

4.9 地勢・地質・地質学現象

本章では当調査で得られた知見を基に、主として本案件のプレF/S報告書とその他の収集資料の内容について検討を行った結果について述べる。

(1) エル・サルヴァドル共和国の地勢

エ国の国土はホンジュラス国(以後“ホ国”と表す)国境から大西洋側に横断する方向に、つぎのような一連の地勢単位及び地理区に区分することが各種の刊行物で試みられている(Geot rmica Italiano, 1992; Dengo y Bohnenberger, 1969)。

- ① 国境山地¹
- ② 内陸沈降帯²
- ③ 内陸連山帯または北部火山連山帯³
- ④ 中央沈降帯または地溝帯⁴
- ⑤ 海岸連山⁵
- ⑥ 海岸平野⁶

これらの地帯区分を明確に図示した資料が得られていないので、出展が異なるものの地勢を読み取りやすいものを図 4-9-1 に示す。さらに、標高区分を図 4-9-2 に、水系区分を図 4-9-3 に示す。

1) 国境山地

ホ国国境に沿って伸びている。この地帯にはエ国で最も古い地層と一連の火成貫入岩類が分布し、国境山地西部にはエ国で最も重要な鉱物資源が賦存する。国内西部では標高 2,394m のモンテクリスト山、2,730m のピタル山、東部では標高 882m のエルモノ山が代表的山地である。

2) 内陸沈降帯

レンパ川の中流域がこの地帯を占める。この地域は国境山地に平行な構造沈降帯のひとつに相当し、大型の礫を含む沖積堆積物や、湖成堆積物、再活動⁷の火山等で特徴付けられる。この沈降帯の構造が、後の時代の“内陸連山帯または北部火山連山帯”の火山活動の“場”を規制したと考えられる。内陸沈降帯は“5 de Noviembre ダム”が位置するレンパ川中流域では規模が大きく地帯域が明瞭であるが、エ国の東部では国境山地と内陸連山帯が接近するため、間に挟まれる内陸沈降帯の形状が不明瞭である。そのためレンパ川中流域から北東方ホ国側へ伸びる内陸沈降帯が、その東方で再びエ国側に現れトラ川沿岸に存在するのかどうか不明である。

¹ ; Montaña Frontera

² ; Fosa Interior

³ ; Cadena Interior (Cadena Volcánica Norte)

⁴ ; Fosa o Graben Central

⁵ ; Cadena Costera

⁶ ; Planicie Costera

⁷ ; 沈降活動に引き続く火山活動を意味すると思われる。

3) 内陸連山帯または北部火山連山帯

トロラ川の大部分がこの地帯に属する。この地帯はエ国の伸張方向に対して不規則に伸び、古第三紀⁸から更新世に至る時代の、火山活動としては最も古い不活発な中央火山群を含むことで特徴付けられる。この地帯では火山侵食が進み、火山体が急崖や急地形を形成するため各所に急壁に形成された小規模の滝を見ることができる。

この地帯の代表的な山地は、エ国西部では標高 1,777m のチンゴ火山、東部では標高 1,663m のカカウアティケ火山である。

4) 中央沈降帯または地溝帯

この地帯はエ国の伸張方向に伸びている。新第三紀の火山体および第四紀早期の火山体の配列と同期の沖積堆積物の分布で特徴付けられる。沈降帯や地溝帯の形状は、火山体や火山噴出物の堆積やそれらの間を埋める沖積堆積物のために不明瞭であるが、火山の配列や地質構造、プレートテクトニクスと火山前線、後背地沈降帯などの地質学的現象の分布から推定されていると思われる。

中央沈降帯または地溝帯はグアテマラ国(以後“グ国”と表す)との国境の町サンロレンソから東方へ、コアテペケ湖、イロパンゴ湖、西部のオロメガ湖に至るエ国の三大湖地帯にあたり、三大湖の間にはその他の中ないし小規模の湖が分布している。

中央沈降帯または地溝帯の火山は、エ国西部のコアテペケ湖西部、サンアナ オ ラマテッポ火山の山頂を除く山体、サンサルヴァドル市街地西方のサンサルヴァドル火山の中腹ないし山麓、エ国中央のサンヴィセンテ西方、標高 2,181m のサンヴィセンテ オ チチョンアッベック火山、エ国東部のオロメガ湖西方、標高 2,129m のサンミグエル オ チャパラスティケ火山に代表される。

5) 海岸連山

海岸連山は岩石学的には内陸連山帯または北部火山連山帯に類似し、火山群を形成する。その南部に位置する連山は際だって若い火山で、地理的に“中央沈降帯または地溝帯”と“海岸平野”とを分離している。

エ国西部ではコアテペケ湖周辺の美しいコニーデの形状を残す標高 1,910m のサイコ火山、標高 2,365m のサンタアナ オ ラマテベック火山の山頂部、その西方の標高 1,961m ~ 2,035m の諸火山群がこれらの火山に相当し、東部ではサンミグエール市西方のサンミグエル オ チャパラスティケ火山の小規模な再活動がこれにあたる。サンミグエル オ チャパラスティケ火山の再活動では、同火山南東部山麓及び北部山麓に火山噴出物が堆積している。

6) 海岸平野

海岸平野の大部分は最近の各種の堆積物からなる地層で構成される。エ国では、海岸段丘やマングローブ林地区の分布は、最近の引き続く上昇運動を示していると考えられており、オロメガ湖流域河川の流路変化は、岩盤がまだ安定していないことを示しているとされている。

⁸；既存資料では第三紀として記載されている、詳細時代区分からは古第三紀に相当する。

(2) 地質

エ国には北部国境域の一部を例外として、第三紀及び第四紀の火山起源の岩石が広域を占めて分布している。各地層の時代関係や非整合関係、激しい削剥を伴う不整合関係等を確認できる(わずかに存在する)化石や他の資料を含む多くのファクター、さらに構造コンプレックス、最近の構造史等によってそれらの層序が同定されており、それらのエ国の一般層序および地域ごとの地質は多くの出版物で述べられている (Mapa Geológico de El Salvador, 1978; Welsman, et. al., 1978; Weber, 1979)。

エ国の各地勢単位あるいは地理区は次のような地質で構成される(図 4-9-4)。これらの層序については表 4-9-4 に示す。

- ① Metapan 層
- ② Morazan 層群および Charatenango 層群
- ③ Balsamo 層群
- ④ Cusucatlan 層群
- ⑤ San Salvador 層群

1) Metapan 層

小規模の海成起源堆積岩や 60km 程度の⁹⁾湖起源の堆積岩として、エ国の北部に見られる。エ国で最古の岩石とされており、国境山地、レンパ川水系の高所を占め、サンタアナ州のメタパン地区でよく知られている。

上位の一連の火山岩類が削剥された地域で高所を形成して露出し、周辺より高い地区に位置して構造的な高所をなすこのような地層(層群と記載されている)を、層序区分では Metapan 層に属するとしている (Durr y Strober, 1956; Weber, 1979)。

2) Morazan 層群および Charatenango 層群

これらの層群は、北部国境沿いに幅 30km 以上にわたって広域に分布する。それらのうちトロラ川の下流～中流域には Morazan 層群が広く分布し、上流には Charatenango 層群が分布する。

海成堆積物の堆積はおそらく前述の Metapan 層等、白亜紀層累積後のある時期にこの地区で終焉し、Morazan 層群および Charatenango 層群等の非海成層の堆積と火山活動は、少なくとも第三紀以後にこの地区で活発化した。この時期には 700 以上の火山爆発の中心が知られている。

第三紀の火成岩類の幅広い外縁は、エ国北部の伸張方向に沿って主に国境山地地帯に分布し、前述のように Morazan 層群はトロラ川の下流～中流域に広く、Charatenango 層群は上流に分布している。両層群は、次表のような地質単位で構成され、漸新世-中新世の間には酸性ないし中性の貫入岩に貫かれている。

表中に火山砕屑岩類と記載されているものの中には、溶岩流に属する角礫状溶岩が含まれている。

⁹⁾ 幅の意と思われる。

表 4-9-1 Morazan 層群および Charatenango 層群

地層名	記号	岩 質
Morazan 層群	m2 b	中性・中性-酸性の火山碎屑岩類、ipiclastitas、小規模な溶岩
	m2 a	中性・酸性の溶岩流、火山碎屑岩類(熱水的に高温)
	m1 b	酸性の溶岩、イグニンプライト、局所的火山碎屑岩
	m1 a	酸性・中性の火山碎屑岩類、中性、酸性の局所的溶岩
Charatenango 層群	ch2	酸性の火山碎屑岩類、溶岩
	ch1	酸性のイグニンプライト質火山碎屑岩類、火山性変成碎屑岩類(ipiclastitas)、局所的火山碎屑岩
火成貫入岩類	I	酸性・中性の貫入岩類

注； Morazan 層群の火山碎屑岩類とされているものには、角礫状溶岩が含まれる。

3) Balsamo 層群

中新世あるいは鮮新世の Balsamo 層群が、Morazan 層群および Charatenango 層群分布域の南側の国土の大部分を覆うように、内陸連山帯または北部火山連山帯や海岸連山地帯にまたがって分布している。これらの地質は次表に示すように、中性ないし塩基性の火山岩類およびそれらの岩石の再活動(re-trabajado)による物質を含んでいる。

表 4-9-2 Balsamo 層群

地層名	記号	岩 質
Balsamo 層群	b3	塩基性溶岩および玄武岩質噴出岩
	b2	中性ないし塩基性溶岩、火山碎屑岩、変成碎屑岩類(ipiclastitas)
	b1	火山岩および変成火山碎屑岩(ipiclastitas)、局所的に塩基性溶岩

Balsamo 層群に属する岩石は、本案件のプレ F/S 調査地域ではトロラ川南岸の標高 1,663m のカカウアティケ火山を中心に分布している。

4) Cusucatlan 層群

Balsamo 期の中に、新たな酸性ないし中性の火山岩の噴出が始まり、その活動は更新世の間に Cusucatlan 層群の火山岩類の累積を伴って最高に達した。この活動は主に内陸連山帯または北部火山連山帯地勢区で活発であったが、エ国全域に分散して発生し、それぞれの活動の規模は局所的な活動で終焉した。

トロラ川流域では Cusucatlan 層群は下流～中流域で極小規模に点在し、上流域で比較的大きい規模で分布する。

この活動期の間、大きな流域で湖成および沖積性堆積物の累積が行われ、現在、メタパン、レンパ川、ティティウワパおよびオロメガの各流域でそれらを見ることができる。プレ F/S 調査では散発的な火山爆発によるトロラ川の周期的な堰き止め作用(represamiento)がもたらした可能性があると考えられており、トロラ川の水系で観察されるものはこれに属するものと思われる。

表 4-9-3 Cusucatlan 層群

地層名	記号	岩 質
Cusucatlan 層群	c3	中性-塩基性の噴出岩(玄武岩質)
	c2	中性-酸性の噴出岩、火山砕屑岩、エピクラスティックス
	c1	火山岩および酸性エピクラスティック火山砕屑岩、レンパ川およびトロラ川流域では最下部に沖積堆積物および湖成堆積物の層準が存在する。

5) San Salvador 層群

後期 Cusucatlan 層群の塩基性火山岩の活動と San Salvador 層群の同様の活動(更新世-完新世)は、国土の北西部の国境山地地帯と海岸連山地帯に集中している。それらの活動は、一般的に構造的リニアメント上に注目すべき火山を発生させ、その火山活動は現在も続いている¹⁰。それらの噴出岩上には、同時代の広大な湖成堆積物や沖積堆積物が存在する。

(3) 地質学現象

中央アメリカは、主に北アメリカプレート、ココプレートおよびカリブプレートと呼ばれる三つの海洋プレートに規制されており、その他ナスカプレート、南アメリカプレートの影響もある程度受けている(図 4-9-5)。

北アメリカプレートはカリブ海側でカリブプレートに対して左横ずれ断層的に移動し、太平洋側のココプレートはカリブプレートに対して沈み込んでいる。この沈み込み帯は太平洋側にあり中央アメリカ海溝と呼ばれ、ベニオフ帯となっている。

中央アメリカは北アメリカプレートおよびカリブプレートの先端に位置し、ベニオフ帯の上盤側にある。そのため中央アメリカは雁行状の正断層地帯に属し、沈降域では地溝が形成されている。

これらの解釈によってエ国の地史、地質、火山、地形、断層、地震現象等は、現在整合的に説明されている。

1) 断層

中央アメリカでは南東-北西系統および東-西系統の断層群が卓越し、それらに付随して、南西-北東系統および南-北系統の断層群が派生している。

これらの傾向はエ国にも該当し(図 4-9-4)、同国の東-西方向に配列の傾向を呈する湖群や河川群は Cusucatlan 層群分布域の断層境界¹¹に分布している。それらの各流域は、西側の流域に対して東側のものほど南側に 20~30km 離れて雁行状に配列している(図 4-9-3)。

北東方向の断層はサンサルヴァドル東方および北東方のジョパンゴ湖を囲む地域やチャラテナンゴとカバナ州のセンステンテベケ間で明瞭である。センステンテベケではレンパ川の流路は部分的にこれらの断層によって規制されていると考えられる。

¹⁰; 一般的に考える火山活動なのか、地熱活動なのか確認していない。

¹¹; Cusucatlan 層群に覆われた潜在断層と思われる。

エ国で注目すべき断層帯は、国土を約 180km 隔たってほぼ縦断して伸びている東-西系統(西～北西系から東～南東系)の断層帯であるという説がある。この説では、それらは西部ではバルサモ山北部に位置するブロックに始まり、イロパンゴ湖カルデラとレンバ川の支流等に交差し、サンミゲル東方に位置するブロックおよび盆状構造のオロメガ湖北部外縁で終わると考えられている。同様の断層が北方にも存在し、これらの断層群が地溝を構成する。

2) リニアメント

エ国全域のリニアメントに関する調査報告は当調査では確認できなかったが、エ国の北東部では北西-南東系統および北東-南西系統の顕著なリニアメントが報告されている(第4章参照)。

3) 地震

ココプレート沈み込み帯であるベニオフ帯の下盤は、歴史的に多数の大規模な海底地震の発生源となっている($M > 7$)。これらの震源は非常に深い深度にまで達しており、深いものでは200kmに及ぶ。エ国周辺では、ベニオフ帯はつぎのような亜帯に分けられる¹²。

- ① 深部(ZBP) ≥ 60 km
- ② 中間(ZBI) 60km ~ 35km
- ③ 浅部(ZBB) < 35 km

中央アメリカの地震帯は次のように区分され、対象地域はそれらのうち火山弧帯と北アメリカ/カリブプレート前縁、およびホンジュラス沈降帯に挟まれる地域に位置し、地震の発生が少ない地域である(図4-9-6)。

4) 火山弧帯

エ国の地勢や地質を顕著に特徴付ける火山弧帯はVCZと表され、この地帯は中央アメリカ海溝に平行に伸張した、地震学的に活動的な構造運動帯である。地震の発生は深度35km以下の部分に相当し、通常平均的に10km程度である。

5) 北アメリカ/カリブプレート前縁

エ国の北方は、北アメリカ/カリブプレート前縁と呼ばれ、CPBと表され、スワン割れ目帯¹³に内陸断層群帯を形成している。この地帯の主要な内陸断層は、グワテマラ国からエ国へ縦断するポロチク断層、サンオーグスチン断層、モタグア断層や、グ国からホ国に縦断するホコタン断層等である。

地震はこれらの断層帯で深度35km以下、平均的に7km程度で発生している。

6) ホンジュラス沈降帯

ホ国の中央には沈降帯があり、ホンジュラス沈降帯と呼ばれHDZと表される。この沈降帯は一連の不連続地溝群からなり、沈降深度は60km以下、平均的に8kmとされている。

(4) 地質学現象への対応

エ国の主な広域的地質学現象は火山活動および地震である。これらに対してエ国では次のよう

¹²; 深度については上下行の関係で一部調整した。

¹³; カイマン上昇域の東方、北アメリカ-カリブプレートの前縁

に対処している。

エ国にある中央アメリカ大学(UCA; JOSE SIMEON CA AS)では、加速度計による 10 ヶ所の火山性地震モニタリング施設を設置して観測を続けており(図 4-9-7)、これとは別に公共事業省でも 13 ヶ所の地震計による観測網と 12 ヶ所の加速度計による観測網を設置している(図 4-9-8 および図 4-9-9)。UCAの地震モニタリングは、人口が密集しているサンサルヴァドル市の災害対策を目的としたものであるためサンサルヴァドル市周辺に集中的に設置されている。公共事業省の地震モニタリングは、同省の地質工学調査所(CIG)が行う一般建築基準の策定や農道級道路等建設基準策定および改定の資料を得ることを目的として実施されている。国道級道路建設基準についてはアメリカのAASHTOやASTMの基準を用いているため、公共事業省の地震モニタリングの結果は、現在、災害予知や地震予知等には使用されていない。

PIRSMA(シンクタンク)は、イタリアのミラノ工科大学、ファチヨリ研究所を介して、地震災害に関するハザードマップに類するものを策定している。この調査では地震による地滑り被災予測地域、液状化被災予測地域、不良地盤上に建設された建築物の分布等について調査が行われまとめられているとのことであるが、当調査で確認することはできなかった。

また、1998年のハリケーンミッチ後に、USAIDやUSGSによって洪水ハザードマップが策定され、アメリカ大使館の壁に貼られていたという情報がある。

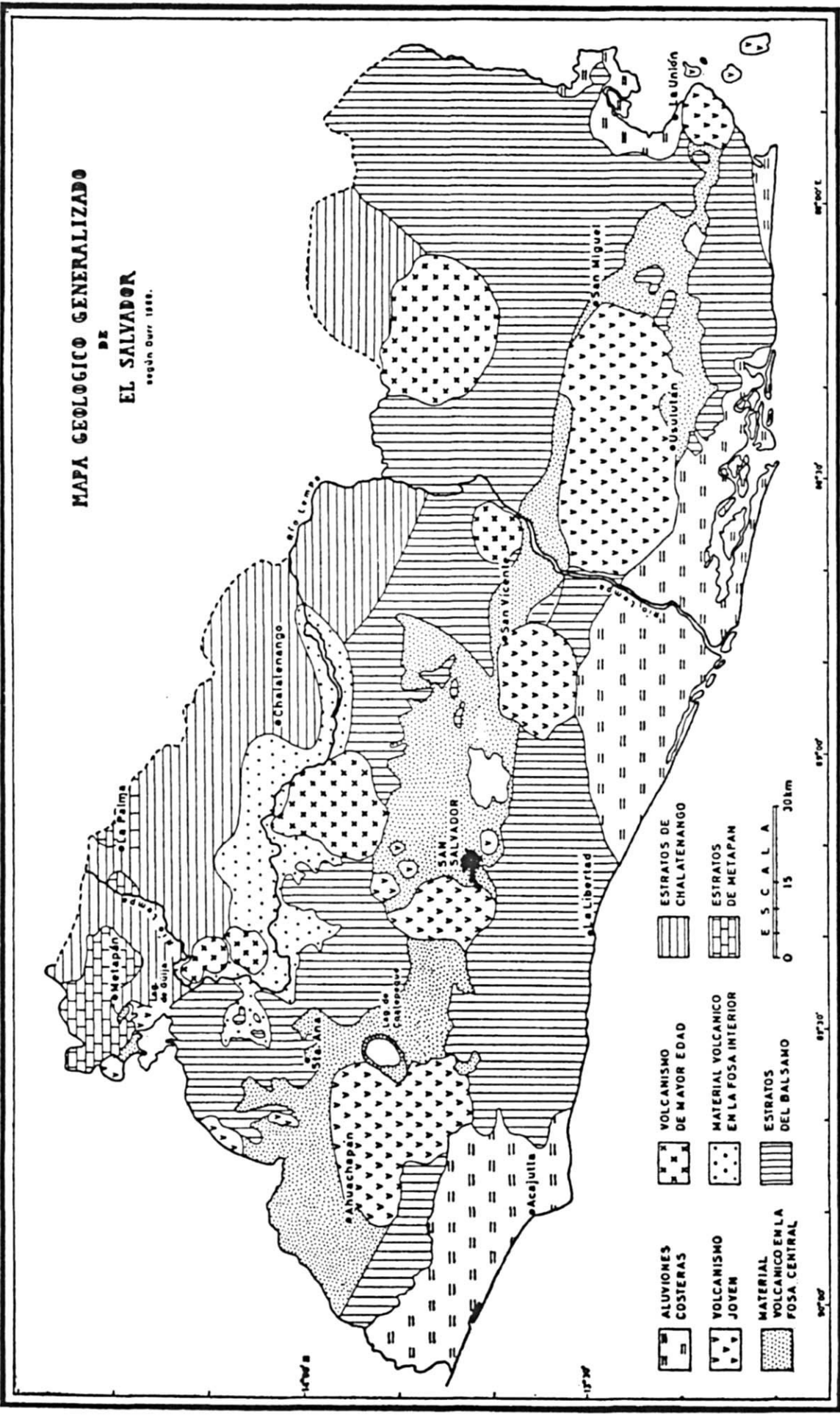
PIRSMAによる調査では、1982年6月19日地震によるエ国全域の等震度線図¹⁴を引用している(図 4-9-10)。これによると曲線は地質構造に整合的に延びており、エ国の地震と地質構造が密接に関連していることがうかがえる。

しかし、図 4-9-11 に示されるように、等加速度曲線などは採用する解析法によって大きく異なることを示している。以上の総合的情報から、エ国の現在の地質学現象への対応は、サンサルヴァドル市をはじめとする人口集中地区周辺に限られ、住民への直接的災害を対象とした対策に留まっていることが明らかになった。

エ国では既存の地震情報や経験から、同国北東部の地震の危険性は当面無いと意識されている。その可能性は、公共事業省地質工学調査所作成の地滑り発生の可能性を地域別に図示したモザイク図からも推定されている。

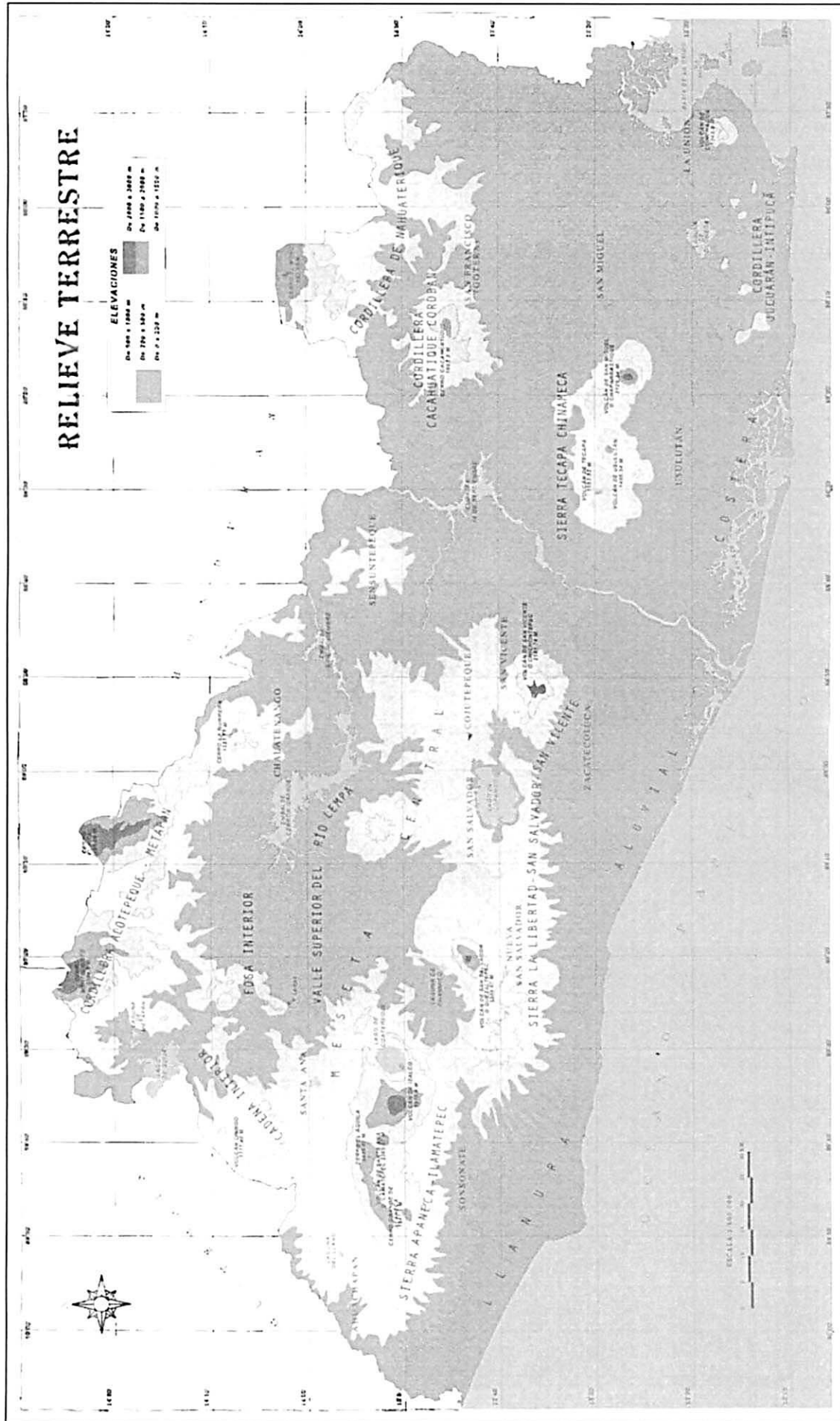
¹⁴; Mapa de isosistas del sismo

**MAPA GEOLOGICO GENERALIZADO
DE
EL SALVADOR**
según Carr. 1958.



出版: MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS (1961), Servicio Geologico Nacional DE EL SALVADOR.
BOLETIN No. 4

図 4-9-1 エル・サルヴァドル国の地勢地質図



出展: CENTRO NACIONAL DE REGISTROS(2000), Atlas de El Salvador

図 4-9-2 エル・サルヴァドル国の標高区分図