は Choiyoi 層群の上に不整合に乗り、下部は多量の流紋岩岩片と砂質～凝灰質基質からなる角礫岩で、上部は灰白色砂岩、黒色泥岩及び暗色泥灰岩が卓越する。

Auquilco 累層は Chacay Melehue 累層の上に整合状に乗り、下部から石灰岩層、砂岩層及び蒸発型石膏層からなる。Tordillo 累層は Auquilco 累層と整合関係にある砂岩を主とする地層で、上部に至るに従ってシルト岩に富んでくる。Mendoza 層群は泥岩が卓越する。

(3) 第三系及び Domuyo 火山複合岩体

第三系は安山岩、安山岩斑岩、閃緑斑岩、細粒石英閃緑岩などからなる Pelán 累層、安山岩ないし玄武岩質安山岩の溶岩及び火砕岩からなる Charilehue 累層及び Men-

doza 層群を貫き Cerro Palao を形成する岩株状貫入岩体である Palao 花崗岩に区分される。時代はいずれも中新世と考えられている。

Domuyo 火山複合岩体は、噴出岩相と貫入岩相に区分される。噴出岩相は流紋岩質の凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩の互層と、流紋岩、石英安山岩を主とする溶岩流からなり、Vn. Domuyo の西側斜面に分布する。貫入岩相は Vn. Domuyo の中心部の岩株状岩体で、凡そ 2.4 km² の範囲にわたって露出する。岩質は流紋岩質斑岩から花崗閃緑斑岩に及ぶもので、岩脈の場合は珪長岩質となる。これらの Domuyo 火山複合岩体の活動は中新世中期から鮮新世初期にわたると考えられる。

(4) 第三紀末～第四紀の火山岩類

鮮新世末期から更新世にかけて、玄武岩質安山岩、安山岩、石英安山岩の一連の火山活動が起り、溶岩及び火山砕屑岩類が溢流、噴出した。これらは Sierra de Flores 累層、Atreuco 累層、Ponchehue 累層及び Celletas 累層に区分されている。本地域における最後の火山活動は Vn. Domuyo の南西斜面に分布する酸性の Domo 火山岩類で、流紋岩質溶岩と火山砕屑岩からなり、Co. Domo を形成する溶岩の早期のものは 0.72 ± 0.10 Ma の年代が得られている。

2.2.2 地質構造概要

広域的な地質構造は、Fig. 2-2 に見られるようにほぼ N-S 方向を示し北方にブランチする褶曲構造によって特徴づけられる。後述の重力のブーゲー異常が示すように、高重力域は基盤及び中生層が分布する地域の背斜構造に一致し、低重力域は新生代火山岩類が分布する地域の向斜構造に一致する。また、ブーゲー異常値が北方に向かって減少する傾向が見られるが、これは北方にブランチする褶曲軸の構造を裏付けている。

Vn. Domuyo 地域では、N-S 系の Domuyo 背斜軸を中心とした箱型のドーム状構造を形成しており、基盤の Choiyoi 層群から中生層の Chacay Melehue 累層、Auquilco 累層、Tordillo 累層及び Mendoza 層群が累重して、ドーム状の上昇地塊となっている。その中央部には Domuyo 火山複合岩体の貫入岩類が広大な分布を示す。

断層は、上記の褶曲構造に平行する N-S 系と E-W 系が卓越しており、NW-SE 系～WNW-ESE 系及び NE-SW 系～ENE-WSW 系が認められる。これらは、Fig. 2-3 に示したように空中写真による地質解析で強弱、長短の種々の性質を有するリニアメントとして判読されている。

2.3 広域地熱構造

2.3.1 新期火山と地熱徴候概要

(1) 新期火山の分布

Cordillera del Viento を主体とする山系には, Vn. Domuyo, Co. La Cruzada, Vn. Tromen 及び Co. Carrere などの火山がNW-SE方向に配列している。これらの火山群は, 古生層あるいは中生層を基盤として, その上に第三紀末から第四紀にかけて活動したものである。その火山活動は, 北西方すなわち Vn. Domuyo 周辺で大規模であり, 南東方すなわち Co. Carrere に向うに従って小規模となることが推定されている。

Vn. Domuyo の火山活動の概要については, 広域地質及び広域地質構造に関連して既述したとおりである。Vn. Tromen 地域では, 新旧2つの火山があり, いずれもその山容をとどめているが, 両火山の間には玄武岩質溶岩溢流によって形成された堰止湖がある。Vn. Tromen は最近まで活動していたものと推定されるが, Vn. Tromen の北方に位置する火山は, 若干古い活動によるものと考えられる。Co. Carrere を形成する火山活動はあまり規模の大きなものではなく, 新期火山岩類の分布は広範囲に及んでいない。

(2) 地熱徴候地の分布

① Vn. Domuyo 周辺地域

Vn. Domuyo の北方約 1.4 km の地点には El Turbio の温泉があり, Mendoza 層群の堆積岩の分布地域の西縁の河川氾濫原中の 4ヶ所から湧出している。

Vn. Domuyo の西方ないし南西方地域では, 最も優勢な温泉・噴気の地熱徴候地が数多く分布する。すなわち, Rincón de Las Papas, El Humazo, Las Olletas, La Bramadora, Arroyo Aguas Calientes, Baños del Agua Caliente 及び Los Tachos などがある。La Bramadora を除く他のすべては, 基盤及び中生層直上部の凝灰角礫岩の最上部からその上位の溶岩にかけての部分から, 温泉の湧出あるいは噴気しているものである。La Bramadora は, Vn. Domuyo 周辺に発達する貫入岩体と火山岩類の境界部の割れ目から噴気している。また, これらの地域では, 温泉沈澱物の堆積や熱水変質帯が認められる。

② Vn. Tromen 周辺地域

Vn. Tromen 及びその北方に位置する火山の2つの火山岩体周辺には, 地下水の湧出は認められるが水温は 8.5℃ と低く, 地熱徴候である温泉や噴気は認められない。また, Vn. Tromen の西南方には変質帯が分布するが, ここでも温泉・噴気などは存在しない。

③ Co. Carrere 北方地域

地熱徴候として Agua Termal が知られている。ここでは硫化水素を含む地下水が,

古生層ないし中生層の泥岩中の割れ目から湧出しているが温度は低く20℃である。

2.3.2 第1次地熱構造モデル

第1次調査で実施した既存資料の検討、ランドサット画像解析、空中写真解析及び現地踏査の結果から、最も優勢な温泉・噴気の地熱徴候地が分布するVn. Domuyo西方地域において、地質層序及び地質構造、熱構造及び地熱流体構造を模式化した地熱構造モデルはFig. 2-5に示したとおりであり、下記のような地熱構造が推定される。

(1) 地質層序では、古生層ないし花崗岩類を基盤とし、これを中生層が不整合に覆う。更にこの上位に不整合関係をもって新第三紀から第四紀にかけての各時階の活発な火山活動に伴う各種の火山岩類及び火山砕屑岩類が累重している。周辺地域には第四紀の新期火山も分布する。

主要な地質構造はN-S系の褶曲構造と、N-S系、E-W系、NW-SE系及びNE-SW系の断層あるいは断層系とに規制される。

(2) Vn. Domuyoの西部地域の各所には、温泉、噴気、温泉沈殿物及び熱水変質など有力な地熱徴候地が広範囲にわたって分布しており、これらの地下深部に新期火山活動をもたらしたマグマ溜りが潜在して、熱源となっているものと推定される。

(3) Vn. Domuyoにその源流を發する各河川は、氷河または万年雪から得られた流水が通年ある。この地表水が地下へ浸透して深部地下水あるいは浅部地下水となり、深部熱水あるいは温泉水の供給源となるための必要条件を備えている。

(4) 新第三系ないし第四系の火山岩類及び火山砕屑岩類は、溶岩のように密質のものから軽石凝灰岩のように多孔質のものがあり、亀裂の發達した部分や多孔質の部分など透水性に富む所では、上部の二次的浅部地熱貯留層を形成するが、全体としてみれば、地下深部の地熱貯留層に対するキャップ・ロック的役割を果たしているものと推定される。

(5) 基盤岩類あるいは中生層とその上位の火山岩類の間は顕著な不整合であり、かつ基盤岩類の深度は全般的に浅い位置にある。地下深部に浸透した地下水は熱源によって熱せられて200℃～250℃の深部熱水となり、基盤岩類中に潜在發達する断層や剪断帯などの断層系に深部貯留層を形成しているものと推定される。この深部貯留層から上昇した深部熱水、水蒸気及びガスなどの地熱流体は、浅部地下水と混合して対流循環しながら、不整合面や透水性のよい地層中に100℃ないしそれ以上の2次的な貯留層を形成するとともに、さらに上昇して温泉や噴気として地表に達する。

2.4 第2次調査対象地域の選定と実施計画

2.4.1 第2次調査対象地域の抽出

第1次調査結果に基づいて、Vn. Domuyoの西側、Rio Varvarcoの東側で、A°、Manchana Covunco、A°、Aguas Calientes及びA°、Covunco水系を中心とする東西20 km、南北10 kmの範囲、凡そ200 km²を最有望地域として第2次調査対象地域に抽出、選定した。

この地域は、Rincón de Las Papas、El Humazo、Las Olletas、La Bramadora、Aguas Calientes、Baños del Agua Caliente及びLos Tachosなどの多数の優勢な地熱徴候地を包含している。

2.4.2 第2次調査の基本方針と調査計画内容

前述の第1次地熱構造モデルを前提として、主に対象地域における地質及び地質構造の解明、熱構造の解明、地熱流体循環機構及び地熱貯留層の地熱流体構造の解明を行い、地熱構造モデルを策定して第3次調査の計画の樹立ならびに地熱開発の総合解析に資することを基本的な方針とする。

この方針に従って、第2次調査は各調査目的を達成するために、次のような重点を置いた詳細な諸調査を計画した。

(1) 地質及び地質構造の解明

① 地形図作成

第2次の詳細な諸調査を実施するためには、調査対象地域をカバーする詳細な地形図が必要であり、凡そ200 km²の範囲について既存の空中写真を主体として1:25,000の地形図図化を行う。

② 地質調査

基盤から最上位の火山岩類に至る地質分布と地質層序を詳細に調査し、当該地域の地質構造発達史、火山活動史を把握するとともに、現存する地熱徴候地と地質層序及び火山活動との関係を明確にするとともに、地質層序及び地質構造からみた地熱貯留層ならびにキャップ・ロックの解明に当る。

③ 岩石調査

当該地域の構成岩石の岩石学的特性及び岩石物性を把握して、地質構造の解明及び物理探査の基礎資料とするために、絶対年代測定、顕微鏡観察、全岩分析、物性測定を実施する。

④ 重力探査

推定される深部地熱貯留層及び地熱流体の上昇通路は、当地域の基盤岩類の分布深

度、形態及びその中に発達する断層や剪断帯などの断裂系と密接な関係のあることが推定される。そのために、これらの地質構造の諸要素を把握することが、今後の地熱探査の標的をしぼるために最も重要なものとなる。第1次調査の結果から、基盤岩類とその上位に累重する各累層及び火山岩類の間には、相対的な密度差があるので、重力探査による地下構造解明は極めて効果的と判断され、全域にわたる重力探査を計画する。

(2) 熱構造の解明

① 変質帯調査

地熱徴候の1つである熱水変質は、その分布状態、性質及び分帯などから、地下深部における熱構造さらに熱水や温泉水の性状を解明する手懸りが得られるので、X線回折分析によって解析する。

② 地温分布調査及び地化学探査

調査地域全般にわたって1 m深地温測定を行い、同時に土壌サンプリングによるHg濃度分布調査とCO₂ガス濃度分布の調査を実施する。これらは地下深部から伝わってくる熱、断裂系などを通じて上昇してくるHgガスやCO₂ガスが、地下の熱構造や地熱流体構造を地表近くに反映している例が多数知られており、地熱調査における有力手段のひとつである。

(3) 地熱流体構造の解明

① 水文調査

調査地域内における各水系を対象に気象調査及び水文調査を行い、地熱流体の根源の一つである地表水及び地下水の水収支を解明する基礎資料とする。

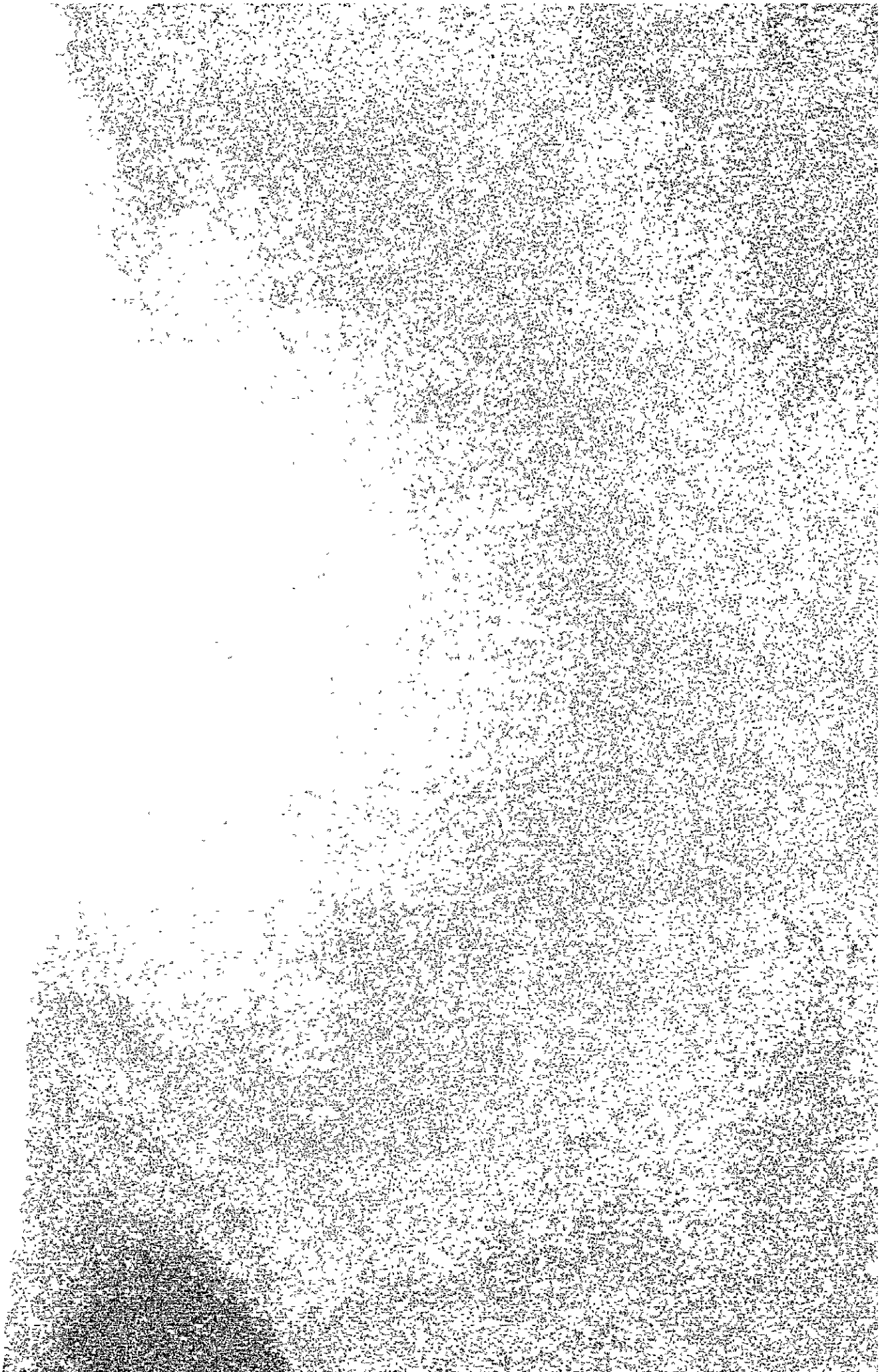
② 温泉水、噴気ガス、凝縮水の地化学調査

温泉や噴気は地熱現象の地表における露頭であり、地下における地熱流体の生成機構、貯留層の状態及び地熱流体の循環機構などの地熱流体構造の解明に重要な手懸りを与える。これらの地化学調査結果と、地温異常、熱水変質帯及びHg、CO₂濃度分布異常を総合することによって、地熱構造の解明に資する。

(4) 地熱構造モデルの策定と第3次調査計画の樹立

以上のような第2次調査結果を総合解析して、第2次地熱構造モデルを策定して、第3次調査の対象となる最有望地域を抽出、選定して、その調査方針ならびに調査計画を樹立する。

3. 調査地域の地質



3. 調査地域の地質

3.1 地形図の作成

調査地域を含む本地域における既存の地形図として、縮尺 $1/100,000$ 及び $1/500,000$ のものがあるが、第2次調査を実施するに当たり、地質調査、地化学探査及び重力探査などには大縮尺、高精度の地形図が必要となるため、既存の空中写真から $1/25,000$ 地形図を作成した。

使用した空中写真はアルゼンティン側から提供されたもので、Dirección General de Fabricaciones Militares が Plan Cordillerasano のため、1962～1963年に撮影したものである。使用カメラはWILD RC8（焦点距離1524mm）で、飛行高度8,534～10,668 m、撮影縮尺は約 $1/50,000$ であり、これらの空中写真一覧表をTable 3-1に、飛行コースはFig. 3-1に示す。

Table 3-1 使用空中写真一覧表

コース名	写真番号	枚数
C-6	3,120 ~ 3,124	5
C-7	2,041 ~ 2,048	8
C-8B	3,208 ~ 3,212	5
C-8	2,159 ~ 2,163	5
C-9	2,263 ~ 2,265	3

調査地域内に三角点がないため、図化基準点として調査地域外の2箇所の三角点のX座標、Y座標及び高度を使用し、そのほかに調査地域内の水準点1点及び調査地域外の水準点2点を選定、使用した。

Table 3-2 測量基準点一覧表

測点番号	名称	Coordenadas Gauss Krügger		標高(m)
		X	Y	
OH-I-22	Co. Butalón	5,918,036.25	2,361,335.70	2,982.00
OH-I-30	Cordillera Las Lloves	5,945,724.60	2,343,864.29	2,750.00
高度基準点 1	—	—	—	1,650.00
高度基準点 2	—	—	—	3,250.00
高度基準点 3	(Vn. Domuyo)	—	—	4,709.00

地形図作成の手順及び図化の使用機器については付帯資料に示した。

作成した地形図は縮尺 $1/25,000$ であり、現地作業にはこれを拡大した $1/10,000$ 地形図をまた報告書添付図にはこれを縮小した $1/50,000$ 地形図を使用した。Fig. 3-2はこの地形図をもとに鳥かん図を示したものである。なお、現地調査に当り、調査地域内に暫定基準点を設置して測量した結果、地形図に若干の歪みがあることが判明した。これは地形図作成に際して使用した基準点が、調査地域外の遠隔地にあることに起因する。

3.2 地質層序と地質単元

第1次調査の結果に基づいて選定されたVn. Domuyo 西方地域約 200km^2 の範囲に対して地質調査を実施した。調査ルート総延長は 315km であり、採取した岩石試料は200個余りである。これらの試料から110枚の岩石薄片を作成し、8個を絶対年代測定に供した。また、広域地質と関連づけるため、調査地域から南方のAndacollo にかけて地質巡検を行ったほか、NeuquénからVn. Domuyo にかけて空中からの地質観察を行った。

これらの調査の結果、調査地域の地質は下位より基盤岩類、中生層、第三系及び新第三紀末から第四紀にかけて活動した新期火山岩類の4単元に大別される (Fig. 3-3, 3-4 及び 3-5)。また、Table 3-3に地質層序対比表を示す。

3.2.1 基盤岩類

基盤岩類は、二疊・三疊系とされているChoiyoi層群の変成岩類及びこれを貫くVarvarco 深成岩類から構成され、珪化岩及び小規模の玄武岩岩脈が認められる。

変成岩類のうち結晶片岩類は、Rincon de Las Papas 西方に小範囲に分布し、泥質片岩及び砂質片岩からなる。片理面は走向 $N70^{\circ}E$ 、傾斜 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}NW$ を示す。ホルンフェルス類はEl Humazo 付近に露出しており、塩基性凝灰岩、塩基性砂質凝灰岩を原岩とする暗緑色～濃緑色のホルンフェルス、砂岩～泥岩を原岩とするホルンフェルスよりなり、走向 $N40^{\circ}W$ 、傾斜 $60^{\circ}NE$ を示す。

Varvarco 深成岩類は、Rio Varvarco, A° Manchana Covunco に沿って露出するほか、Cerro de La Papa 西斜面, A° Covunco, A° Atreuco にも分布する。岩質は中粒ないし粗粒の角閃石・黒雲母花崗閃緑岩であるが、桃色、やや細粒のアブライト質花崗岩も認められる。このアブライト質花崗岩は、花崗閃緑岩の深成活動の末期に形成された小岩脈状の産状を示す。Varvarco 深成岩類については新生代の活動とみなす考え方もあるが、後述のようにK-Ar 法による年代測定の結果、二疊紀末期からジュラ紀中期とみなされ、Choiyoi 層群とともに本地域の基盤岩類を構成している。

Table 3-3 Correlation table of stratigraphic sequence

Age		Zollner y Amos (1973) Descripción geologica de la Hoja 32b, Chos Malal	Llambias et al (1978)		Brousse y Besce (1982)		JICA (1983)		
			Formation	Lithology	Formation	Lithology	Formation	Lithology	
Cenozoic	Quaternary	Holocene	Recent alluvium Basalt VII Basalt VI					Recent alluvium Reworked tuff Basalt lave	
		Pleistocene	Basalt V Glacial deposit Gravel Basalt IV Basalt III Andesite III					Rhyolite lava Dacite lava Perlite Dacitic tuff breccia	
					Magmatismo Domico	Rhyolite			
	Tertiary	Pliocene	Basalt II Basalt (uncertain)	Atreuco F.	Andesitic-basic andesitic lava	Atreuco F.	Latite		Andesitic tuff breccia volcanic breccia
			Unconformity	Domuyo volcanic complex	Rhyolitic, dacitic and andesitic lava and breccia Tuff and Tuff breccia	Sierra de Flores F. Acidic Pyroclastics	Andesite, basic andesite Pumice flow		
		Miocene	Basalt I Basalt O	Charileue F.	Andesite, Basic andesite		?		Andesite lava
			Unconformity						Discontinuity
	Oligocene Eocene Paleocene	Andesite, Andesitic tuff, Basaltic andesite and Olivine basalt						Dacitic lava Dacitic tuff breccia	
	Mesozoic	Cretaceous	Maastrichtian Campanian Santonian Coniacian Turonian Cenomanian	Gravel-bearing red sandstone					
			Unconformity						
Soft clayey sandstone with salt body									
Albian Aptian Barremian Hauterivian Valanginian Berriasian			Gypsum-Dolomite Breccia and Conglomerate						
			Claystone, Sandstone						
			Claystone						
		Claystone Marlaceous Claystone			G. Mendoza		Limestone Calcareous mudstone		
Jurassic		Malm	Tithonian	Tuff, Tuffaceous sandstone and Sandstone	Tordillo F.	Red sandstone Siltstone	Tordillo F.	Sandstone Siltstone	Discontinuity
			Kimmeridgian Oxfordian	Gypsum claystone, Schistose marl and Dolomitic marl	Auquillo F.	Gypsum, Sandstone, etc.	Auquillo F.	Gypsum Sandstone	Tordillo F. Dacitic fine tuff, Tuffaceous sandstone, Mudstone
		Dogger	Callovian Bathonian Bajocian	Schistose claystone, Marl Tuff, Tuffaceous sandstone, Lava	Chacay Melehue F.	Sandstone Mudstone Marl Breccia	La Manga F.	Sandstone Mudstone Marl	Auquillo F. Sandstone Limestone Gypsum
	Unconformity		Claystone, Tuff, Reworked tuff, Conglomerate, Sandstone, Limestone and Schistose claystone					Chacay Melehue F. Mudstone, Andesitic tuff breccia, Andesitic lava, Lapilli tuff, Basaltic sandstone	
Triassic		Porphyrite and Quartz-porphyr						Discontinuity	
		Unconformity							
Paleozoic	Permian	Intrusion of granite and granodiorite	Choiyoi Group						
	Carboniferous	Andesitic tuff breccia Shale and Siltstone Acidic tuff and Sandstone						Psammitic-pelitic hornfels, Basic hornfels, Pelitic-psammitic schist, Varvarco intrusive, Aplitic granite, Granodiorite	

珪化岩は花崗閃緑岩中の捕獲岩として存在するもので、淡緑色～緑色の強い珪化作用を受けており、原岩を推定することは困難である。玄武岩岩脈は花崗閃緑岩を貫く巾1～5 mの小規模なもので、暗緑色を呈し緑泥石化変質を受けている。

3.2.2 中生層

中生層はジュラ系ドッガー統からマーム統に対比される Chacay Melehue 累層, Auquileo 累層及び Tordillo 累層からなる。

- (1) Chacay Melehue 累層は、主として玄武岩質ないし安山岩質凝灰岩及び凝灰角礫岩、玄武岩溶岩、安山岩溶岩から構成され、黒色頁岩を介在するもので、層厚550 m以上1,000 m前後と推定される。本累層の火山岩類は下部では玄武岩質であるが、上部では安山岩質（一部石英安山岩質）となり、一般に強い緑泥石化変質を蒙っている。黒色頁岩は本累層の上部及び最上部に2層あり、いずれも固結度の良い成層をなす。下位の安山岩類中に介在する頁岩中から産する化石は、Zapala 市のネウケン州鉱山局の鑑定によって、バジョシアン階を示すアンモナイト *Sonninia* sp. と判明した。

Chacay Melehue 累層は、El Humazo 東方から La Bramadora 地区にかけて分布するが、Rincón de Las Papas 周辺及びその西方、調査地域南端部にも露出する。El Humazo 東方では走向N-S、傾斜20°～30°Eを示すが、La Bramadora 地区では傾斜30°～40°NWを示し、El Humazo 東方と La Bramadora 地区の間に向斜構造が推定される。

- (2) Auquileo 累層

Auquileo 累層は石膏層を主体とし、このほか緑色砂岩、白色泥岩、石灰岩からなる。石膏層は白色無層理で膨縮に富んでいる。絶色泥岩は中粒、濃緑色を呈し層理の発達は良好である。石灰岩は黒色ないし褐色の縞模様がある部分や、温泉沈殿物に酷似した岩相を呈する部分などが観察される。

本累層は La Bramadora 地区に分布し、層厚は100～500 mである。北部では走向N70°E、傾斜30°～40°NWであるが、南部では走向N-Sに変化していると推定される。

- (3) Tordillo 累層

Tordillo 累層は、赤色砂岩、赤色頁岩、石灰質シルト岩、凝灰岩及び石灰岩から構成されている。赤色砂岩及び赤色頁岩は本累層の下部を形成する細粒砂岩及び砂質頁岩で、層理面は比較的良好に発達する。石灰質シルト岩は灰白色、堅硬な岩相を呈し、凝灰岩と互層する。凝灰岩は黄色を呈する石英安山岩質細粒凝灰岩である。石灰岩は灰白色～黒色を呈し薄層理をなす。

本累層は調査地域北東端の Rincón de Las Papas 東方と東部の La Bramadora 南方に分布し、層厚は 100~450 m である。北東端では走向 N 40°~50°E, 傾斜 30°~35°NW であり、東部では走向 N 30°E~E-W, 傾斜 30°NW~20°S を示す。

3.2.3 第三紀層

(1) 新第三系

新第三系はジュラ系の Tordillo 累層を不整合に覆う中新世~鮮新世の地層で、安山岩質凝灰角礫岩と安山岩溶岩からなる。凝灰角礫岩は安山岩の角礫と同質凝灰岩の基質からなり、溶岩には流理構造が認められる。両者とも肉眼的には弱い変質作用を蒙り、黄色~黄灰色を呈している。

本層は Cerro Domo の北西、東~南麓部に分布し、層厚は 100~500 m と推定される。

(2) 花崗閃緑斑岩

新第三紀の貫入岩類として花崗閃緑斑岩があり、Arroyo Covunco 上流に小露出が認められる。その周辺には第四紀の新期火山岩類の石英安山岩が分布するが、両者の直接的な関係は認められない。岩質は緑泥石化した有色鉱物、斜長石、カリ長石及び石英の斑晶を有する斑状、完晶質の花崗閃緑斑岩で、後述のように Domuyo 火山複合岩体の酸性貫入岩類の一つと考えられる。

3.2.4 新期火山岩類

これらの新期火山岩類は、下部の安山岩質火山岩類と上部の石英安山岩質ないし流紋岩質火山岩類に大別される。

安山岩質火山岩類は調査地域の北西部に分布し、スコリア凝灰岩、軽石凝灰岩、凝灰角礫岩、溶結凝灰岩、火山角礫岩及び溶岩から構成され、層厚は 200~1,000 m である。スコリア凝灰岩、軽石凝灰岩、凝灰角礫岩は灰色を呈し、安山岩岩片のほか軽石、スコリアを含むものと、軽石を多量に含むやや酸性の岩相を呈するものがあり、いずれも斜長石や角閃石などの鉱物片を含んでいる。溶結凝灰岩は灰色ないし暗色を呈し、硬質な溶結度の高いもので板状節理が発達する。本岩は一見ガラス質安山岩と見誤るような岩相を呈するが、異質礫岩片あるいは溶結度のやや低いスコリアや軽石を含有することから識別される。溶岩は茶褐色を呈し流理構造が認められる部分や、板状節理及び柱状節理が発達している部分などがある。火山角礫岩は Cerro de La Papa の山頂部に分布し、安山岩溶岩と同質あるいはやや玄武岩質安山岩の角礫で構成されている。

安山岩岩脈は Cerro de La Papa 山頂付近に分布しており、走向 N-S, 傾斜 90°, 巾 10 m 以上で 1 km 以上連続する岩脈が 4 本認められる。岩質はやや有色鉱物の少ない安

山岩で斑状を呈する。

石英安山岩類及び流紋岩類は、Cerro Domo及びCerro Covunco 周辺から西方にかけて分布し、下位より石英安山岩質凝灰角礫岩、同質溶岩及び流紋岩溶岩から構成される。層厚は200～1,200 mである。石英安山岩質凝灰角礫岩は石英安山岩の角礫と凝灰質基質からなり、帯黄緑灰色を呈し、Arroyo Covuncoの中流域に露出する。石英安山岩溶岩は帯桃褐色を呈し、流理構造や板状節理が発達するもので、火山ガラスのレンズ状薄層を含む。

流紋岩溶岩はCerro Domoの山頂付近に分布し、帯灰白色で軽石質の部分や黒灰色で流理構造の発達する部分などがある。

3.2.5 氷河堆積物及び河川堆積物

調査地域の南西端部には石英安山岩、火山ガラスの角礫ないし亜円礫と、砂質ないし凝灰質の基質からなる氷河堆積物が小規模に分布する。また、本調査地域内を流れる主要な河川であるRio Varvarvo, Arroyo Ailenco, Arroyo Manchana Covunco, Arroyo Covuncoなどの河川沿いに場所によって砂礫からなる未固結の沖積層が発達する。

3.3 構成岩石の岩石学的特徴

3.3.1 岩石の絶対年代

(1) 年代測定の目的

地熱現象をもたらしている熱源としての火山活動について、その火山層序と火山活動史の解明を通じて、マグマ溜りの盛衰及び熱的能力の推定に資することを目的に、主として新期火山岩類の絶対年代測定を実施した。

これに加えるに、本地域の基盤をなしその地下深部に地熱貯留層の存在が推定される花崗閃緑岩類について、その絶対年代を明らかにして地質層序の確立に資することとした。

(2) フォション・トラック法による年代測定結果

新期火山岩の年代測定は、最上部のDomo火山岩類に属する石英安山岩ないし流紋岩溶岩に伴う真珠岩3個と、その下位のSierra de Flores層群に属する溶結凝灰岩1個について実施した。また、基盤岩の年代測定は地域の中央北部と西部に露出する花崗閃緑岩2個について行った。

これらの検定結果をTable 3-4に、また測定結果をTable 3-5に示した。

Table 3-4 フィッション・トラック年代測定検定結果表

区分	試料名	検定ジル コン数	自発トラック		誘発トラック		測定面積の 変動係数	年代値の全相 対標準誤差	F 検定	
			平均値	変動係数	平均値	変動係数			F 値	$F_{n2}^{n1}(0.05)$
新期火山岩類	DM-1	24	07	1.053	3323	0191	0.069	0.224	138	2.01
	DM-4	(1) 23	15	1.267	2033	0344	0.257	0.278	208	2.05
		(2) 21	10	1.023	1998	0362	0.248	0.242	103	2.12
	DF-1	23	20	0.839	2043	0248	0.133	0.189	1.27	2.05
DS-3	25	08	1.157	3800	0215	0.113	0.241	102	1.98	
基盤岩類	DM-3	(1) 22	891	0.278	754	0178	0.000	0.086	260	2.09
		(2) 16	836	0.191	745	0168	0.000	0.081	137	2.40
	DS-2	(1) 25	952	0.317	328	0240	0.000	0.094	267	1.98
		(2) 23	943	0.250	329	0244	0.000	0.088	157	2.05

注：検定方法 巻末“測定値の検定法”を参照

- ① DM-1：検定を行ったジルコンは、24粒で無色である。これらの検定結果はF値1.38で1.50以下であり、また、ジルコンの性質やPi-Ps図から特に削除対象となる異質な粒子は認められず、検鏡結果でも異質ジルコンの混入の可能性はないと考えられるので、当検定で得られた年代を絶対年代とした。
- ② DM-4：24粒子のジルコンのうち、1粒は明らかに年代の古い異質なものであったため、あらかじめ削除して無色のジルコン23粒の検定を行った。その結果、F値は208と不良であり、Pi-Ps図から2粒子が一群から突出して、自発トラックに類似したインクルージョンを多く含むなどの異状が認められたので、この2粒子も削除した。21粒子の検定結果ではF値103と良好な値が得られたため、削除後の検定の年代を当試料の代表年代とした。
- ③ DF-1：検定を行った帯紅色～淡紅色を呈するジルコン23粒子のF値は1.27である。Pi-Ps図から1粒子のみ一群から突出しているが、ジルコンの性質に異常がなく、これを削除した場合にはF値がむしろ悪くなるので全粒子で得られた測年値を絶対年代とした。
- ④ DS-3：無色のジルコン25粒子について測定を行った。検鏡結果では捕獲岩片からの異質ジルコンの混入が懸念されたが、Pi-Ps図やジルコンの性質から異常は認められず、F値も1.02と良好な値が得られたので、検定結果からこの試料年代を求めた。
- ⑤ DM-3：ジルコンの色は淡紅色～帯紅色である。22粒子の検定の結果はF値260と悪い値が得られた。本試料は基盤の花崗閃緑岩で地質年代が古いため、自発密

度トラックが高く、そのため計測面の不良な粒子が多い。そこで特に自発トラック出現状況の悪い6粒子を削除した結果、16粒子のF値は1.37に改良されたので、削除後の年代を試料年代とした。

- ⑥ DS-2: 25粒子について検定を行った。全体に淡紅色を呈するジルコンである。検定結果はF値2.67で不良であり、DM-3と同じく自発トラック計測面の不良なものが認められたため、2粒子を削除したところ、F値は1.57となりやや改善されたので削除後の年代を代表年代とした。

Table 3-5 フィッション・トラック年代測定総括表

区分	試料番号	岩石名	絶対年代 *1 (Ma)	ジルコンの性質		
				粒度 *2	形状	色調
新期火山岩類	DM-1	真珠岩	0.11±0.02	小>中	長柱	無色
	DM-4	真珠岩	0.29±0.07	小	長柱	無色
	DF-1	真珠岩	0.55±0.10	小	長柱	帯紅色 淡紅色>
	DS-3	溶結凝灰岩	0.11±0.03	小	長柱	無色
基岩盤類	DM-3	花崗閃緑岩	6266±5.07	小>中	長柱	淡紅色 帯紅色>
	DS-2	花崗閃緑岩	164.2±14.5	小>中	長柱	淡紅色

*1: 年代誤差は年代値の全相対誤差で示した。

*2: 小は長径200μ以下、中は200~500μ

フィッション・トラック法による絶対年代測定結果から、新期火山岩類はすべて更新世中期から後期に集中しており、地質調査結果から想定された火山活動の年代と大綱的に矛盾はないが、細かな火山層序からみるとその上下関係と得られた絶対年代の間には逆の関係を示すものがある。

一方、フィッション・トラック法による基盤をなす Varvarco 深成岩類の絶対年代として、6266±5.07 Ma の白亜紀末期ないし暁新世初期と164.2±14.6 Ma のジュラ紀中期を示している。これらは本地域で深成岩類を不整合に覆うジュラ紀中期から後期のドンガール統~マルム統に対比される中生層より新しく、特に中生層の最下部の Chacay Melchue 累層からジュラ紀中期初頭のバジョシアン階を示すアンモナイト化石を産することと矛盾する。既述のように花崗閃緑岩から検定されたジルコンは、自発トラック計測面の不良のものが多く、F値も260以上を示しており、不良粒子を削除してもなお満足するに足るF値が得られていない。また、鏡下における観察結果では、黒雲母は緑泥石や緑れん石に変質していることと考えあわせると、より古い年代を示す自発ト

ラックが十分に計測されなかったことが考えられ、得られた絶対年代の信頼度は低いと考えられる。

(3) K - Ar法による年代測定結果

フィッショソ・トラソク法による深成岩類の絶対年代に疑問が持たれたため、このような古い深成岩類の年代測定に通常利用されているK - Ar法による年代測定を実施した。試料はDM - 3地点と同地点のDM - 2及びDS - 2地点と同地点のDS - 1であり、これらの花崗閃緑岩中の角閃石を分離して、検定を実施した。

Table 3 - 6 K - Ar法年代測定結果表

Sample No	Isotopic Age (Ma)	^{40}Ar rad scc/gm $\times 10^{-5}$	% ^{40}Ar rad	% K
DM-2	227 \pm 16	0 3 9 2	4 8.3	0.4 2
		0 3 9 7	3 1.0	0.4 2
DS-1	259 \pm 13	0.8 3 7	7 1.9	0 7 7
		0.8 4 0	7 4.9	0.7 8

この結果、DM-2の227 \pm 16Maは三疊紀の中期と後期の境の年代を、またDS-1の259 \pm 13Maは二疊紀の末期の年代を示している。これらの年代は、本地域の基盤をなすChoiyoi層群が二疊・三疊系とされており、これを貫きジュラ紀中期初頭のChacay Melehue累層に不整合に覆われるという、地質層序からみた花崗閃緑岩の貫入時期を裏付けたと解される。

3.3.2 顕微鏡観察による岩石の特徴

(1) 基盤岩類の構成岩石

① ホルンフェルス

二疊・三疊系のChoiyoi層群に属する砂岩源及び凝灰岩源のホルンフェルスである。鏡下では前者は多量の石英のほか白雲母、赤鉄鉱及び少量の斜長石からなり、後者は石英、白雲母、緑泥石を主とし、少量ないし微量の斜長石と電気石が含まれる。いずれも主要構成鉱物がモザイク状に集合して、グラソプラスチック組織を呈する。

② 花崗閃緑岩

Choiyoi層群を貫き中生層のChacay Melehue累層に不整合に覆われて本地域の基盤を構成するVarvarco深成岩類で、鏡下では、主要構成鉱物として石英、斜長石、パーサイト質カリ長石、黒雲母のほか、しばしば普通角閃石を伴う。副成分鉱物は少量の鉄鉱物の他、微量のアバタイト、ソルコン、スフェーンが認められる。有色

鉍物は大部分緑泥石と緑れん石に、また斜長石は絹雲母、方解石などにそれぞれ変質している。本岩類は完晶質等粒状組織を呈し、モード測定結果は後述のように一部トータル岩に近いものもあるが花崗閃緑岩の領域にプロットされる。

③ アブライト

構成鉍物は石英、パーサイト質カリ長石、絹雲母やカオリンに多少変質した斜長石を主とし、大部分緑泥石化した少量の黒雲母からなる。細粒等粒状を呈し、一部に微文象組織が認められる。本岩は基盤の花崗閃緑岩貫入に伴う岩脈である。

(2) 中生層の構成岩石

① 火山岩類及び火山砕屑岩類

中生層のうち、比較的下部に発達する火山岩類及び火山砕屑岩類は、塩基性ないし中性の岩質を示すものが多く、上部に至ると石英安山岩質となる。安山岩は斜長石を主とし、普通輝石及びハイパーノンを斑晶とする両輝石安山岩が代表的なもので、普通角閃石を伴うものがある。石基は斜長石の他に二次的な石英、変質した有色鉍物及び鉄鉍物からなる。変質は中～強の種々なものがあるが、斜長石の絹雲母化と有色鉍物の緑泥石化が主なるもので、一部には珪化を蒙ったものも認められる。石英安山岩は斑晶が斜長石と石英、石基は石英細粒からなり、変質として時に著して珪化及び絹雲母化を蒙っている。凝灰岩類は下部の安山岩質のものは安山岩岩片を含む凝灰角礫岩や火山礫凝灰岩を主とするが、上部の石英安山岩質のものは石英安山岩岩片の他に安山岩岩片も含まれ、鉍物片として斜長石、石英の他しばしば変質した有色鉍物が認められる。基質は中～多量の石英に少量の鉄鉍物が存在する。変質はときに強い珪化や緑泥石化をうけているものから、新鮮なものまで変化する。

② 砂岩類

粗粒砂岩は石英粒の多いアルコーズ質砂岩で、細粒砂岩は石英、白雲母からなり、赤鉄鉍が多い。凝灰質砂岩は中～粗粒のやや安山岩質のものであり、岩片として玄武岩、安山岩、石英安山岩の他、泥岩、砂岩などを認める場合がある。

③ 石灰岩

結晶質の石灰岩で、粒度 1.0 mm 以下の方解石がモザイク状集合をなす。

(3) 第三系の構成岩石

① 安山岩質凝灰岩類

凝灰角礫岩は、岩片としてやや多量の安山岩、石英安山岩及び軽石の他、少量の砂岩、泥石を含み、鉍物片は斜長石の他少量の石英、黒雲母、普通角閃石、輝石及び鉄鉍物が認められる。基質はハリ質の部分が多く、炭酸塩化を蒙っている。砂質凝灰岩も多量の安山岩の他石英安山岩、玄武岩、軽石などの岩片を含み、鉍物片は凝灰角礫

岩の鉱物片とはほぼ同じである。基質は微細な石英とクリストパライトに変じたハリ質部分からなる。全般的に第三系の凝灰岩類は岩片と鉱物片が極めて多いという特徴がある。

② 安山岩

やや石英安山岩質な安山岩で、斑晶として斜長石のほか少量の普通輝石、ハイパーソンと時に黒雲母があり、稀に普通角閃石が存在する。石基はハリ基流晶質組織及びピロタキチック組織を呈するが、なかにはやや粗面岩質組織を示すものもある。一般に新鮮であるが、弱い珪化、緑泥石化及び炭酸塩化を受けている場合がある。

③ 花崗閃緑斑岩

本岩類は地域の東南部に小露出があり、周辺は新生代の石英安山岩が分布するが、両者の間の直接的な関係は確認されない。鏡下では、斑晶として多量の大型斜長石の他少量の有色鉱物を伴い、石基は斜長石、カリ長石、普通角閃石、黒雲母及び石英からなる、微文象組織を呈する完晶質岩である。変質は局部的に炭酸塩化と緑泥石化が認められる。

本岩類は、岩質的にみて Domuyo 火山複合岩体の貫入岩相に属する斑岩類の可能性が強い。

(4) 第三紀末～第四紀の火山岩類

① 安山岩類

本岩類は新鮮な輝石安山岩を主とするが、両輝石安山岩、角閃石・ハイパーソン安山岩、角閃石安山岩なども存在する。鏡下では、斑晶は中～多量の斜長石と少～中量の普通輝石の他、ハイパーソン、普通角閃石が認められ、ごく稀にカンラン石が存在する。石基は短柱状の斜長石と少量の普通輝石、ハイパーソン、鉄鉱物とやや多量のハリからなるものである。石基の組織はハリ基流晶質、ハイアロピリティック及び充填状組織を呈する。変質は弱く僅かにカオリン化、絹雲母化、緑泥石化が局部的に認められるにすぎない。

② 火山砕屑岩類

安山岩質凝灰角礫岩は、石質凝灰岩で安山岩の岩片を多く含み、鉱物片として斜長石の他少量の輝石、カンラン石が認められる。基質はハリを中量含む他は凡そ鉱物片の鉱物組成と同様で、全く変質を蒙っていない。

スコリア質凝灰岩は、鉄鉱物の多いスコリアを含む安山岩質凝灰岩で、中には石英安山岩及び軽石などがあり、鉱物片は斜長石のほか輝石類、鉄鉱物からなる。石基はハリ質を示すものが多い。

溶結凝灰岩はいずれも石英安山岩質で、軽石に富むものと溶結による流状組織の著

しいものがある。少量の石英安山岩，安山岩及び軽石の岩片と，斜長石，輝石及び石英の鉱物片がハリ質基質中に認められる。新鮮で変質を全く蒙っていない。

軽石凝灰岩は岩片としてかなり多量の軽石を含み，鉱物片の斜長石と石英にも富んでいる。基質は大部分がハリ質である。

(5) 第四紀の新期火山岩類

① 石英安山岩及び同質凝灰角礫岩

石英安山岩は，鏡下ではシリカ鉱物が球顆状組織を呈するものが非常に多いという特徴がある。斑晶は斜長石を主とし，石英，カリ長石のほか少量の黒雲母，普通角閃石，ハイパーシンと稀に普通輝石が存在する。石基は石英，クリストバライト，トリディマイトのシリカ鉱物とハリからなり，斑晶と同種鉱物の微粒が少量認められる。

石英安山岩質凝灰角礫岩は，岩片として上記の石英安山岩と軽石及び少量の安山岩があり，鉱物片は石英と斜長石を主とする。石基はハリ，クリストバライトを主とし，少量の石英，斜長石を含む。

② 流紋岩

本岩は流理構造を呈し，一部にはパーライト構造が認められる。斑晶は斜長石と少量の角閃石，普通輝石からなり，石基は大部分ハリ質であるが微量の鉱物粒が認められる。

3.3.3 完晶質岩の特徴

(1) Q-Kf-P1 モードによる分類

本地域における完晶質岩類は，基盤をなす Varvarco 深成岩類の花崗閃緑岩と，Domuyo 火山複合岩体の貫入相と考えられる花崗閃緑斑岩に 2 分される。前者の絶対年代は既述のように，K-Ar 法によって二畳紀末期から三畳紀中期後半の貫入と見做されるものである。一方，Domuyo 火山複合岩体は中新世中期から鮮新世初期にわたる活動とされている。

両岩類の鏡下における岩質及び変質などの状況は既述のとおりであるが，Q-Kf-P1 モード測定結果を Fig.3-6 完晶質岩の Q-Kf-P1 モード図に示した。その結果，Varvarco 深成岩類に属する花崗閃緑岩 8 ケはすべて花崗閃緑岩の領域にプロットされている。これらのうち 2～3 ケは花崗閃緑岩ではあるが，トータル岩に近い岩質を示すものが認められる。これに対して Domuyo 火山複合岩体の貫入岩相の花崗閃緑斑岩 4 ケのうち，A°Covunco 上流の岩体からの 2 ケの試料は，石英モンゾニ岩・閃長岩に近い花崗閃緑岩の領域にプロットされ，A°Covunco 中下流に転石で認められる同質岩 2 ケの試料は，花崗閃緑岩に近い石英モンゾニ岩・閃長岩の領域と石英閃緑岩の領域にそれぞれプロッ

トされている。

このように時代の古い底盤状貫入岩体を形成する Varvarco 深成岩類の花崗閃緑岩がほぼ一様な岩質を示すのに対して、Domuyo 火山貫入岩体に属すると考えられる半深成岩体の花崗閃緑斑岩類は、岩質的にやや多様性に富むという特徴がある。

(2) 花崗閃緑岩中の節理の方向性

基盤をなす花崗閃緑岩に発達する節理は、地下深部の断裂系の方向性を推定するための資料となるものである。Fig. 3-7 に示したように測定数 78 の節理の方向性は、 $N 20^{\circ} \sim 30^{\circ} E$ の NNE-SSW 系と $N 50^{\circ} \sim 80^{\circ} W$ の NW-SE 系及び WNW-ESE 系が卓越しており、これに NE-SW 系、N-S 系及び E-W 系などを伴っていることが判る。これらの節理系の方向性と地質構造及び重力から推定される地下構造との関係については後述する。

3.3.4 新期火山岩の特徴

Brousse, R. y Pesce, A.H. (1982) は、Vn. Domuyo 地域に分布する第四紀の新期火山岩類の alkali-silica 成分の関係から、calc-alkali 岩系と shoshonitic 岩系に 2 区分し、それぞれ独立したマグマによる火山活動とした。すなわち、大きくみると鮮新世末期から更新世初期にかけての Sierra de Flores 累層などに属する安山岩質火山岩類を主とする前期の火山活動は、calc-alkali 岩系に属するものであり、更新世中期の Domo 火山岩類に属する石英安山岩質ないし流紋岩質火山岩類を主とする後期の火山活動は、alkali 岩系に近い shoshonitic 岩系に属するものであって、両者のマグマ活動は別個の独立したものであると解釈した。

第 2 次調査による本地域における新期火山層序の検討の結果、Brousse et al が述べた安山岩質火山岩類を主とする前期の火山活動と、石英安山岩質及び流紋岩質火山岩を主とする後期の火山活動があることが裏付けられた。そこで、これらの 2 期の火山活動の特徴を検討するために、Table 3-7 に示す第四紀火山岩類 15 試料の全岩分析を実施した。

この分析結果に基づいて、ノルム計算 (Table 3-8)、alkali-silica の成分関係 (Fig. 3-8) 及び alkali-FeO-MgO 組成 (Fig. 3-9) について検討を行った。Fig. 3-8 に見られるように、 SiO_2 は 52~66% の中性岩から 66% 以上の酸性岩であり、alkali-silica 成分関係では、Brousse et al の calc-alkali 岩系と shoshonitic 岩系との中間部の calc-alkali 岩系の領域内で、両者は正の相関をもっていることが判る。また、Fig. 3-9 の alkali-FeO-MgO 組成では、代表的な calc-alkali 岩系の化学組成に殆んど一致して分布していることが明らかである。

以上のように、本調査における第四紀の新期火山岩類は、化学組成からみると、calc-

Table 3-8 C.I.P.W norm of Quaternary volcanic rocks

Sample No.	Q	C	F			P		ol	H		ap. total	
			or	ab	an	di	hy		il	hm		
1 F-3	18.86	0	25.53	34.33	12.30	0.51	2.46	0	1.60	0	0.31	99.44
2 F-8	8.73	0	4.49	23.51	36.99	2.13	13.26	0	1.96	0.01	0.38	99.02
3 F-23	28.58	0	25.24	39.83	0.47	1.19	0.08	0	0.46	0	0.05	97.51
4 F-46	20.36	0.70	25.47	31.88	12.01	0	3.63	0	1.65	2.13	0.38	99.88
5 TM-6	18.21	0	24.11	34.76	13.14	0.58	3.40	0	1.71	1.58	0.45	100.20
6 TM-13	34.23	0.41	27.30	32.56	2.75	0	1.13	0	0.34	0.37	0.05	100.04
7 TM-20	18.01	0.06	18.62	32.90	17.12	0	4.88	0	1.73	0	0.45	98.07
8 TM-31	18.50	0	10.17	28.67	27.57	0.83	5.13	0	1.48	0	0.36	98.71
9 TM-44	20.45	0.63	20.63	29.68	14.77	0	5.30	0	1.56	0.99	0.40	98.48
10 TM-45	23.88	0	19.33	38.48	11.70	0.17	1.43	0	1.44	1.89	0.38	99.79
11 TM-48	27.92	0.58	26.71	33.49	5.78	0	2.11	0	0.66	0.18	0.19	99.32
12 TM-50	30.50	0	26.78	40.00	0.46	0.62	0.41	0	0.44	1.03	0.05	100.29
13 TM-52	24.62	1.24	26.36	34.33	6.16	0.00	0.46	0	0.30	4.80	0.14	98.41
14 TM-53	28.57	0	25.47	40.59	0.17	0.96	0.39	0	0.42	0.60	0.05	98.13
15 TM-69	17.88	0	9.52	28.92	26.50	0.36	8.93	0	1.25	0.77	0.43	99.61

Table 3-7 Chemical compositions of Quaternary volcanic rocks

Sample No.	SiO ₂ %	TiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	FeO %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	+H ₂ O %	-H ₂ O %	P ₂ O ₅ %	CO ₂ %	LOI %
F 3	66.04	0.84	15.86	2.44	1.87	0.07	1.02	2.78	4.06	4.32	0.33	0.13	0.13	0.08	0.75
F 8	52.28	1.03	18.95	5.23	3.13	0.14	4.01	8.20	2.78	0.76	1.57	0.84	0.16	0.15	2.91
F 23	73.21	0.24	12.54	1.11	0.61	0.11	0.25	0.43	4.71	4.27	1.87	0.31	0.02	0.22	2.78
F 46	65.61	0.87	15.97	3.28	1.22	0.08	0.82	2.63	3.77	4.31	0.50	0.28	0.16	<0.04	1.08
TM 6	65.56	0.90	15.99	3.14	1.44	0.07	0.96	3.04	4.11	4.08	0.16	0.16	0.19	0.26	0.71
TM 13	75.99	0.18	12.75	0.99	0.36	0.08	0.19	0.58	3.85	4.62	0.12	0.08	0.02	<0.04	0.58
TM 20	62.29	0.91	16.14	2.97	2.30	0.14	1.33	3.70	3.89	3.15	1.71	0.32	0.19	0.18	2.79
TM 31	60.22	0.78	17.54	4.14	2.44	0.13	2.21	5.97	3.39	1.72	0.53	0.32	0.15	0.18	1.43
TM 44	63.00	0.82	15.59	3.80	1.87	0.13	0.91	3.20	3.51	3.49	2.22	0.73	0.17	0.11	3.70
TM 45	68.76	0.76	15.31	2.64	0.93	0.09	0.36	2.61	4.55	3.27	0.10	0.17	0.16	0.22	0.71
TM 48	71.69	0.35	14.10	1.35	0.72	0.12	0.35	1.27	3.96	4.52	0.78	0.13	0.08	0.22	1.52
TM 50	75.65	0.23	12.73	1.49	0.29	0.12	0.14	0.27	4.73	4.42	0.04	0.05	0.02	0.07	0.42
TM 52	68.16	0.60	15.00	4.80	0.14	0.07	0.14	1.32	4.06	4.46	0.53	0.15	0.06	0.11	1.14
TM 53	73.73	0.22	12.62	1.23	0.36	0.12	0.14	0.29	4.80	4.31	1.83	0.22	0.02	0.29	2.72
TM 69	60.50	0.66	17.08	4.26	2.01	0.15	2.50	5.67	3.42	1.61	0.78	0.44	0.16	0.07	1.63

alkali 岩系に属する中性から酸性に至る一連の火山岩類と云うるものである。既述のように第四紀火山岩の年代については、その最も古いものとして 0.72 ± 0.10 Ma が報告されており、本調査では 0.55 ± 0.10 Ma, 0.29 ± 0.07 Ma, 0.11 ± 0.03 Ma 及び 0.11 ± 0.02 Ma の年代が求められている。従って、本地域における第四紀の火山活動の特徴は、更新世前期から後期にかけて中性から酸性に至る一連の calc-alkali 岩系のマグマ活動の盛衰はあっても時間的に大きな休止時期はないと判断される。

3.4 構成岩石の物性

現地での地質調査及び変質帯調査において採取した岩石試料のうち、室内解析に供した岩石試料箇数は Table 3-9 に示したとおりであり、その採取位置は Fig.3-11 に示した。

Table 3-9 岩石試料一覧表

検鏡薄片 枚	X線 回折 個	物性測定					絶対年代		全岩 分析 個
		密度 個	空隙率 個	帯磁率 個	比抵抗 個	熱伝導率 個	K-Ar法 個	F.T.法 個	
110	142	110	88	62	61	61	2	6	15

本節では、岩石の物性試験結果について述べる。なお、岩石試験作業手順、岩石物性測定値一覧表(Table A-2(1)~(3))及び岩石物性測定結果表(Table A-3)は巻末に添付し、これらを総括した岩石物性総括表(Table 3-10)及び岩石物性総合図(Fig. 3-11)を示す。

3.4.1 密度

3種類の密度、すなわち自然状態、強制湿潤状態及び強制乾燥状態について、地質層序単元(Table 3-10 の D. B. J. T. K-1 及び V-2 の各単元)別の平均値をみると、基盤(単元 B)から最上位の Domo 火山岩類(単元 V-2)に至るに従って、規則的に密度が大から小へと変化している。また、岩質的にみると、基盤岩類の変成岩類及び花崗閃緑岩類が最も大きく、その上の中生層の構成岩石の大部分がこれに次いでいる。火山岩類では中性の安山岩から石英安山岩、酸性の流紋岩の順で密度が小さくなる。火山碎屑岩類は密度の小さいグループを形成し、第四紀の新时期火山岩類のスコリア凝灰岩や軽石凝灰岩の密度が最も小さい。

3.4.2 有効空隙率

有効空隙率は密度と負のよい相関がみられる。密度の小さい第四紀の火山碎屑岩類が

2.5 %以上の第1級の高い値を示すが、第四紀火山碎屑岩類でも溶結凝灰岩は密度は2.5 g/cm^3 以上で比較的大きく、有効空隙率も3 %前後で低いが、これは溶結度の高さを物語っている。また、中生層の大部分と基盤岩類は5 %以下の低い値を示している。

3.4.3 帯磁率

基盤岩類が最も低く、安山岩ないし玄武岩以外の中生層と単元V-2の酸性火山岩類が $500 \times 10^{-6} \text{ emu/cc}$ 以下の低い値を示しており、岩質からみた通常の帯磁率の値と矛盾しない。最も高い帯磁率は第三系(単元T)及び第四紀の前期火山岩類(単元V-1)の安山岩類及び同質碎屑岩類で測定されており $1,000 \times 10^{-6} \text{ emu/cc}$ 以上となっている。これは安山岩自身が持つ多くの鉄鉱物特に磁鉄鉱に起因しており、同質碎屑岩類は顕微鏡観察の項で述べたように、このような安山岩の岩片を多く含むことによって高い帯磁率を有するものである。

3.4.4 比抵抗

FE値は最低0.7 %、最高3.8 %で大部分が平均1.5 ~ 2.0 %の範囲に入っており、普通の岩石のFE値を示すものである。比抵抗は、基盤岩類が最も高く火山岩類がこれに次ぎ、堆積岩類や凝灰岩類が相対的に低い値を示しているが、全般的に高めの比抵抗値の部に入るものである。これは、本岩石物性試験に供した試料は、各層準の岩質別の代表的なものを選んでおり、地熱現象に伴う変質作用を蒙った試料でないため、全般的に高めの比抵抗値となったと考えられる。この事実を逆にいえば、地熱現象による変質帯が低比抵抗帯を形成するので、本地域における垂直電気探査の有効性を示唆していると解される。

3.4.5 熱伝導率

熱伝導率は、第四紀の前期火山岩類から基盤に至るに従って、古い時代の岩石ほど圧密を受けているため、次第に高い値となる一般的な傾向を示している。従って、密度とは正の相関を、また有効空隙率とは負の相関がある。中生層の単元J-2より上位の層準の各岩質別の熱伝導率の値は $2 \sim 5 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{C}$ で普通の値といえるが、中生層の単元J-1、基盤岩類の単元B及び岩脈類の単元Dの熱伝導率は通常の値よりもかなり高い値となっている。

3.5 地質のまとめ

- (1) 調査地域の地質は大きく4単元に区分される。すなわち、二畳・三畳系とされている Choiyoi 層群に属する片岩及びホルンフェルスからなる変成岩類と、これらを上く Varvarco 深成岩類の花崗閃緑岩を基盤とし、ジュラ紀の Chacay Melehue 累層、Aguilco 累層及び Tordillo 累層の中生層が累重する。これを不整合に覆って中新世～鮮新世の第三系が乗り、鮮新世末期の Domuyo 火山複合岩体の貫入岩相にあたる花崗閃緑斑岩の小分布がみられる。第三紀末から第四紀にかけての新时期火山岩類は、下位から安山岩、石英安山岩及び流紋岩の火山岩類からなり、それぞれの溶岩及び砕屑岩類が分布する。
- (2) フィッション・トラック法による新时期火山岩類の絶対年代として 0.55 ± 0.10 Ma から 0.11 ± 0.02 Ma が得られ、既存資料の 0.72 ± 0.10 Ma と併せて、更新世前期末葉から同中期末葉にかけての活動であることが明らかとなった。基盤の花崗閃緑岩の絶対年代測定では、フィッション・トラック法によってジュラ紀中期初頭のバジョシアン階を示すアンモナイト化石を産する中生層より新しい時代が測定されたが、K-Ar 法によって二畳紀末期から三畳紀中期末葉の時代を示す 227 ± 16 Ma と 259 ± 13 Ma が得られ、調査地域の地質層序を裏付けている。
- (3) 調査地域における完品質岩類は、基盤をなす Varvarco 深成岩類の花崗閃緑岩と、中新世中期から鮮新世初期にわたる活動とされている Domuyo 火山複合岩体の貫入岩相の一つと考えられる花崗閃緑斑岩からなる。Q-Kf-Pl モード測定の結果、前者はすべて花崗閃緑斑岩ではほぼ一様な岩質を示すのに対し、後者は花崗閃緑斑岩を主とするが石英モンゾニ・閃長岩あるいは石英閃緑岩の領域にわたり、やや多様性に富んでいる。
- (4) 新时期火山岩類の完全分析の結果、calc-alkali 岩系に属する中性から酸性に至る一連の火山岩類であることが判明し、更新世前期から同後期にかけて活動したものである。
- (5) 本地域の構成岩石の物性では、密度は基盤岩類から最上位の第四紀の新时期火山岩類に至るに従って低下しており、スコリア凝灰岩や軽石凝灰岩などの火山砕屑岩類が最も密度が低い。

有効空隙率は密度と負の相関を示し、基盤岩類と中生層が低く、第四紀の火山砕屑岩類が高い。帯磁率は第三系と第四紀火山岩類のうち安山岩類と同質砕屑岩類が高く、全体として岩質に対応する値を示している。比抵抗では通常の岩石の FE 値を示している。また、比抵抗値は基盤岩類が最も高く、火山岩類がこれに次ぎ、堆積岩類や凝灰岩類が低いが、全般的にやや高めの値が得られている。熱伝導率では下位の地層あるいは岩体ほど高い値を示しているが、中生層の下半部及び基盤岩類の熱伝導率は通常の値よりかなり高い値となっている。

Table 3-10 All inclusive results of measurement of physical properties (the mean value of rock facies & geological unit)

Rock facies	Geological unit		Density (g/cm ³)						Porosity		Susceptibility		Resistivity				Thermal conductivity		
			Natural condition		Water saturated		Oven dry		%		(emu/cm ³) x 10 ⁻⁶		FE (%)		ρ (Ω-m)		(cal/cm.sec.°C) x 10 ⁻³		
			R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	R.f	G.u	
Rhyolite	V	V-2	1.78	2.19	1.85	2.26	1.77	2.16	7.79	8.00	184	298	1.6	1.9	2854	1861	1.687	2.708	
Dacite			2.25		2.31		2.21		7.42		360		2.2		1097		2.633		
Dacitic tuff breccia (1)			2.09		2.21		2.04		16.58		-		-		-				
Dacitic tuff breccia (2)			2.17		2.25		2.19		7.58		250		1.7		2728		3.541		
Pumiceous tuff	V	V-1	1.40	2.22	1.70	2.32	1.38	2.18	32.18	13.33	1170	1290	-	1.4	-	465	0.582	2.793	
Welded tuff			2.54		2.56		2.53		3.10		1185		1.3		537		3.576		
Andesitic tuff breccia			2.00		2.17		1.92		25.07		1119		1.3		62		2.529		
Scoriaceous tuff			1.91		2.06		1.86		21.24		812		1.7		95		1.709		
Andesite			2.48		2.52		2.48		5.86		1635		1.2		712		3.542		
Andesite	T		2.47	2.35	2.50	2.41	2.43	2.22	4.48	11.08	1503	855	1.7	1.6	3219	1929	3.944	4.335	
Andesitic tuff breccia			2.13		2.23		2.07		16.04		370		1.5		961		4.725		
Sandstone, Mudstone	J	J-3	2.54	2.03	2.56	2.15	2.53	1.99	3.03	15.54	62	112	1.5	1.6	335	174	5.522	3.609	
Tuff			1.68		1.87		1.63		23.88		145		1.6		67		2.333		
Sandstone		J-2	2.41	2.52	2.47	2.56	2.40	2.51	6.84	7.32	27	-	-	1.8	-	357	-	6.690	-
Limestone			2.62		2.64		2.62		2.22		4.53					-		205		-	1881	-	5.302
Sandstone, Mudstone (Basalt)		J-1	2.64	2.54	2.65	2.56	2.63	2.51	1.98	4.36	68	277	1.6	1.7	468	2999	6.100	5.463	6.088
Andesite, Basalt			2.52		2.56		2.51		5.46		602				582		5.463		
Pyroclastic rocks			2.51		2.54		2.45		4.91		138				6078		6.552		
Granodiorite	B		2.66	2.66	2.67	2.67	2.66	2.66	1.06	0.94	187	116	1.9	2.0	1853	4858	7.539	9.057	
Metamorphosed rocks			2.69		2.70		2.69		0.63		41		1.9		11243		12.577		
Aplite			2.61		2.61		2.60		1.19		52		2.5		2795		7.575		
Andesite dyke	D		2.46	2.52	2.49	2.54	2.44	2.52	5.72	3.73	-	429	-	2.1	-	5550	-	7.277	
Basalt dyke			2.66		2.67		2.66		1.27		55		9911		9.457				
Granodiorite porhyry			2.46		2.48		2.45		3.21		803		1189		5.098				

V: Quaternary-Tertiary

V-2: Pleistocene, Volcanics of Co. Demo

V-1: Pleistocene-Pliocene,
Acidic Pyroclastics
Sierra de Flores Formation
Atreuce Formation

T: Tertiary, Pliocene-Miocene,

J: Jurassic, Dogger-Malm,

J-3: Tordillo Formation

J-2: Auquilco Formation

J-1: Chacay Melehue Formation

B : Basement

D : Dike Rock, etc.

R.f: Rock facies

G.u: Geological unit

4. 調査地域の地質構造

2

3

4

4. 調査地域の地質構造

4.1 地質分布及び岩石物性からみた地質構造

4.1.1 地質分布からみた地質構造

調査地域の地質分布は、El Humazo と Los Tachos を結ぶ南北の線をほぼ境として東部と西部では大きな差異がある。

すなわち、地域の西半部では二畳・三畳系の Choiyoi 層群に属する変成岩類と Varvarco 貫入岩体の花崗閃緑岩類の基盤岩が地下浅所に分布し、これを覆って第四紀の新期火山岩類が広く分布する。変成岩類及び花崗閃緑岩類は、Rio Varvarco など標高の低い河川沿いに、新期火山岩類の下部から内座層として地窓状に露出している。基盤岩類の上面は多少の凹凸はあるとしても、全体としてはほぼ平坦な侵食面からなる旧地形を形成していたものと推定される。

一方、地域の東半部では基盤岩類は地表に露出しておらず、新期火山岩類の基盤をなすものは中生層である。

El Humazo から A° Manchana Covunco 上流にかけての地域のほぼ中央部に分布する中生層は、走向 $N 30^{\circ} E \sim N 30^{\circ} W$ 、傾斜 $15^{\circ} \sim 30^{\circ} E$ を示しており、Fig. 2-2 の広域地質図に見られる El Turbio 西方の $N-S$ 系向斜軸の南方延長の西翼部の構造に調和的といえる。これに対して Rincon de Las Papas 東方から Co. Domo 東南方地域にかけて分布する中生層は、上記向斜軸の東翼部で、広域的にみれば $Vn. Domuyo$ を中心とする大規模な箱型のドーム状構造の西翼部に当るので、走向 $N-S$ 系で西方へ傾斜する構造が本来のものである。しかしながら、Co. Domo を中心とする局所的なドーム状の盛り上りの影響をうけて、北東部では走向 $NW-S E \sim E-W$ で北東方へ傾斜し、南東部では走向 $NE-S W \sim NNE-SSW$ で南東方へ傾斜する構造的な乱れが現われている。

中生層の上位に乗る第三系は、不整合関係にあるが構造的な大きなギャップは認められない。

また、基盤岩類、中生層及び第三系の上位に噴出、溢流した新期火山岩類は、それらの基底をなす古期岩類の古地形の凹凸に左右されている可能性はあるが、地表における火山岩類の構造は、大局的にみれば下位の古期岩類の構造と調和的である。

広域的に発達する $N-S$ 系及び $E-W$ 系の大断層と、これに付随する $NW-S E$ 系 $\sim WNW-ESE$ 系及び $NE-S W$ 系 $\sim ENE-WSW$ 系に対応するものとして、調査地域内における断層は $N-S$ 系と $NW-S E$ 系が卓越し、 $NE-S W$ 系の断層がこれに次いでいる。

後述のように、調査地域内に延びると予想される Turbio 西方の N-S 系向斜軸のやや西寄りの部分に、この軸方向に平行するブーゲー異常の急変部があり、N-S 系の大断層の存在が推定される。この N-S 系の推定断層は、Co. Domo 付近で SE 方向あるいは SSE 方向に屈曲するが、N-S 系断層と NW-SE 系断層の組合せからなる大断層帯とみることが出来る。

4.1.2 岩石物性からみた地下構造

構成岩石の密度分布は、最古期の基盤岩類から最新期の Domo 火山岩類に至るに従って規則的に密度が大から小に変化している。地質分布に関連した密度からみた地下構造は、地域の西半部では密度 $2.6 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ の基盤岩類の高密度層と密度 2.3 g/cm^3 前後の新期火山岩類の低密度層からなる 2 層構造を呈している。一方、東半部では、低密度層の新期火山岩類に覆われて、密度 $2.4 \sim 2.6 \text{ g/cm}^3$ の第三系と中生層からなる中密度層の 2 層構造を形成するが、地下深部には基盤岩類の高密度層の潜在が予想される。このように調査地域の東西両半部では、上位の新期火山岩類と下位の古期岩類の 2 層構造で特徴づけられるが、それぞれの密度差には、西半部が $0.3 \sim 0.4 \text{ g/cm}^3$ 、東半部が $0.1 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ で地域的な差異がある。

有効空隙率からみた地下構造は、大きくみると低い値を示す基盤岩類と中生層下半部の下部層と、中～高い値を示す中生層上半部から新期火山岩類に至る上部層に 2 分されるが、上部では岩種による変化が大きく幾つかの細かな垂層に区分される地下構造となっている。

帯磁率、比抵抗及び熱伝導率からみた地下構造は、地質層序、構成岩石の岩質などから判断すると、絶対値に若干の差異があるとしても一般的傾向を示しており、本地域で特別に変った地下構造を形成しているとは考えられない。

4.2 重力分布から推定される地下構造

4.2.1 現地重力探査

(1) 重力測定

重力測定には米国 La Coste & Romberg 社製作の La Coste G 204 重力計 (Fig. 4-1) を使用した。G 204 重力計は 1969 年 2 月に製作され、その測定範囲は $0 \sim 7261.53 \text{ mgal}$ である。

本調査における G 204 重力計のダイヤル読取範囲は $2,540 \sim 3,480$ で、この範囲の重力計定数 K 及びスケールコンスタント K を Table 4-1 に示す。

Table 4-1 Milligal Values for Lacoste G204 Gravity Meter

Counter Reading	Value in Milligals	Factor for Interval	Counter Reading	Value in Milligals	Factor for Interval
	K	κ		K	κ
2,500	2,588.51	1.03713	3,100	3,211.01	1.03802
2,600	2,692.22	1.03727	3,200	3,314.81	1.03818
2,700	2,795.95	1.03741	3,300	3,418.63	1.03835
2,800	2,899.69	1.03756	3,400	3,522.46	1.03852
2,900	3,003.45	1.03771	3,500	3,626.31	1.03870
3,000	3,107.22	1.03786			

調査地域内の重力測点数は316点で、これは計画点数より16点多い。測点間隔は800mを標準としたが、地質調査、地化学探査によって地熱有望地域と判断された調査地域中央部については、測点を追加したことにより測点間隔は約400mとなった。

以上の測点のほか、広域的な重力分布を把握する目的で調査地域と調査地域の南方約80kmに位置するChos Malalとの間の地域で総延長1,050km、測点数31点の測定を実施した。

(2) 重力値の基準

重力測定の基点は本調査のベース・キャンプとしたCampamentoのバンガロー4号棟の入口前(Fig. 4-2(b))に設置し、番号は $\kappa 1000$ とした。基点 $\kappa 1000$ の重力値はFig. 4-2(a)に示すNeuquén空港内に設置されているアルゼンティン共和国の重力基準点9310-68(緯度 $38^{\circ}58'S$ 、経度 $68^{\circ}03'W$ 、標高270m)の重力値979,964.02 mgalを基準として決定した。この重力値は国際重力基準網(IGSN)71に基づくものである。

$\kappa 1000$ の重力値算出過程をTable 4-2に示した。閉塞の期間が46日間(1月14日~3月1日)の長期にわたったことから、計算にあたっては、 $\kappa 1000$ の測定値をこの期間の前、中、後期から各1個選び、その平均値979,375.44 mgalを最終重力値とした。

(3) 水準測量

316点の測点に対して $\kappa 1 \sim \kappa 142$ 、 $\kappa 301 \sim \kappa 376$ 、 $\kappa 501 \sim \kappa 598$ の番号を付した(Fig. 4-3参照)。調査地域は地形によって東部山岳部と西部高原部とに大別できるが、 $\kappa 1 \sim \kappa 142$ の測点は西部高原部に位置する。142点の測点のうち137点については、事前にアルゼンティン側で電波測距儀(Tellurometer CA1000)とトランシット(Wild T-2)を併用して測量を実施した。残りの5点は電波測距儀による測量が困難な場所に位置するため、日本側調査団が精密高度計(Paulin Preci-

sion Altimeter MM-1)を使用して標高を測定した。

㈬501～㈬598の測点は東部山岳部に位置する。この地区は地形が極めて急峻であり、電波測距儀による測量が困難であったため、日本側で谷沿いの測点18点については自動レベル(Sokkisha Autolevel B-2)による水準測量を、残りの80点については上記の精密高度計による測量を実施した。

㈬301～㈬376の測点は調査地域中央部の精査地域に追加したもので、最寄りの電波測距儀による測点を基点としてレベルによる測量を日本側で実施した。

標高の基準として、当初Campamento西方300mの標高点(1,874m)を暫定的に使用した。しかしながら、この暫定基準点と国道40号線Barrancas-Butaco間に設置されている水準点PF85N(149)(標高1,042,770m)との間を精密高度計を用いて連絡した結果、暫定基準点の地形図の標高1,874mが約67m高いことが判明した。したがって、データ処理にあたっては現地調査で得た測量結果から67mを差し引いた値を各測点の標高値とした。なお、位置座標の決定にあたっては、Los Tachosにあるアルゼンティン共和国の位置基準点を基点とした。Fig.4-3に測量ルート図を示す。

(4) 潮汐変化の観測

潮汐補正係数を決定するための基礎データを得る目的で、La Coste 重力計を用いて地球潮汐による重力変化の観測を2月11日6°00' - 23°00'(17時間)にCampamentoにおいて、また2月24日9°00' - 23°00'(14時間)にArroyo Covuncoにおいて実施した。この結果をFig.4-4に示す。実線で示した理論曲線は月と太陽による起潮力を足し合せ、これに通常の重力探査に使用される潮汐補正係数1.20をかけたものである。観測結果は理論曲線によく一致しており、調査地域においても潮汐補正係数として1.20が適切であることを示している。この結果に従い、潮汐補正計算は補正係数1.20を用いて行った。

4.2.2 補正密度

(1) 岩石試料の密度

調査地域で採取した岩石試料108個について、自然乾燥、強制乾燥及び強制湿潤の3種類の密度測定を行った。その結果は他の物性測定結果とともに巻末の付帯資料のTable A-3に纏められている。上記3種類の密度のうち自然の状態に近い密度は強制湿潤密度である。したがって、以下では強制湿潤密度について記述する。

Table A-3によると、本地域で最も密度の高い岩石は基盤岩類の変成岩類で、その密度は 2.70 g/cm^3 である。次に高い密度を示すのは、同じく基盤岩類の花崗閃緑岩で 2.67 g/cm^3 である。中生層は例外的に低い密度(1.87 g/cm^3)の凝灰岩を除けば2.47～

Table 4-2 Calculations of gravity value at base station No. 1000 in Base Camp

[LaCoste G-204]

Y	M	D	NO	TIME	READING	INST.H	x FACT.	ETCOR	INST.COR	+ COR	DRIFTCOR	GRVTY DIF.	GRVTY VAL.
83	1	14	9310 -68	H M 10 07	3479.020	CM 27.5	3604.522	.019	.085	3604.626	0.000	MGAL 0.000	979.96402
	1	17	1000	8 21	2912.126	27.0	3016.033	-.070	.083	3016.046	-.033	-588.613	979.375407
	2	3	1000	8 00	2912.261	27.0	3016.173	.039	.083	3016.295	-.227	-588.558	979.375462
	2	18	1000	7 56	2912.440	27.0	3016.359	.020	.083	3016.462	-.398	-588.562	979.375458
	3	1	9310 -68	17 45	3479.529	27.5	3605.051	.018	.085	3605.154	-.528	0.000	979.96402

1111 38

DRIFT RATE: 0114 MGAL/DAY

$$\text{AVERAGE VALUE} = (979.375407 + 979.375462 + 979.375458) / 3 = \underline{979.375442}$$

2.65 g/cm^3 の範囲にあり, Chacay Melehue 累層 (J - 1) の砂岩・泥岩 (2.65 g/cm^3) および Auquilco 累層 (J - 2) の石灰岩 (2.64 g/cm^3) は花崗閃緑岩に次ぐ高い密度を示している。中生層の平均密度は 2.56 g/cm^3 であり, Tordillo (J - 3), Auquilco, Chacay・Melehue の各累層の平均密度もそれぞれ 2.56 g/cm^3 となっている。

第三系 (T) と第四紀の新期火山岩類 (V - 1 及び V - 2) の平均密度は, 一般に時代が新しくなるに従って低くなる傾向がある。これらの新期火山岩類の中で比較的密度の高いものは第三系 (T) の安山岩の 2.50 g/cm^3 , 第三紀末～第四紀 (V - 1) の安山岩の 2.52 g/cm^3 , 同じく溶結凝灰岩の 2.56 g/cm^3 である。一方, 密度が低いのは第三紀末～第四紀のスコリア凝灰岩の 2.06 g/cm^3 , 同じく軽石質凝灰岩の 1.70 g/cm^3 および第四紀 (V - 2) の流紋岩の 1.85 g/cm^3 などである。第三紀末～第四紀の新期火山岩類の平均密度は 2.32 g/cm^3 である。なお, 108 個の試料の平均密度は 2.41 g/cm^3 であった。

(2) g - H 関係

Fig. 4 - 5 に 316 点の側点による g - H 関係を示した。点の分布を直線と見做してその勾配から計算されるいわゆる g - H 関係の密度は 176 g/cm^3 である。この値は岩石試料の密度と比較するときわめて低い。このように, 岩石試料の密度と g - H 関係の密度とが全く一致しない理由として, 詳しくは「ブーゲー異常」の項で述べるが, 標高の高い東部でブーゲー異常値が全般に低いという地形とブーゲー異常の逆相関があげられる。このような地形とブーゲー異常の逆相関は g - H 関係の密度を低くする方に作用する。

また, 点の分布は直線的ではなく, ゆるくカーブしている。したがって, 点の分布は全体としては図中に破線で示した勾配の異なった何本かの直線の集まりと見做した方が無理がない。これらの破線の勾配から得られる密度は 202 ~ 228 g/cm^3 で, 岩石試料の密度とそれほど矛盾しない。

(3) 補正密度の決定

本調査では解析を行うブーゲー異常図の補正密度として $\rho = 230 g/cm^3$ を選定した。補正密度を決定するにあたっては, 岩石試料の密度, g - H 関係の密度, さらに異なった補正密度で作成した 3 種類のブーゲー異常図などを検討した。

作成した 3 種類のブーゲー異常図の補正密度は $\rho = 200, 230$ および 250 である。このうち $\rho = 200$ のブーゲー異常図には地形の影響によると判断される重力異常が幾分見られたが, $\rho = 230$ と $\rho = 250$ のブーゲー異常図ではそのような重力異常はほとんど認められなかった。したがって, 230 から 250 の間の密度であればどの密度であっても大差ないと考えられたが, 地表を広く覆う第三紀末～第四紀の新期火山岩類の平均密度が 2.32 g/cm^3 であることを重視して $\rho = 230$ を選んだ。

4.2.3 ブーゲー異常の解析結果

(1) 広域ブーゲー異常

Fig. 4-6 に調査地域の南方地域の広域的なブーゲー異常分布を示す。この測定は調査地域の重力トレンドを把握を目的としたものであるが、調査地域周辺については道路が未発達のため測定出来なかったため、できるかぎり広範囲で測定を実施し、その結果から調査地域の重力トレンドを推定することとした。

Fig. 4-6 は地形補正を施していないいわゆる「単純ブーゲー異常図」であるが、重力分布の大局的な傾向はこの図から十分に把握される。

すなわち、この地域の重力分布の特徴として次の2点が指摘される。

- ① ブーゲー異常値が顕著なマイナスの値である。
- ② ブーゲー異常値は全般に北に向って減少する傾向がある。

顕著なマイナスのブーゲー異常は、ヒマラヤ山脈やアンデス山脈などの高山地域で検出されている。この現象は、マントルに比較して軽い物質から構成される地殻が高山地域で相対的に厚い構造を呈する状態、すなわちアイソスタシーが成立していることを示唆するものと解されている。広域調査の地域はチリーとアルゼンティンとの国境をなすアンデス山脈の東側 100 km 未満の範囲内に位置する。その北部において 5,000 m を越す標高を有するアンデス山脈は、この付近では 3,000 m 以上の標高は稀であるが、ブーゲー異常値が顕著なマイナスであるという測定結果から、この付近においてもなおアイソスタシーが成立していることが推定される。

ブーゲー異常分布は概略、El Cholar~La Primavera を中心とする高重力域及び Auquinco の南東方向に広がる高重力域と、これら2つの高重力域に挟まれて Chos Malal から Tromén 湖方面に伸びる低重力域とに区分できる。これらの各領域は Fig. 2-1 ランドサットデータによる地質解析図に示される地質分布によく一致する。すなわち、高重力域の広がりには先第三系の分布に、低重力域は新生代火山岩類の分布にそれぞれ対応する。

ブーゲー異常値は局部的に西あるいは東に向って減少するところが見られるが、地域的傾向としては北に向って減少している。この傾向は Fig. 4-6 によると調査地域についてもそのまま連続しているものと判断される。

(2) 調査地域のブーゲー異常

補正密度 $\rho = 2.30 \text{ g/cm}^3$ のブーゲー異常図を Fig. 4-7 に示した。参考図として作成した $\rho = 2.00$ と $\rho = 2.50$ のブーゲー異常図は、それぞれ Fig. 4-8, Fig. 4-9 に示してある。Fig. 4-7 のブーゲー異常図をもとにフィルター解析により長波長ブーゲー

異常図と短波長ブーゲー異常図（重力残差図）を作成し、それぞれFig. 4-10とFig. 4-11に示した。短波長ブーゲー異常図には径が約500 m以下の重力異常が抽出されており、一方、長波長ブーゲー異常図では約500 m以下の重力異常が除去されている。Fig. 4-12はFig. 4-7のブーゲー異常図を3次元的イメージに図化したものである。

調査地域の補正密度 $\rho = 2.30$ によるブーゲー異常値は -162 mgalから -127 mgalの間に分布する。このような顕著なマイナスのブーゲー異常は前項の広域ブーゲー異常で述べたように、アイソタシーに起因するものである。調査地域のブーゲー異常は相対的に西部で高く、東部で低い非常にはっきりした傾向を示している。このE-W方向のトレンドは広域調査によって把握されたN-S方向のトレンドに一致しないことから、調査地域周辺の比較的狭い範囲の傾向を示すものと考えられる。なお、広域的なN-S方向のトレンドは、Fig. 4-7ではそれほど明瞭に認められないが、調査地域の南縁部と北縁部とで約5 mgalの差が認められることから、この差が広域的なトレンドを意味するものと考えられる。

調査地域は重力分布の違いからFig. 4-13に示すように大きく3つの地区に分けられる。各地区の重力分布の特徴は次のとおりである。

① A 地区

A地区はブーゲー異常値がほぼ -140 mgal以上の高重力域で、調査地域の西約 $3/5$ を占める。本地区は相対的にブーゲー異常が高いことと全般に重力傾度が小さいことが特徴である。本地区はさらにA-1、A-2、A-3のブロックに細分される。

A-1ブロックはEl HumazoとBanõs del Agua Calienteとを結ぶ線の北側の地域で、北西部を除きほぼ一様なブーゲー異常を示すきわめて穏やかな重力分布を呈する地域である。A-1ブロックでは重力傾度 2 mgal/km以下の地域が大部分を占めている。北西部では北西方向に向ってブーゲー異常値が減少する。本ブロックでは長波長ブーゲー異常図によるとNE-SW方向の重力分布が卓越するが、短波長ブーゲー異常図ではN-S方向の重力分布が卓越している。

A-2ブロックは調査地域の中央部に位置し、局所的な低重力異常が形成されている。この低重力異常は長波長ブーゲー異常図によると、El HumazoとLos Tachosとを結ぶ線を底辺とし、Campamento付近を頂点とするほぼ二等辺三角形を呈する。この低重力異常の周縁部にはEl Humazo、Las Olletas、A° Aguas Calientes、Banõs del Agua Caliente及びLos Tachosなどの地熱徴候地が分布する。

A-3ブロックはA地区の南部に位置する。NE-SW方向に伸びる3列の局所的な高重力異常と、2列の局所的な低重力異常から構成されており、A地区の中では比較的变化に富んだ重力分布を呈するブロックである。本ブロックの重力コンターにはNE-SW

方向のほかに、広域的なブーゲー異常分布に一致するE-W方向の成分も認められる。

② B地区

本地区はA地区とC地区とに挟まれたN-S方向に細長い帯状の地域で、高いブーゲー異常から低いブーゲー異常に変化する遷移帯に相当する。重力コンターが密であることから分かるように、重力傾度がきわめて大きいのが特徴で、平均傾度は約6 mgal/kmであるが、局部的には10 mgal/kmを超えるところも見られる。通常の場合、こうした遷移帯では重力傾度は中央線に沿って最大となるが、本地区については東縁部と西縁部の2ヶ所に極大が認められる。重力コンターの方向は本地区の北 $\frac{2}{3}$ ではN-S方向が卓越するが、南 $\frac{1}{3}$ ではNW-SE方向に変化している。

③ C地区

本地区は調査地域の東縁に沿ってN-S方向に伸びる低重力域である。ブーゲー異常値が約-150 mgal以下のこの低重力域は、一部を除きさらに東に向かってブーゲー異常値が減少する傾向を示すことから、調査地域の東方にかけてさらに広い拡がりをもつことは明らかである。本地区には短波長ブーゲー異常図に見られるように、局所的な重力異常が多数分布する。その分布には全般に顕著な規則性は見られないが、B地区との境界付近についてはN-S方向に配列する傾向が認められる。

(3) 定性解析

$\rho = 2.30$ のブーゲー異常図を対象に行った定性解析の結果を、Fig. 4-14 重力解析図に示した。定性解析では、まずブーゲー異常値に着目した概括的な地域区分を行い、相対的に高いブーゲー異常の地域を高密度域、低いブーゲー異常の地域を低密度域とした。

次に重力分布のパターンに着目して、重力リアメント、背斜状構造及び向斜状構造などの局所的な構造を抽出した。重力リアメントは重力分布の中に識別される線状構造で、コンターに平行なものとコンターに斜交するものがあり、前者を実線で、後者を破線で図示した。

背斜状構造及び向斜状構造は、それぞれ尾根状に伸びる局所的な高重力異常、谷状に伸びる局所的な低重力異常を表現したものである。

Fig. 4-14に示した定性解析の結果は、次節の4.3「地質構造に関する考察」で、重力分布の地質学的解釈に関連して詳しく記述する。

(4) 定量解析

Fig. 4-13に示したA-A', B-B', C-C'の3断面について行った2層構造を仮定した深度計算の結果をFig. 4-15, Fig. 4-16, Fig. 4-17に示した。これらの3断面はFig. 3-5に示した地質断面の位置と一致する。

2層構造の上部層としては第四紀の新时期火山岩類を想定しており、下部層としては変成

岩類及び花崗閃緑岩の基盤岩類と中生層などの密度の高い地層あるいは岩体を想定している。密度差は A - A' 断面では 0.2, 0.4, 0.6 の 3 種類, B - B' 断面及び C - C' 断面ではこれらに 1.0 を加えて 4 種類を設定した。このうち 1.0 の密度差は軽石質凝灰岩と花崗閃緑岩の密度差を, 0.6 の密度差はスコリア質凝灰岩と花崗閃緑岩の密度差を想定したものである。残りの 0.2 と 0.4 は特定の地層を想定したものではなく, その密度差でどの程度の深度が得られるかを示すために選んだものである。

Fig. 4-15, Fig. 4-16, Fig. 4-17 の上段には, $\rho = 2.30$ のブーゲー異常断面, $\rho = 2.30$ の長波長ブーゲー異常断面及び密度差 0.2 による計算重力異常値を示した。密度差 0.2 による計算重力異常値は測定値との偏差が最も大きい例として示したもので, 他の密度差による計算結果はいずれも 0.2 の結果に比較して測定値によくフィットしている。

断面解析図の中段は, Fig. 3-5 に示した地質断面について, それぞれ該当する地層及び岩石の平均密度を記入してある。下段は, 各密度差による計算結果を示した。なお, コントロール・ポイントは花崗岩が地表に露出している地点を選んだ。解析結果については次節の 4.3 「地質構造に関する考察」で詳述する。

4.3 地質構造に関する考察

4.3.1 重力異常域と地質との関係

Fig. 4-14 に示したように, 調査地域におけるブーゲー異常分布は, 西部の高密度域と東部の低密度域とに明瞭に区分され, その中間に中間密度域が帯状に存在する。高密度域は重力分布による区分の A 地区に, また低密度域は C 地区にそれぞれ相当し, B 地区は高密度域あるいは低密度域のいずれにも該当しないことから中間的な密度の領域と考えられる。

地質図 (Fig. 3-4) とブーゲー異常図を対比すると, 後述のように A 地区において軽石質凝灰岩の分布と局所的な低重力異常との間に相関がみられることを除くと, 調査地域を広く覆う第四紀の新时期火山岩類の分布と大局的な重力分布, すなわち上記の西部の高密度域と東部の低密度域及び中間密度域のような概括的な区分との間に関連性を見出すことは困難である。従って, 重力異常域を形成する地質的要因として, 新时期火山岩以外の地質, すなわち基盤岩類及び中生層の構造を考えなければならない。

高密度域に該当する西部の A 地区では, Rio Varvarco, Arroyo Manchana Covunco, Arroyo Covunco などの河川沿いに花崗閃緑岩が, また Arroyo Manchana Covunco には変成岩類が露出しており, 第四紀の新时期火山岩類の下位に, これらの基盤岩類が広

く分布していることが地質調査によって推定されている。変成岩類は 2.70 g/cm^3 と本地域で密度が最も高く、花崗閃緑岩は 2.67 g/cm^3 とこれに次ぐ高密度を有しており、これらが地下に広く分布することとA地区が高密度域に区分されることは調和する。

一方、東部のC地区及び中間部のB地区では、新期火山岩の下位に中生層が広く分布する。この中生層の平均密度は 2.56 g/cm^3 で、基盤岩類には及ばないが比較的高い密度を有している。この密度は中間的な密度の領域と考えられるB地区においてはほぼ妥当な値と考えられるが、低いブーゲー異常値を示し低異常域に分類されるC地区については明らかに矛盾する。B地区とC地区との境界は、本地域で最も顕著な重力リニアメントで区分されており、この高い重力傾度を伴った重力リニアメントから推定される大断層帯を境として、東部のC地区では地下浅所にかなり低密度の岩体が存在していることを暗示しており、さらに低重力域の拡がりはこの想定される低密度岩体が大きな拡がりを持つものであることを示唆している。東部の低重力異常域を形成するこのような条件を満足する岩体あるいは地層は、第2次の調査範囲内では把握されておらず、この問題については4.3.3の東部低重力異常域についての検討の項で改めて触れることとする。

次に第四紀の新期火山岩類とその下位の基盤岩類との間に認められる局所的な重力異常について述べる。既述のように、基盤上に乗る軽石質凝灰岩の分布域が局所的な低重力異常域を形成している。A地区内のA-1ブロックとA-2ブロックは顕著なNE-SW系の重力リニアメントで画されており、A-2ブロック側でブーゲー異常値がより低くなっているが、これはA-1ブロックに広く分布するスコリア質凝灰岩 (2.06 g/cm^3) とA-2ブロックに分布する軽石質凝灰岩 (1.70 g/cm^3) との間の顕著な密度差を反映しているものと考えられる。また、軽石質凝灰岩はA-3ブロックにも分布しており、A-2及びA-3ブロック中で識別される重力の向斜状構造の大半は、基盤岩類の凹部を軽石凝灰岩が埋積した構造に起因すると解される。さらに、A地区ではNE-SW系の重力の背斜状構造と向斜状構造が卓越するが、これは新期火山岩類の下位の基盤岩類の上面が、この方向に伸長した起伏を繰返していることを示唆するものである。これに関連して、A地区の重力リニアメントはNE-SW系が卓越するが、N-S系あるいはE-W系の重力リニアメントも識別されており、これらの重力リニアメントはB地区とC地区を境する顕著なN-S方向の重力リニアメントと同一系及びこれに共役するものである。

4.3.2 重力断面解析による基盤構造

調査地域西部のA地区は、大局的にみると変化の少ない平板な重力分布を呈している。これは基盤上面に小さな起伏はあっても全体としてはほぼ平坦な侵蝕面を形成していたことを意味する。A-A'、B-B'及びC-C'の各断面の基盤の深度計算の結果をFig.4-

15, 4-16及び4-17に示したが、スコリア質凝灰岩あるいは軽石凝灰岩が分布するA-A'断面の西半分、B-B断面の西 $\frac{2}{3}$ 及びC-C'断面については、密度差として0.6あるいは1.0が妥当と判断される。これらの密度差による計算結果では、基盤上面の構造が極めて平坦であることを示しており、地表から基盤上面までの深度は最も深いB-B'断面の中央部でも、700 mを超えないと推定される。

一方、調査地域東部ではA-A'断面及びB-B'断面に示されるように基盤深度は急激に増加している。東部地域では中生層が広く分布するが、中生層の平均密度は 2.56 g/cm^3 で、花崗閃緑岩に対して0.11、変成岩類に対しても0.14の密度差しかない。密度差0.2の計算結果が深度6,000 m以上に及ぶことから類推すると0.11～0.14の密度差の場合には、10,000 mに近い深度となることが予想される。しかしながら、調査地域内における中生層がこのような膨大な層厚を有するとは考え難く、東部地域の低重力異常については、より妥当性のある別な地質構造を考えなければならない。

4.3.3 東部低重力異常域についての検討

これまで述べてきたように、調査地域東部はブーゲー異常分布からみると、低密度の岩体あるいは地層の存在を示しているにもかかわらず、地表には比較的密度の高い中生層が広く分布しており、地層分布と重力分布は矛盾する結果となっている。

この矛盾は、中生層が地下深部まで極めて亀裂に富み、含水率の高い構造を有して低密度層を形成していると考えるか、あるいは中生層の下部に大規模な低密度の別な岩体が存在すると考えるかによらなければ解消できないものである。

前者の可能性については、少なくともこれまでの調査の結果では積極的に支持する地質学的な証拠は得られていない。

一方、後者については、地質的あるいは岩石物性的に十分な裏付けはなされていないが、Vn. Domuyo を形成しているDomuyo火山複合岩体のうち、流紋岩質斑岩から花崗閃緑斑岩にわたる比較的低密度の貫入岩類が、中生層の下部に広がっている場合にその可能性がある。Fig. 2-2の広域地質図によると、Domuyo背斜軸を中心とした箱型のドーム状構造の中心部にDomuyo火山複合岩体の貫入岩類が広大な分布を示しており、このドーム状の上昇地塊の構造と調査地域東部のブーゲー異常分布との間に整合性があるものと判断される。すなわち、このドーム状構造の中心部に向って、ブーゲー異常値が低くなっていく傾向があることから、貫入岩類の密度は中生層の密度よりかなり低いことが予想される。

調査地域内では、Domuyo火山複合岩体の貫入岩相に属する斑岩類と考えられる花崗閃緑斑岩は、Arroyo Covuncoの上流に小岩体として分布している他、これらと同種岩とみられる転石が2ヶ所で認められたに過ぎないが、これらからの4個の試料の平均密度は

2.48 g/cm³で、中生層の平均密度よりやや低い程度である。この密度は基盤岩類の密度に対しては0.2の密度差となるが、既述のように0.2の密度差による断面解析では、地表から基盤上面までの深度が6,000 mにも達するという結果が得られている。仮に中生層の層厚を1,000 m程度とみなすと、この推定される貫入岩体の規模は、Fig. 4-14に低密度域として示した範囲よりさらに広い大きな拡がりをも有し、厚さ約5,000 mに及ぶことになる。新第三紀の火山活動に伴う半深成活動として、このような大規模な貫入岩体を想定することは地質学的に考えにくいことであるが、重力探査の結果は一つの可能性としてこのような地下構造を示唆している。

調査地域東部の地下深部に低密度岩体が存在するもう一つの可能性として、最新期の火山活動であるDomo火山岩類に属する石英安山岩質ないし流紋岩質火山岩類の噴出、溢流に関連して、同質の斑岩類が地下深部に根を張った大規模な貫入岩体を形成している場合も考えられる。これは、Domuyo火山の活動が中新世中期から鮮新世初期と考えられているのに対し、Domo火山の活動が更新世であるという地質時代の差はあるが、火山活動に伴う大規模な半深成岩の貫入という機構からみると、重力からみた地下構造を解釈する上で本質的な差はないものである。

4.3.4 断裂系の検討

調査地域における断裂系を検討する資料として、

- ① 広域地質資料及び地質調査による断層及び断裂系、
- ② ランドサット画像及び空中写真のリニアメント解析による断裂系、
- ③ 重力急変帯から推定される断裂系、
- ④ 地化学探査異常域の分布から推定される断裂系、
- ⑤ 温泉、噴気の地熱徴候分布から推定される断裂系、

などが挙げられるが、これ迄に述べてきた地質構造に関連する①～③の諸調査から推定される断裂系について取纏めることとする。

(1) N-S系の断裂系

広域的な褶曲構造に伴う断層、リニアメント解析調査地域内における断層及び基盤の花崗閃緑岩中の節理、さらに重力リニアメントを通じて全域に発達し、古期岩類から新期火山岩類に至るまで普遍的に認められる大規模なものが多い。

(2) E-W系の断裂系

主として広域リニアメント、花崗閃緑岩の節理、さらに重力リニアメントにも認められるもので、一般に他の断裂系よりも強度が低い。主として古期岩類に発達する断裂系と推定される。

(3) NW-S E系及びNE-S W系の断裂系

NW-S E系はNW-S E～WNW-E S Eの範囲に、またNE-S W系はNE-S W～NNE-S SWの範囲に方向の変化巾が認められるが、調査地域の断層、花崗閃緑岩中の節理、重力の背斜状及び向斜状構造に伴う重力リニアメントのいずれにも特徴的に発達する断裂系である。これらはN-S系の大規模な断裂系から派生した断裂系と考えられる。

以上述べた断裂系は、地熱地帯において地下深部の地熱貯留層の形成及びそれからの地熱流体上昇の通路として、地熱構造の解明に極めて重要である。地熱の露頭である温泉やガスの湧出位置、熱水変質帯の分布と形状、CO₂やHg地化学異常域の分布と形態などは、断裂系に非常に忠実であるといえる。特に断裂系の交叉部や熱源に近い地下深部の基盤に発達する断裂系などは、地熱開発上最も重要な構造的要素である。

本地域における断裂系の解明は、これまでの調査結果から定性的になされた段階にあり、今後、反射法地震探査やボーリングなどによって詳細な解析が必要とされる。

4.4 地質構造のまとめ

- (1) 地質分布からみた調査地域の地質構造は東西両地域に2分される。西半部は変成岩類及び花崗閃緑岩からなる基盤岩類が比較的浅い所に位置し、その平坦面の上位に第四紀の新时期火山岩類が広く覆っている。一方、東半部では基盤岩類は深く、その上位に分布する中生層は、広域的な褶曲構造と局部的なドーム状構造の影響を受けている。
- (2) 構成岩石の物性からみた地下構造は、西部では下部の高密度、低有効空隙率で代表される基盤岩類と、上部の低密度・高有効空隙率で代表される新时期火山岩類の2層構造を呈するのに対し、東部では下部が中密度・中有効空隙率で代表される中生層を基底とし、上部が新时期火山岩類からなる2層構造を呈しており、その地下深部に基盤岩類の潜在が予想される。
- (3) 広域重力探査によるブーゲー異常は、先第三系の分布と高重力域が、また新生代火山岩類の分布と低重力域が一致する。N-S方向の重力トレンドをもって、北に向ってブーゲー異常値が減少する傾向が明らかであり、広域的な褶曲構造、断層系とよい対応をみせている。
- (4) 調査地域におけるブーゲー異常分布からみると、西部の高重力域のA地区、A地区とC地区に挟まれN-S方向に帯状に延びる重力遷移帯のB地区、東部の低重力域のC地区に3区分される。第四紀の新时期火山岩類は、これらの大局的な重力分布に関与しておらず、特に密度の低い凝灰岩類の分布状態に伴って、局部的な低重力異常域を形成しているに過ぎ

ない。

- (5) 高重力域のA地区は高密度の基盤岩類が比較的地下浅所に分布する地質構造と調和している。一方、B地区とC地区の地表には中密度の中生層が広く分布し、重力遷移帯のB地区ではこの密度とブーゲー異常の間に大きな矛盾は認められないが、B地区とC地区を境する高い重力傾度を伴った重力リニアメントから推定される大断層の東側のC地区では、地下に平面的に大きな拡がりをもつ低密度の岩体あるいは地層の存在を想定しないと、ブーゲー異常の低密度域を説明し難い。
- (6) 重力断面解析による基盤構造は、西部のA地区ではその上面は平坦で、最も深い所でも700 mを超えないと推定されるが、東部のC地区では急激に深度を増して、密度差0.2で計算した場合には6,000 m以上の深部に及ぶことになり、立体的にも妥当性のある地質構造を考えなければ解釈しがたい。
- (7) 調査地区東部の低重力域を形成する地質的要因の一つとして、中生層が地下深部まで極めて亀裂に富んだ高含水性地層になっている場合が考えられるが、これを積極的に支持する証拠はない。必ずしも十分な説得力があるとは言い難いが、重力探査の結果を解釈するために、調査地域東方のVn. Domuyoを形成するDomuyo火山複合岩体の貫入岩相に当るやや低密度の酸性斑岩類が、本地域東部の中生層の下部に拡がっている地質構造が想定される。
- (8) 広域及び調査地域の断裂系では、全域に発達し古期岩類から新期火山岩類まで普遍的に認められるN-S系が最も大規模な断裂系であり、E-W系は主として古期岩類中に発達する弱い断裂系と考えられる。NW-SE系及びNE-SW系は、調査地域内でN-S系断裂系に共役する断裂系として断層、重力リニアメント、節理などに特徴的に発達している。