新潟大災害研年報，第10号（1988年）
Ann. Rep. Saigai-ken, Niigata Univ.,№10(1988)

1987年エクアドル地震の災害

伯野元彦*・大草重康**・道上正規***

Damage done by the 1987 Earthquakes in Ecuador

by
Motohiko HAKUNO, Shigeyasu ŌKUSA and Masanori MICHIUE

(Abstract)

At 20 : 57 and 23 : 09 lacol time on the 5 March 1987 locally destructive earthquakes of Ms =6.1 and 6.9 shocked the northeastern part of Ecuador. The name Ecuador means the "equator" in Spanish, and Quito, the capital of this country, is located just 15 km south of the equator. Ecuador is approximately the same size as Japan except for the island of Hokkaido, and its population is approximately 9.4 million. It was primarily an agricultural nation until petroleum was discovered in the western Amazon area in 1972. Even with the substantial reduction in the price of petroleum in 1986, 45% of its total exports constituted petroleum. At present, exports other than petroleum consist of agricultural products such as bananas and coffee.

Because of damage to its petroleum pipeline, (a major source of the nation's wealth) caused by the many landslides that took place after the 5 March 1987 earthquakes, Ecuador now has an international debt of 9 billion dollars that is a serious burden on its economy.

Structural damage done by the earthquake ground motion was slight because the events took place in a mountainous area 80km east of the comparatively dense populated central basin.

The major damage was from landslides and flooding. Flooding occurred several hours after the earthquakes following the collapse of natural dams formed by sliding rocks and soil that barricaded rivers. The Nagano Prefecture-Seibu earthquake of 1984 in Japan had damage characteristics similar to those seen in Ecuador. The number of dead and missing people resulting from the Ecuadorean earthquakes is estimated as being several hundred to several thousand. The Japanese government dispatched a team of three experts (one each from the Ministry of Foreign Affairs, the National Land Agency, and the Japan International Cooperation Agency) to Ecuador to do earthquake reconnaissance. Our group was sent independently by the Ministry of Education, Culture and Science to survey the damage done by these earthquakes and was at the site from April 23 to May 7.

The earthquakes occurred along the west foot of the volcano named Reventador, 80 km east of Quito.

Damage caused by the earthquake can be roughly divided into three categories.

The first was damage to the oil pipeline and to roads by massive slope slides that occurred

* 東京大学地震研究所　** 新潟大学積雪地域災害研究センター　*** 鳥取大学工学部土木工学科

over an area several kilometers square on the slopes of Mt. Reventador, rather, than by the shocks of the earthquakes themselves. The second was damage to bridges and the oil pipelines produced by river flooding because of the breaking of natural dams that had formed from the influx of slide material from the volcano's slope.

The third was the collapse of houses caused by ground motion.

We could not reach the area where most of the serious slope slides occurred using surface transportation because of the severe damage to roads and bridges. Therefore, we made our survey by helicopter The survey of damage to houses was made by truck because inhabited areas were not close to the area of severe slides and were accessible by truck.

Key words : Earthquake Damage, Ecuador, Slope Failure, Andes Mountains, Flooding
キーワーズ：地震災害，エクアドル，斜面崩壊，アンデス山脈，洪水

I　ま　え　が　き

1987年3月5日エクアドルのアンデス山脈東側で二つの地震が発生した。この地震による石油パイプラインの破壊を主とする被害で，同国の経済は麻ひした。地質条件が類似した同国の地震災害は，我が国の地震防災という観点から重要であるという認識から，文部省科学研究費海外突発災害研究費によって，この地震災害を調査する機会を得た。我々（伯野，大草，道上）が出発したのは1987年4月23日であり，ニューヨーク・マイアミ経由で現地に入った。現地調査期間は約10日であり，調査には自動車，国内航空便，借上げの軍ヘリコプター等を使用した。またエクアドル国の関係諸官庁，大学，研究機関から資料や情報収集に務めた。現地に入る際，我々の出発を察知してアメリカ合衆国の調査団のメンバー2人（USGSのDr. Robert L. SchusterおよびUniversity of IllinoisのProf. Alberto S. Nieto）がマイアミ空港で待っていて，同じ便でエクアドル入りした。その後の現地での調査は，彼等と半ば行動を共にし，互いに情報を交換し合った。現地調査の途中の5月1日夜には，現地でお世話になった研究者，政府関係者，日本大使館の方々，アメリカ合衆国の調査団にホテルに集まっていただき，調査の中間報告とその後の調査・研究の進め方，不足している写真，資料，サンプルの収集方法，日本・エクアドル間での被災地サンプルの実験の進め方，等について広範囲の話し合いが持たれた。これはパーティ形式で行われたが，本調査の中でも非常に有益な集りであった。帰国したのは5月7日である。

地震直後の3月19日にアメリカ合衆国Cornell UniversityのProf.T. D. O'Rourkeを中心とする調査団がいち早く現地入りをした。筆者の1人大草はO'Rourke教授と1987年6月日本で会い，情報を交換することができた。彼の与えてくれた情報も非常に有益なものであった（ASCE News, 1987）。

この調査の報告書はすでに発表されているが（伯野，大草，道上，1987，1988，Hakuno, Okusa and Michiue, 1988），ここではそれらの内容を要約して発表するものである。1988年4月にわれわれの英文報告書を伯野がL. Schuster博士に送ったところ，おりかえし「Excellentな報告書である。アメリカチームの報告は目下準備中である」という返事がきた。1988年7月スイス，ローザンヌで開かれた第5回国際地すべりシンポジウムの際，大草がS. Nietoに直接手渡したところ，一晩読ませてくれといって受取った。翌日「Comprehensiveな報告書である。自分達の報告書を作る上でも非常に参考になる」といってくれた。Excellentであるかどうかはわからないが，われわれの英文報告書がComprehensiveなものであると自負している。興味ある方々はそちらを参考にしていただければ幸いである。

Ⅱ　エクアドルという国

Ecuadorはスペイン語で〝赤道〟という意味であり，南米太平洋岸の赤道直下に位置している。主都Quitoは赤道から南約15㎞のところにある。エクアドルの面積は，日本から北海道を除いた大きさであり，人口は940万である。1972年にアマゾン上流域で石油が発見されるまでは貧しい農業国であった。1973年にOPECに加盟し，1976年に石油ガスの生産を開始した。石油価格の下落にもかかわらず，1986年の国の全輸出に占める割合は46％に達し，石油は日生産約33万バーレルであった。石油以外の主な輸出品はバナナ，コーヒー，えび，カカオである。

今回の地震によって東部の油田から西海岸まで約400㎞延長のパイプラインが震央付近で約20㎞にわたって破壊され，日運送量25万バーレルが完全にストップした。そのため外貨収入がほとんどが途絶え対外債務は90億ドルにも達し，国の経済状態は悪化した。

エクアドルの主都は，上述のようにQuitoであり，アンデス山中の気候が温和な山中盆地に位置し，標高は約2,800ｍ，人口は約120万人である。経済の中心は太平洋岸に面したGuayaquilで，大きな港を有し，国の経済の中心をなしている。人口は約160万人である。

Ⅲ　地震と地震被害の概要

1987年３月５日に二つの地震がエクアドルの内陸部で引き続き起こった（図－１）。

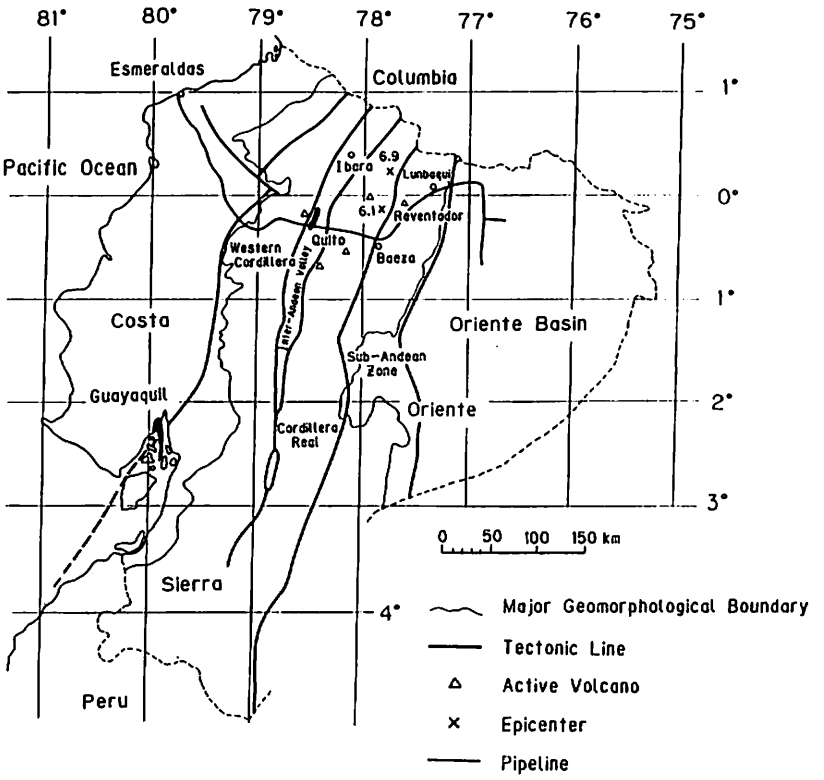


Fig. 1　The geomorphological and geological framework of Ecuador (After Baldock, J.W. 1982 Simplified by the authors).

(1) Ms=6.1（USGSによる） 20時57分 1987年3月5日
震央0°7'N, 77°39'W, 深さ10km

(2) Ms=6.9（USGSによる） 23時09分 1987年3月5日
震央0°13'N, 77°45'W, 深さ10km

Ms=6.9は1984年長野県西部地震と同じ規模である。図－2にMSK（Medvedev-Sponheuer-Karnik）震度分布図を示す。

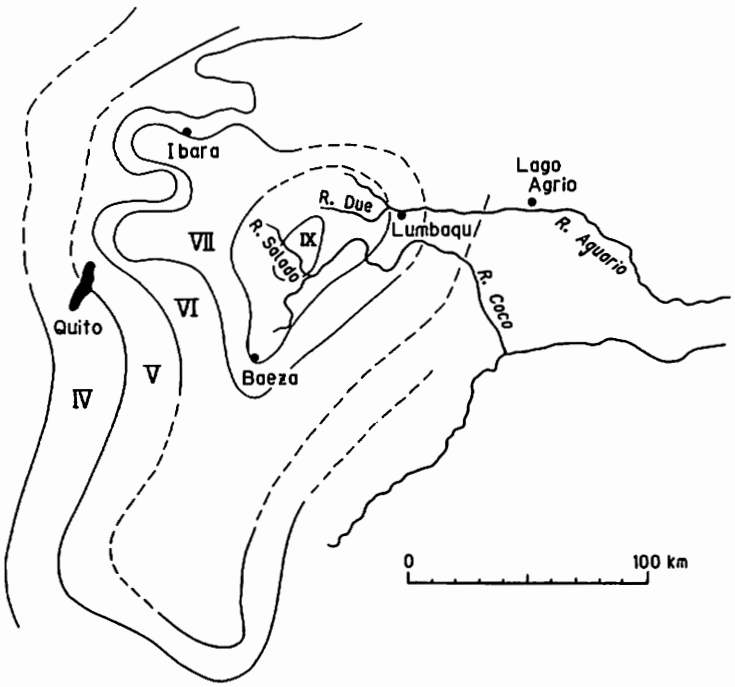


Fig. 2 Isoseismals of the 5 March 1987 Ecuador earthquakes (After material from the Escuela Politecnica Nacional).

主都Quito（震度Ⅳ）では震央から約80km離れており，スペイン統治時代の古いれんが造の建築物にクラックが入る程度の被害を受けた。市内の強震計の最大加速度は0.06gであった。

主要な地震災害は，地震による山地の斜面崩壊と崩土によって作られたダムの決壊による洪水災害であった。そのほか震央付近の村落や都市のアドベ建築物や比較的大きな教会建築物等の被害もみられた。今回の地震による死者・行方不明者の数は数百～数千人といわれているが，正確なことは不明である。地震被害額は5億8千万ドル，そのうち石油パイプライン関係の直接被害が1億5千万ドル，輸出停止による外貨収入減が3億3千万ドルである。したがって石油関連被害が全体の83%になり，残り1億ドルが道路や建築物の損害ということになる。

二つの地震はRevertador（3,572m）といわれる活火山の西斜面付近で起こった（図－3）。そのため火山砕屑物からなる斜面の崩壊が震央付近で特に激しかった。震央付近は，アンデス山脈からアマゾン上流域の熱帯多雨密林地帯への移行部にあたり，土壌のラテライト化が激しい。火山砕屑物以外にも，中生代の堆積岩や古い変成岩類からなるラテライト化斜面でも崩壊は著しかった。

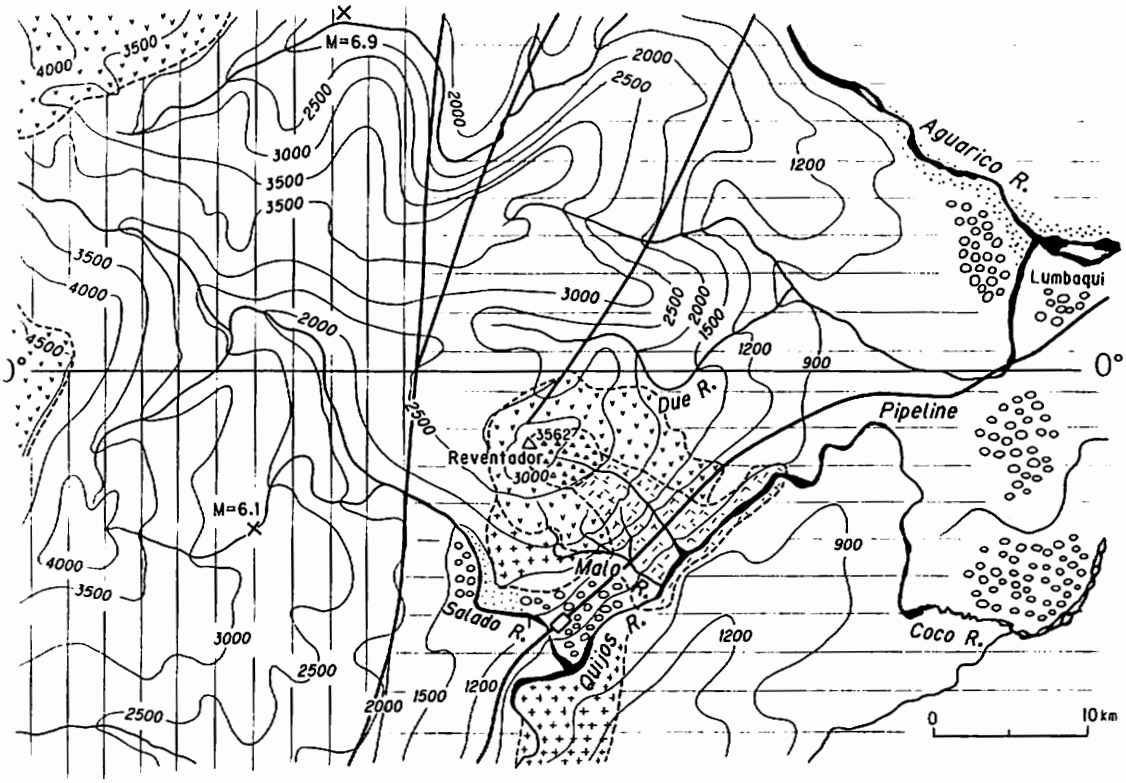


Fig. 3 Geological map of the area around Mt Reventador (after material from INECEL).

Ⅳ エクアドルの地形と地質

エクアドルは，本土とダーウィンの進化論で名高いガラパゴス諸島からなる。本土は南米太平洋岸に赤道をまたいで1°30'Nから5°Sまで南北約600km，東西は75°Wから81°Wまで約600kmにわたって分布し，面積は281,341㎢である。本土は中央部を北北東・南南西に走るアンデス山脈によって，地形地質的に三つに分けられる（図－1，図－4）。これらは，西から海岸平野（Costa），アンデス山脈(Sierra)，および東部地域（Oriente）である。

西の海岸平野は，東西に約150kmの幅を有し，中～北部海岸ぞいに標高600m程度の丘陵が発達する以外は，低い平野で沖積層が厚く堆積している。平野の外の太平洋側には幅数10kmの大陸棚が発達しているだけで，すぐに水深3,000m級のエクアドル海溝になる。海洋の部分は東に向って移動するプレートのサブダクションゾーンであるといわれている。この位置では海洋型の巨大地震が起こる。

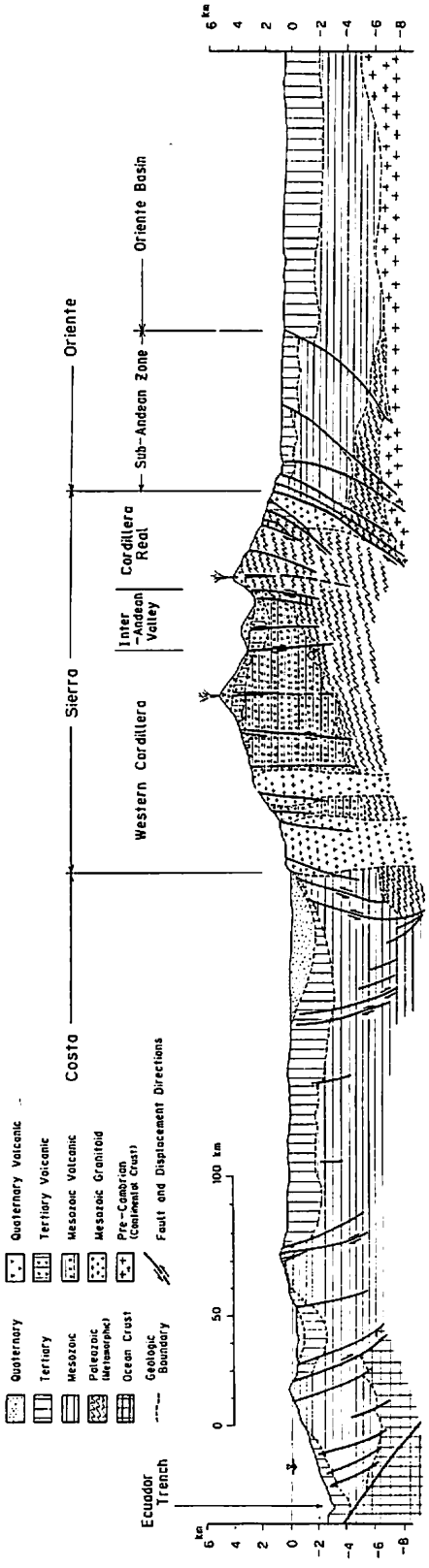


Fig. 4 Geological cross section of Ecuador along approximately 1°30'S (After Baldock, J.M. 1982, Simplified by the authors).

アンデス山脈は，南米の西側を縦断し，中米を通って北米大陸にまで続いている大山脈である。エクアドルでアンデス山脈はSierra（スペイン語の山脈）といわれ，東西の幅は100㎞強である。この山脈は，更に西アンデス（La Cordillera Occidental），アンデス山中盆地（El Valle Interandino），東アンデス（La Cordillera Real）に分けられる。Andesは，andesiteの岩石名が由来した山脈であり，種々の時代の安山岩の火山活動の産物と最近の時代の隆起運動によって形成された大山脈である。

西アンデスは幅が50㎞強であり，白亜紀から古第三紀の安山岩や火山砕屑岩からできている。海岸平野との境界は断層であり，境界には白亜紀の花こう岩がへい入している。西アンデスは，海岸平野から標高4,000ｍまで立ち上がっており，最高峰は西アンデス中央部のChimborazo（6,267ｍ，休火山）である。

アンデス山中盆地は，西アンデスと東アンデスの間に断層で沈降した地溝であり，幅は約20㎞，標高は2,500～3,000ｍである。盆地は第三紀以降の安山岩や火山砕屑岩で埋められている。盆地は標高が高いため，赤道直下にもかかわらず気候が温暖であり，人口が集まっている。

東アンデスは古い古生代の変成岩類が隆起してできた山脈であり，そこに中生代や新生代の花こう岩や安山岩が貫入している。標高は4,000ｍ級である。

アンデス山脈の東はOrienteであり，アマゾン河の流源域とアマゾン河流域の密林帯に分けられる。前者は，アンデス山脈からアマゾン大密林帯に漸移するアンデス東斜面にあたり，Sub-Andean zone（漸移帯）といわれる。漸移帯は名のとおり，アンデス山地造山運動の影響を大きく受けている。後者は構造地質的により安定しているプラットフォームである。Orienteはアンデス山脈と古生代以降ほとんど地質変動を受けていないアマゾン楯状地（Guyana Craton）の間に形成されたforelandであり，中生代以降何回もの海進を受け，8,000～12,000の厚い海成層が堆積している。漸移帯でこの堆積層は，

標高2,000ｍから200ｍ付近まで分布し，アンデス山脈の地殻変動の影響を受けて逆断層や褶曲を生じているほか，二つの活火山が知られている。今回の地震で斜面崩壊が集中的に起こったのも，火山のうちの一つであるReventador火山の斜面においてである。アマゾン平原域に入ると，中生代以降の地層はほとんど変形を受けずに，ほとんど水平に成層している。石油が発見されたのは，この地層の白亜紀層からである。アマゾン河は，この平原域の標高約200ｍのところから，太西洋まで延々と3,000㎞以上にわたって流下する。

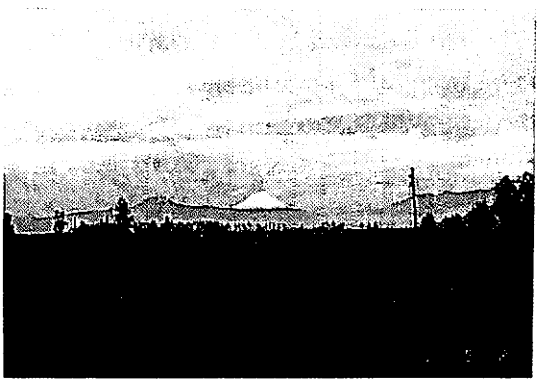


Fig. 5 Cotopaxi Volcano (5,897ｍ) covered with snow cap.

エクアドルのアンデス山脈およびその東の漸移帯では火山活動が中生代以降きわめて活発に行われ，現在でも八つの活火山と30の死火山・休火山が知られている。これらの火山は3,000～6,000ｍの標高を有し，山頂部の多くは赤道直下にもかかわらず氷冠に覆われている（図－５）。東アンデス山中には，世界最高峰の活火山であるコトパクシ（Cotopaxi, 5,897ｍ）がある。

海岸平野は気候変化が激しく，北部海岸は多雨の密林地帯，中部は森林，南部のペルー国境付近は砂漠である（Hall, 1977）。

アンデス山脈は，山麓森林帯から高山の氷河まで気候が変化するが，山中盆地は年平均気温が15℃程度で年間を通して気温の変化がほとんどない。盆地で年降雨量は1,300㎜程度である。

Orienteの漸移帯は，アンデス山脈の気候とほとんど同じである。アマゾン平原に入ると，高温多湿で年降雨量は2,000～3,000㎜の熱帯雨林になる。

V 地　震　災　害

エクアドルは環太平洋変動帯に位置し，地理的には日本と対称的な位置であるが，地質構造や現在の地震活動は，日本と非常に似ている。すなわち，両地域において太平洋側の海溝付近に震源を有する大地震がしばしば発生する。たとえば1960年のチリ地震（M＝8.4），1985年のメキシコ地震（M＝8.1）などが海溝型の地震である。このような地震に対して，日本でも内陸型地震とか直下型地震といわれるものが時々起こる。1891年の美濃尾張大地震（M＝8.4）や1984年の長野県西部地震（M＝6.9）などがこのタイプである。このような地震は，美濃尾張大地震を除けば一般に中規模であり，マグニチュードは７前後のことが多い。エクアドルの東アンデス（La Cordillera Real）で起こる地震は，このようなタイプの地震である。東アンデスは，現在でも地殻活動の盛んな地域で，八つの活火山のうち四つがこの地域に，二つがその東のSub-Andean zone（La Fila Oriental）に位置している。

今回のエクアドル地震の震央付近で1955年（M＝6.8），1964年（M＝4.6），1975年（M＝4.1）にそれぞれ直下型地震が起こり，被害が生じた。1868年には，マグニチュードはわかっていないが今回の震央付近で大地震が起こり，Ibaraという町は震度X（MSK，気象庁震度Ⅵ）に見舞われ，壊滅したということである。

1984年長野県西部地震の震央付近にある御岳山（3,063ｍ）は，死火山と考えられていたが，1979年

に水蒸気爆発を起こした。今回の地震で斜面崩壊の激しかったReventador 火山（3,562ｍ）も1976年に爆発を起こしている。この火山は今回の震央から南東約30㎞に位置している。この活火山の活動は非常に活発で，数年～10年の周期で爆発している。今世紀に入って12回の活動が知られている（Hall, 1977, Almeida and Crug, 1986）。

日本とエクアドルの地質構造の大きな違いは，日本では背梁山脈の背後に地殻構造が複雑で起源のはっきりしない日本海が存在するのに対して，エクアドルではアンデス山脈の背後に大陸地殻からなるプラットフォームとアマゾン楯状地が広がっているということである。日本では日本海岸ぞいに，新生代以降グリーンタフ変動が起こっており，小規模な油田が新潟や秋田に知られているだけである。新潟地震（1964年，M＝7.5）や日本海中部地震（1983年，M＝7.7）のような中規模の地震が起こるが，プラットフォームやアマゾン域では地震はまったく起こらない。逆にOrienteは豊富な石油資源の埋蔵を誇っている。

今回の地震は，人口密集地から遠隔の地で発生したにもかかわらず，斜面崩壊と石油ガスパイプライン，道路の被害とが重なって，国の経済と国民生活に致命的な打撃を与えた。油田の推定埋蔵量が約30年なので，パイプラインの耐用年数もそれに見合う程度にしか作られていなかったのも被害を大きくした原因と考えられる。

今回の地震による被害は，斜面崩壊によるもの，斜面崩壊による土砂が天然ダムを作り，それが決壊して２次災害を起こしたもの，および地震動による土木・建築構造物の直接被害である。これらのうち地震動による構造物の被害は軽微であった。これは，地震がアンデス東斜面で起こり，人口密集地のあるアンデス山中盆地に東山脈を越えて震動が到達するまでに減衰したためと考えられる。それにもかかわらず，南米大陸を縦断しているパンアメリカンハイウェイは，アンデス山中盆地内の小規模な斜面崩壊によって24時間にわたって閉鎖された。

５－１　斜面崩壊

斜面崩壊は，第四紀以降現在まで続いているReventador火山の火山灰・スコリアなどの火山砕屑物からなる斜面で多く起こっているが，そのほか震央付近では中生層や古生代変成岩の風化表面でも発生している。崩壊はすべて表層すべりである。古い岩石も新しい火山砕屑岩も，表層は熱帯多雨帯に特徴的なラテライト質土に風化し，層厚数ｍ～５ｍ程度の表層残積土になっている。ラテライトは，ふつうの岩石中のSiO_2とAl_2O_3を主とする造岩鉱物が多湿と降雨によって溶脱され，鉄とアルミ水酸化物だけが残った熱帯残積土である。ラテライトは比較的多孔質であるが，乾燥しているときは強く固結し，吸水もしにくいとされている。しかし，いったん吸水すると多孔質なので100％以上の高含水比になり，塑性指数が小さく，低塑性なので，乱されると固体状態から急速に液体状態に移行して流動性をおびる。

Reventador火山付近では，1987年に入って20年来の大雨が続き，多いところでは２月だけで600㎜近い雨量があった（図－３，表－１）。このような雨量は，年降雨量の１/３～１/５にあたる。そのため吸水しにくいラテライト質土もReventador火山付近では，飽和から過飽和の状態になっていたものと考えられる。そこへ400galに近い地震動を受けたので崩壊が起こり，斜面が長大な場合には，斜面を落下する途中で崩壊土砂は乱され，液体状になって谷や河川に流れ込んだ。

斜面崩壊の発生は，このように火山体斜面や古期岩類の地質や表面風化の状態と地震動の強さに依存していたが，その後の崩土の移動形態に大きな影響を与えたのは地形的要因である。斜面長が短かかっ

Table. 1 Rainfall in the Mt. Reventador area ; January to February 1987.

Site	Monthly Rainfall	
	January 1987	February 1987
Foot of Mt. Reventador	110.7	587.3
Upper reaches of the Borja River	177.1	240.5
Upper reaches of the Quijos River	99.8	359.9
Upper reaches of the Cosanga River	162.1	448.4
Upper reaches of the Santa Rosa R.	210.2	488.8
Murallas del medio	418.0	532.7
Cascabel	250.8	
Cerri Sumaco	175.3	119.9

たり，途中で道路や平坦部がある場合などは，崩土はさほど流動化せず，途中で停止する（図－6）。しかし斜面長が大きいと，崩落の途中で崩土は流動化が進み，粘性の小さい流れとなって加速していったものと考えられる。



Fig. 6 Small scale slope failure. Slid blocks stopped on the road. The soil is laterite from pyroclastic rocks.

崩壊を大規模にした要因として地形要素，とくに谷密度の大きさをあげることができる（図－7）。この地域の山腹斜面では，熱帯多雨帯のため谷密度がきわめて大きく，最大7,300m/㎢，最小250m/㎢，平均2,500m/㎢である。これを温帯中緯度の御岳山の山腹斜面と比べると（図－8），谷密度の最大2,800m/㎢，最小0 m/㎢，平均1,060m/㎢のようになる（表－2）。Reventador地域では，そのため谷と谷の間の尾根が小さく，個々の尾根から下方の斜面が崩落を起こすということは，結局山腹斜面全体が崩落することにつながる。事実，Reventador山に入り込んでいるMalo川（マロはスペイン語で荒廃しているという意味）ぞいなどでは，斜面がほぼ100%近く崩壊してしまっているところがみられる。図－9～11に崩壊の激しい斜面を示す。

Reventador山の南東斜面には，東部油田地域から石油とガスを西海岸のEsmeraldasまで運んでいる直径26inch≒66cmのパイプラインが道路にそって走っており，約20kmの区間にわたってパイプライン

Table. 2 Comparison of the valley densities of slopes around Mt. Reventador and those around Mt. Ontake.

Area	Range of Valley Density (Valley Length (m)/ Surface Area (km^2))	Average Valley Density (m/km^2)
Mt. Reventador (Ecuador)	250－7,300	2,500
Mt. Ontake (Japan)	0－2,800	1,055

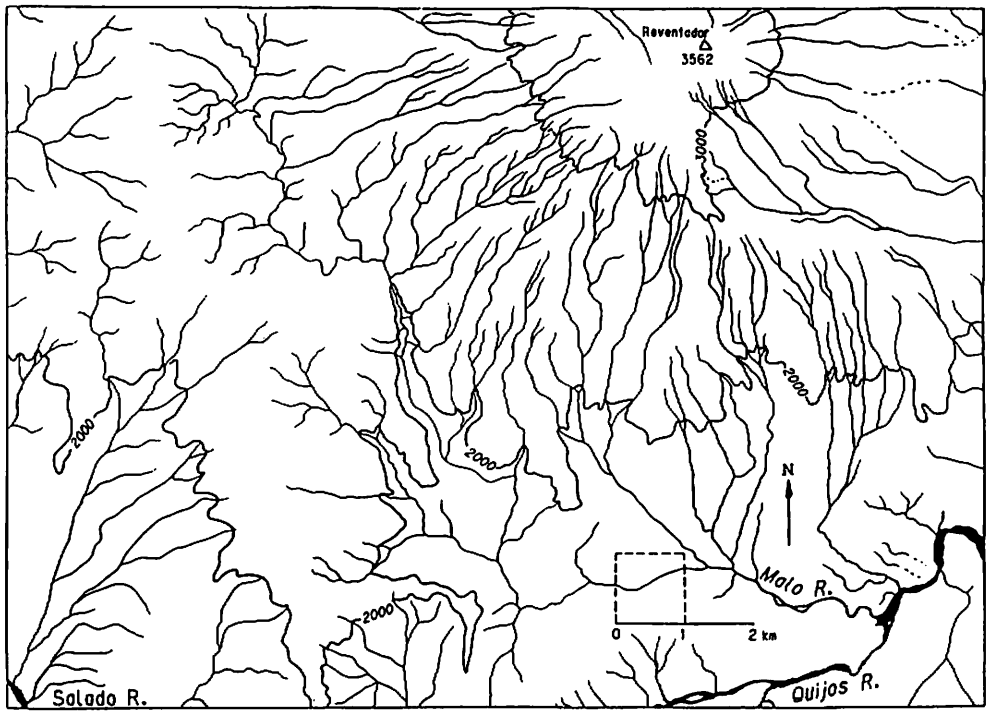


Fig. 7 Valley distribution around Mt. Revertador in the Sub-Ardean zone, Ecuador.

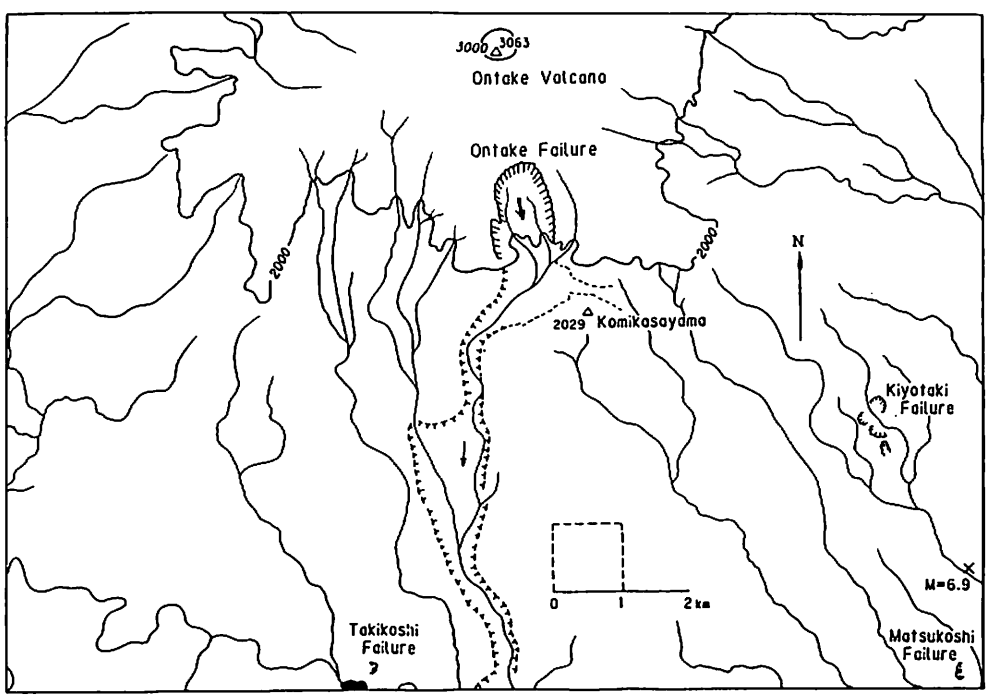


Fig. 8 Valley distribution around Mt. Ontake and slope failures by the 1984 Naganoken-Seibu earthquake (M=6.9).

が破壊された（図－12，13）。パイプラインの肉厚は，telescopic designといわれ場所によって0.375in（0.95cm）～0.911in（2.31cm）と厚さが変化し，油圧も変化していた。パイプラインは，崩土の直撃によって曲げで破壊したものが多かったが，ねじり破壊の部分もあった（Prof.O'Rourkeによる）。破壊したときには油を輸送中だったので，油が60mの高さまで飛び上がったところがあるという。

斜面崩壊のすべり面の深さは一般に小さく，1～3mであり，Reventador山付近で斜面傾斜は30～60°のところが多い。斜面崩壊を起こした地域を流域ごとに分け，それぞれで崩壊の割合をヘリコプター観察および地震後の空中写真から推定して，表－3に崩壊土量を算出した。



Fig. 9 Slope failure features in the meizoseismal zone. About 30% of slopes failed.



Fig. 10 Slope failure features in the meizoseismal zone. About 50% of slopes failed. The relict of a landslide dam can be seen.



Fig. 11 Slope failure features in the meizoseismal zone. About 80% of slopes failed.

5－2　天然ダムの形成および決壊による災害

大量の水を含んで流動化した崩土は，谷と本流との合流点などに緩傾斜の天然ダムを形成した（図－10）。そのため多数の天然ダムの背後に土石を多量に含む水が一時的にダムアップされ，数時間後に溢流した水が洪水となって下流部を襲った。このため下流部では水位が20～30m上昇した（図－14，15）。震源域から約30km下流のQuijos川流域の住民の話によると，3月5日　21～23時の地震直後に河床は完全に乾上がり，6日3時頃洪水が襲った。したがって，天然ダムは，主として最初の地震動（20時57分，M＝6.1）の斜面崩壊によって形成され，4～6時間存続したことになる。

洪水によってReventador山周辺の水系に架かる橋のうち，Salado川から下流，Lago Agrioに至るまでの8橋が流失し，橋にそって敷設されていたパイプラインも破壊された（図－16，17），図－16は震央から約60kmの位置にあるAguarico橋とそれにそうパイプラインの流失を示している。ここでの水位上昇は6m程度であり，洪水時流量は8,000㎥/s程度と推定される。この流量は平常流量の5倍である。表－3に示したように，地震による崩壊土量は，すべりの平均厚さを2mと仮定しても1.1億㎥であり，これが各所に天然ダムを作り，決壊して段波状に流れたものと考えられる。ダムの寿命が最大

Table. 3 Slide areas and failed volume.

Area	Devastated Area (Km^2)	Percentage of Slide Surface to Total Area (%)	Failed Volume (m^3)
Malo River	20.10	80	45,480,000
Between the Malo and Reventador Rivers	3.36 3.60 12.04	80 50 30	7,600,000 5,090,000 10,220,000
Left Bank of the Salado River	36.00	20	20,360,000
Right Bank of the Quijos River	14.29	20	8,080,000
Due River	50.00	10	14,140,000
Total			110,970,000

Note: Average slope angle = 45°. Average slip depth = 2 m.
The devastated area and slide percentage have been identified from air photographs (reduced scale of about 1/35,000) taken on the 26th of March, 1987 except for the area of the Due River for which the area and percentage were estimated from observations made from a helicopter in April, 1987.



Fig. 12 A crude oil pipeline (large diameter) and a gas pipeline broken by a debris blow.



Fig. 13 A crude oil pipeline broken by a debris flow.



Fig. 14 Traces of the flood along the Aguarico River near Lumbaqui by the breakage of landslide dams.



Fig. 15 Traces of the flood along the Quijos river by the breakage of landslide dams.

で6時間程度だったのは，崩壊した堆積物がきわめて高含水比で流動性の高いものであったことを示している。

5－4　震動による建築物被害

震源域から約20km程度以上離れると，斜面崩壊はほとんど起こらず，建築物の被害が主要なものとなる。以下に被害のあった地域の震源からの距離と被害写真を示す。

a）Ibara町（震源域から約60km北西，アンデス山中のパンアメリカン・ハイウェイぞい）

図－18に示すように，れんが造教会が2棟大破していたほか，比較的大きいれんが造や鉄筋コンクリート造の壁にクラックがみられた。総じて被害は軽微であった。

b）Armenia村（震源域から約45km北西，La Cordillera Real中）

アドベの建物が地震動で破壊されていた（図－19）。

c）Baeza村（震源域から約50km南南西，La Cordillera Realの東斜面）

この村では木造家屋が多く，木造家屋の被害は基礎コンクリートの破壊や移動による傾斜など軽微なものであった。一方，市場，学校などのような鉄筋コンクリート造建築物は，柱断面が小さく，鉄筋が番線のように細いこと，などのため相当ひどい被害であった（図－20）。

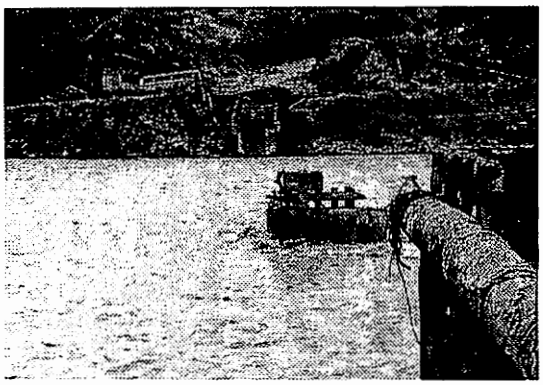


Fig. 16　Ruins of the Aguarico Bridge and pipeline on the Due River.

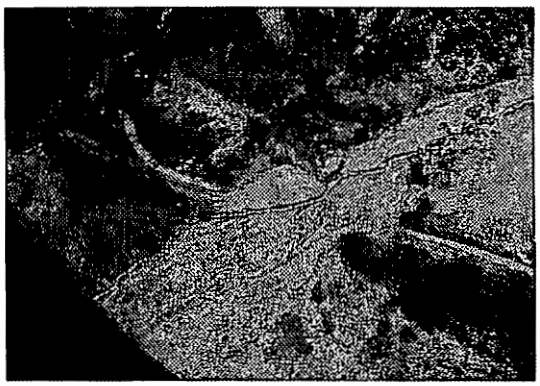


Fig. 17　Ruins of the Sarado Bridge and pipeline on the Sarado River.

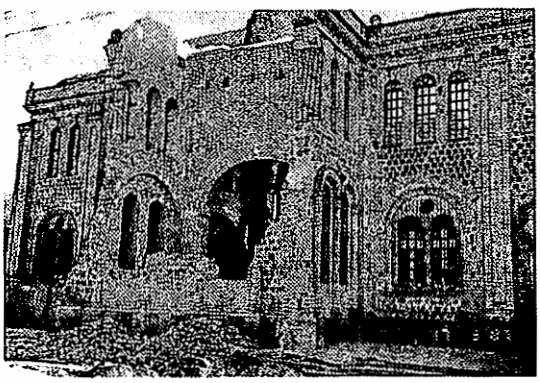


Fig. 18　A fallen brick ceiling and walls in a church in Ibara.

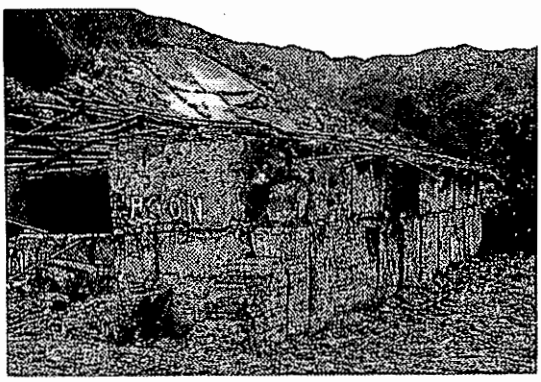


Fig. 19　A fallen adobe house in La Cordillera Real.

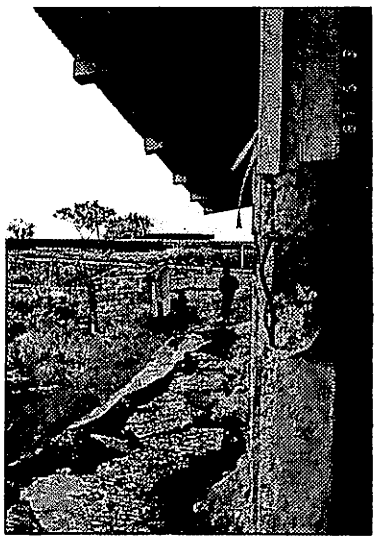


Fig. 20 Damaged foundation concrete and a slender reinforced column with poor reinforcing steel bars of a school near Baeza.

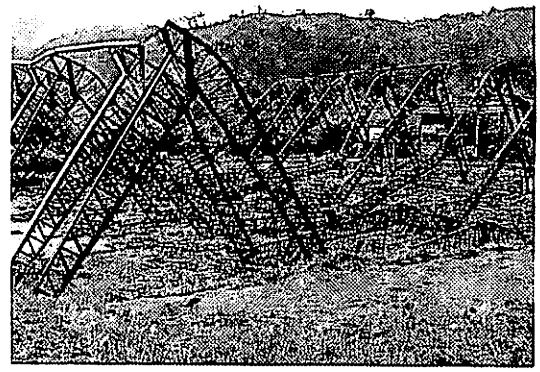


Fig. 21 Collapsed steel frame of a gymnasium under construction due to the poor concrete support used for its steel frame.

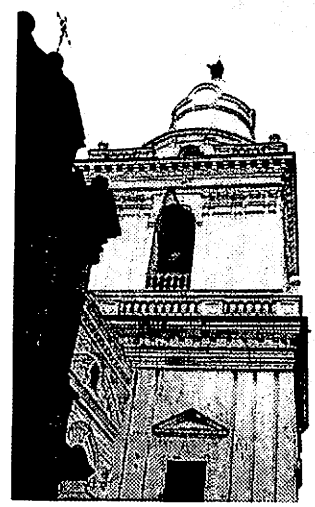


Fig. 22 Slightly damaged old church built in 18c in Quito.

d) El Chaco村（震源域から約30km南南西，Quijos川ぞい）

森林地帯で木造家屋が多く，それらのほとんどは無被害であった。ただ．建築中の鉄骨体育館が潰れていた。これは鉄骨柱を支持しているコンクリートが曲げ引っ張り破壊を起こしたためと考えられる（図－21）。

e) Quito市（主都，震源域から南西約80km）

建築物の被害は，18世紀のスペイン統治時代に建てられたスペイン風の建物等の壁面のクラック程度であった。しかし，これらの建物は歴史的建築物としてユネスコが保護しており，復旧が始まっていた（図－22）。

以上のように，震源に近いアマゾン上流域では，森林地帯であるため木造家屋が多く，被害は主として貧弱な鉄筋コンクリート造　鉄骨造に集中していた。また，木材の少ないアンデス山中では，れんが造，アドベ造に被害が集中していた。

Ⅵ むすび

今回の地震による土砂崩壊では，1個の崩壊の規模は，それほど大きくはなく，もちろん，1984年長野県西部地震の際の御岳くずれよりは，はるかに小さいものであろう。しかしながら，長野県西部地震の場合には，大規模1，中規模3，小規模50？というような土砂崩壊で崩壊量は4,000万㎥位と言われている。ところが，エクアドル地震の場合には，中規模300，小規模無数という感じで，総崩壊土量から言えば，近来稀な大きいものであったと思われる。1970年ペルー地震によるワスカラン山の山腹崩壊が約1億㎥と言われているが，今回はおそらくそれを上回ったであろう。そして，崩壊箇所が人口の多いアンデス中央盆地寄りではなく，アマゾン側であったため，人的被害がそれほどではなかったことは不幸中の幸いであった。

ペルー地震の場合には，土砂が中央盆地のユンガイ市を襲ったため2万人前後の死者を出してしまった。しかしながら，人口は希薄ではあったが，国の金のなる木であった石油の輸出パイプラインが多数の崩壊によって多数箇所切断されてしまい補修では済まず，新たに敷設しなおさなければならないのは，同国の経済にとって大変な痛手である。開発途上国である同国は，強震計が国中で1台しかないとか，斜面や地盤の特性を試験するための土質試験機がないなど，驚くような実情である。日本としても留学生を受け入れるとか，それら試験機，強震計を贈与するとか，いろいろなすべきことがあると実感した。また，比較的小規模の地震によって，これほど広範囲な大崩壊を起すことは，同様な火山国，日本で有り得ないことなのかどうか，じっくり検討すべき問題であると思う。

謝辞

本研究を行うにあたって以下の機関や方々にお世話になった。厚く感謝するしだいである。

日本政府文部省：海外突発災害科学研究費（№62601022）の支給に対して。

Escuela Politecnica Nationalの M. L. Hall, H. Yepes, E. Marques, J. Fernando, P. Nieto, P. Romon, A. Carrascoの各教授，研究員の方々。

アメリカ合衆国調査国のR. L. Schuster博士（USGS Colorado）およびA. Nieto教授（University of Illinois）。

Cornell UniversityのT. D. O'Rourke教授。

エクアドル国家安全保障会議議長G. R. Zurita将軍：被災地の現地調査に関する援助に対して。

日本政府エクアドル大使館西宮一大使，渡部透一等書記館，林弘勝氏：エクアドル滞在中の援助に対して。

駐日エクアドル大使館N. Thurdekoos大使：出発前の有益な助言と援助に対して。

東京大学土木工学科石原研而教授。

文献

Almeida, E. and Crug, M. (1986)：Estudio Geologico del Volcan Reventador, Instituto Ecuatoriana de Electrificacion (INECEL), 43pp.

ASCE (1987)：Cornell team surveys damage from the March 1987 earthquakes in Ecuador, Special Report, ASCE news, pp.10～14.

Baldock, J.W. (1982)：Geology of Ecuador, geological map and explanatory bulletin of the National

Geological Map of the Republic of Ecuador, 1 : 1,000,000, Division de Investigacion Geologico-Minera, 54pp.

伯野元彦，大草重康，道上正規（1987）：1987年エクアドル地震災害調査報告，土木学会誌，Vol.72，№12，pp.43～49.

伯野元彦，大草重康，道上正規（1988）：1987年3月エクアドル地震による土砂災害，昭和62年度河川災害に関するシンポジウム論文集，pp.5～15，「自然災害」総合研究班・土木学会水理委員会.

Hakuno, M., Okusa, S. and Michiue, M. (1988) : Study report of damage done by the 1987 earthquakes in Ecuador, Research Report on Unexpected Disasters, Research Field Group, Natural Disasters and the Ability of the Community to Resist Them, supported by the Japanese Ministry of Education, Culture and Science (Grant № 62601022), 38pp.

Hall, M.L. (1977) : El Volcanismo en el Ecuador, XI Asemblea General del IPGH Y Reuniones Panamericanas de Consulta Conexas, 120pp.