

## メキシコ地震防災プロジェクト —地震災害軽減のための日本の国際社会への寄与—

入 倉 孝 次 郎

### 1. は じ め に

自然現象としての地震科学の解明には、日本の地震のみならず地球全体を考えた観測およびそれに基づく理論的研究が必要なことはよく知られており、国際的にも実施されている。地震による災害やその防災を考える上にも、地球規模での視野が必要なことが近年明らかになってきている。1985年のメキシコのミチョアカン地震によるメキシコにおける大災害は、このことを日本の研究者が学ぶ一つの契機となるものであった。

このミチョアカン地震の起こったメキシコの太平洋岸は Fig. 1 にも示されるように歴史的に繰り返し大きな地震が起こっている<sup>(1)</sup>。特にこの地震の震源域の南東に隣接する地域は1911年以来大きな地震がない空白域で、大地震の発生の確率が高いと考えられている (Singh et al., 1981)<sup>(2)</sup>。そのため Brune 教授 (当時カリフォルニア大学サンディエゴ校で、現在はネバダ大学) 等は、アメリカの国立科学財団の予算を得てメキシコ自治大学工学研究所の研究グループと共同で、メキシコの太平洋沿岸域に、ゲレロアレイと呼ばれる強震動観測網を計画し、1985年の地震の2週間前に地震計の設置を完了した<sup>(3)</sup>。当時メキシコの研究者は強震観測の重要性は分かっていたが、1981年以来経済が悪化していて研究費が殆どないような状態にあった。実際に地震が起こったのは予想より200~300 km 北西の地域であったが、震源域の真上にも設置されていた観測点で重要な記録が得られた。

この地震は震源より400 km も離れたメキシコ市にも、中・高層構造物の倒壊などにより10,000人近い死者を含む莫大な被害を引き起こした。地震後日本からも地震学、地震工学の研究者のみならず、民間会社の技術者、行政担当者など数多くの調査団が現地で被害調査を行った。もちろん事後であっても調査自

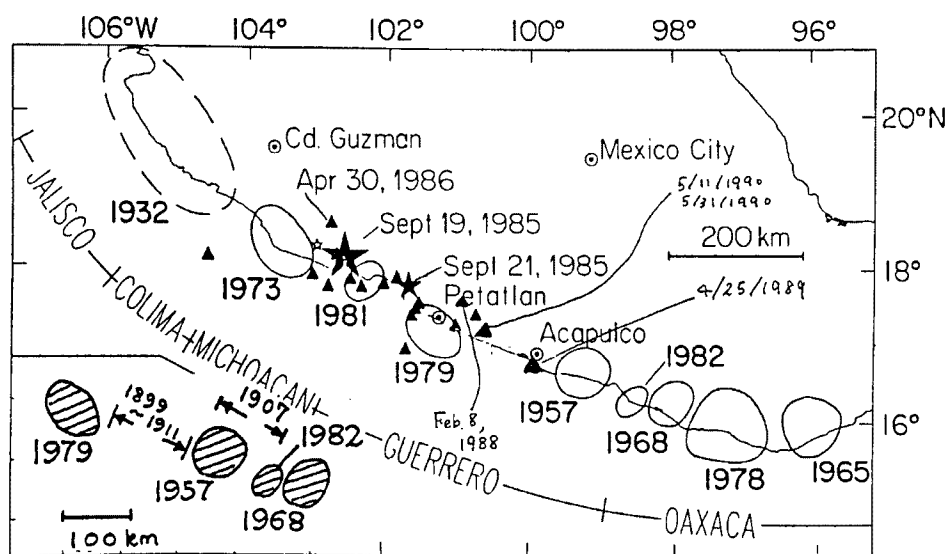


Fig. 1 Major earthquakes occurring along the southwest coast of Mexico. The insert shows the Guerrero seismic gap (After Kanamori, 1988).

体は大変重要であるが、被害の原因の究明の際、上記のアメリカ-メキシコ共同の観測網で得られた強震記録が大きな威力を発揮し、事前の日常的な科学技術の分野での国際貢献の重要性を如実に物語っていた。メキシコの強震動記録は、震源域のみならずメキシコ市内に数点設置されていたものも含めて、日本の研究者にも提供され、地震学、地震工学の研究に生かされている。

この大地震の後、日本の研究者にも遅ればせながら、地震防災の分野の国際協力に対する日本の寄与すべきことは何かを考えはじめることとなった。建設省建築研究所の地震工学研究グループ(室田, 北川他)は、メキシコ自治大学工学研究所の研究グループ(Esteva, Meli, Singh 他)と地震防災に関する研究を協力して進めていくことについて話し合い、両国政府に必要措置の働きかけを行った。その後、日本・メキシコ双方の多くの方々の協力により、メキシコに地震防災研究のためのセンターの設立の必要性について両国政府が合意し、1989年に国際協力事業団の無償供与としてメキシコ国立防災センターの設置が予算化され、1990年5月同センターが発足した。同時に技術協力プロジェクトの一つとして取り上げられ、1990年度より5年計画でメキシコ地震防災プロジェクトが発足することとなる。

私は1990年12月より1991年12月20日まで国際協力事業団(JICA)派遣の専門家として、地震防災に関する日本・メキシコの共同研究のため、メキシコ市にあらたに作られたメキシコ国立防災センターで国際研究協力活動に携わった。本報告では、はじめに地震防災の国際共同研究の必要性について述べ、次に国際協力の1例としてメキシコ地震防災プロジェクトの研究協力活動の概略を紹介し、JICAの技術協力プロジェクトにおける大学教員の果たすべき(あるいは果たし得る)役割について議論する。

## 2. 大地震と巨大都市

人類に大災害をもたらす大地震は、同じ地域に繰り返し起こることは経験的にもよく知られているが、最近の計測技術の発達で地震の発生が地球を覆うプレートの運動に関係して遍在することが詳細に確かめられるようになった。Fig. 2に過去1,000年間に9,000人以上の人がなくなった大地震の震源およびプレートの境界が示される。これらの被害地震のほとんどは中国の内陸部の地震を除いて、プレートに沿って起こっている。Fig. 3は、2000年に人口が200万人を越える都市の分布を示す。これらの巨大都市の多くが、プレートの境界や中国の内陸部を含めて過去に大震害をもたらした被害地震の近くに位置していることがわかる(Bilham, 1988)<sup>(4)</sup>。Table 1左に、2000年に予測される人口の最も多い世界の50の巨大都市(圏)名が人口の多い順に示される<sup>(5)</sup>。その中で、マグニチュード7以上の地震が200 km以内に起こり

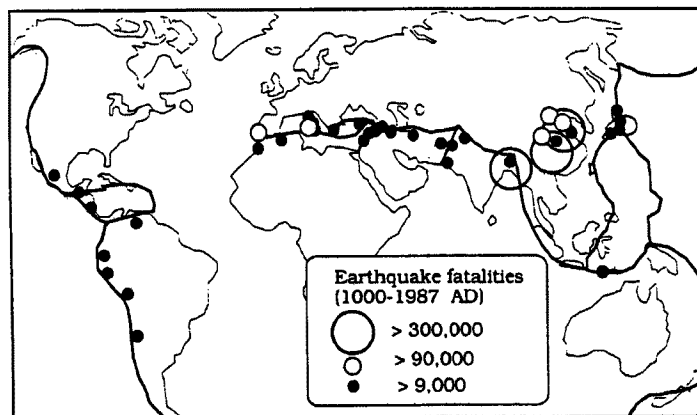


Fig. 2 Distribution of earthquakes in the past 1,000 years in which over 9,000 people died. Most of such disasters have occurred where cities coincide with plate boundaries (After Bilham, R., 1988).

Table 1 Left: Fifty largest urban agglomerations, ranked by populations, in 2000.  
Right: Urban agglomerations within 200 km of magnitude 7 earthquake in 2000 (After Tucker, 1992).

| RA-<br>NK | AGGLOMER-<br>ATION  | COUNTRY         | 2000   | RA-<br>NK | AGGLOMER-<br>ATION  | COUNTRY         | 2000   |
|-----------|---------------------|-----------------|--------|-----------|---------------------|-----------------|--------|
| 1         | Mexico City         | MEXICO          | 24.44  | 1         | Mexico              | MEXICO          | 24.44  |
| 2         | San Paulo           | BRAZIL          | 23.60  |           |                     |                 |        |
| 3         | Tokyo/Yokoha-<br>ma | JAPAN           | 21.32  | 3         | Tokyo/Yokoha-<br>ma | JAPAN           | 21.32  |
| 4         | NEW YORK            | U. S. A         | 16.10  |           |                     |                 |        |
| 5         | Calcutta            | INDIA           | 15.94  |           |                     |                 |        |
| 6         | Greater Bombay      | INDIA           | 15.43  |           |                     |                 |        |
| 7         | Shanghai            | CHINA           | 14.69  |           |                     |                 |        |
| 8         | Teheran             | IRAN            | 13.73  | 8         | Teheran             | IRAN            | 13.73  |
| 9         | Jakarta             | INDONESIA       | 13.23  | 9         | Jakarta             | INDONESIA       | 13.23  |
| 10        | Buenos Aires        | ARGENTINA       | 13.05  |           |                     |                 |        |
| 11        | Rio de Janeiro      | BRAZIL          | 13.00  |           |                     |                 |        |
| 12        | Seoul               | R. O. K.        | 12.97  |           |                     |                 |        |
| 13        | Delhi               | INDIA           | 12.77  | 13        | Delhi               | INDIA           | 12.77  |
| 14        | Lagos               | NIGERIA         | 12.45  |           |                     |                 |        |
| 15        | Cairo/Giza          | EGYPT           | 11.77  |           |                     |                 |        |
| 16        | Karachi             | PAKISTAN        | 11.57  | 16        | Karachi             | PAKISTAN        | 11.57  |
| 17        | Manila/Quezon       | PHILIPPINES     | 11.48  | 17        | Manila/Quezon       | PHILIPPINES     | 11.48  |
| 18        | Beijing             | CHINA           | 11.47  | 18        | Beijing             | CHINA           | 11.47  |
| 19        | Dacca               | BANGLADE-<br>SH | 11.26  | 19        | Dacca               | BANGLADE-<br>SH | 11.26  |
| 20        | Osaka/Kobe          | JAPAN           | 11.18  | 20        | Osaka/Kobe          | JAPAN           | 11.18  |
| 21        | LOS ANGELES         | U. S. A         | 10.91  | 21        | LOS ANGELES         | U. S. A         | 10.91  |
| 22        | KONDON              | U. K.           | 10.79  |           |                     |                 |        |
| 23        | Bangkok             | THAILAND        | 10.26  | 23        | Bangkok             | THAILAND        | 10.26  |
| 24        | MOSCOW              | USSR            | 10.11  |           |                     |                 |        |
| 25        | Tianjin             | CHINA           | 9.96   | 25        | Tianjin             | CHINA           | 9.96   |
| 26        | Lima-Callo          | PERU            | 8.78   | 26        | Lima-Callo          | PERU            | 8.78   |
| 27        | PARIS               | FRANCE          | 8.76   |           |                     |                 |        |
| 28        | MILAN               | ITALY           | 8.74   |           |                     |                 |        |
| 29        | Madras              | INDIA           | 7.85   |           |                     |                 |        |
| 30        | Bangalora           | INDIA           | 7.67   |           |                     |                 |        |
| 31        | Baghdad             | IRAQ            | 7.66   | 31        | Baghdad             | IRAQ            | 7.66   |
| 32        | CHICAGO             | U. S. A         | 6.98   |           |                     |                 |        |
| 33        | Bogota              | COLOMBIA        | 6.94   | 33        | Bogota              | COLOMBIA        | 6.94   |
| 34        | Hong Kong           | HONG KONG       | 6.09   |           |                     |                 |        |
| 35        | Lahore              | PAKISTAN        | 5.93   | 35        | Lahore              | PAKISTAN        | 5.93   |
| 36        | LENINGRAD           | USSR            | 5.84   |           |                     |                 |        |
| 37        | Pusan               | R. O. K.        | 5.82   |           |                     |                 |        |
| 38        | Santiago            | CHILE           | 5.58   | 38        | Santiago            | CHILE           | 5.58   |
| 39        | Shenyang            | CHINA           | 5.50   | 39        | Shenyang            | CHINA           | 5.50   |
| 40        | MADRID              | SPAIN           | 5.42   |           |                     |                 |        |
| 41        | Medan               | INDONESIA       | 5.36   | 41        | Medan               | INDONESIA       | 5.36   |
| 42        | Ankara              | TURKEY          | 5.19   | 42        | Ankara              | TURKEY          | 5.19   |
| 43        | Alger               | ALGERIA         | 5.16   | 43        | Alger               | ALGERIA         | 5.16   |
| 44        | Ahmedabad           | INDIA           | 5.09   |           |                     |                 |        |
| 45        | Belo Horizonta      | BRAZIL          | 5.01   |           |                     |                 |        |
| 46        | Hyderabad           | INDIA           | 4.94   |           |                     |                 |        |
| 47        | Caracas             | VENEZUELA       | 4.79   | 47        | Caracas             | VENEZUELA       | 4.79   |
| 48        | Casablanca          | MOROCCO         | 4.63   |           |                     |                 |        |
| 49        | Guangzhou           | CHINA           | 4.49   |           |                     |                 |        |
| 50        | Wuhan               | CHINA           | 4.47   |           |                     |                 |        |
| TOTAL     |                     |                 | 496.17 | TOTAL     |                     |                 | 234.47 |

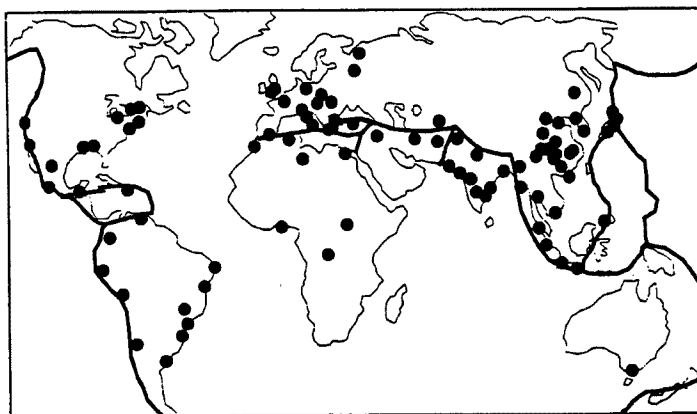


Fig. 3 Distribution of cities with a projected population of two million people or more in the year 2000. Bold lines represent convergent or strike-slip boundaries (After Bilham, R., 1988).

Table 2 Damaging earthquakes in the past 20 years in which over 1000 people died (Bold; over 9,000).

| Date         | Magnitude | Region                  | Death toll    |
|--------------|-----------|-------------------------|---------------|
| 1970 Mar. 28 | 7.3       | Turkey                  | 1,086         |
| May. 31      | 7.6       | North Peru              | 66,794        |
| 1972 Apr. 10 | 7.0       | South Iran              | 5,010         |
| 1973 Feb. 6  | 7.7       | Szechwan, China         | 2,175         |
| 1975 Feb. 4  | 7.4       | North-East, China       | 1,328         |
| 1976 Feb. 4  | 7.5       | Guatemala               | 23,000        |
| Jun. 25      | 7.1       | W. Irian, Indonesia     | 6,000         |
| Jul. 27      | 7.6       | Tang-Shang, China       | 242,769       |
| Aug. 16      | 7.7       | Mindanao, Philippine    | 5,000-8,000   |
| Oct. 29      | 7.2       | W. Irian, Indonesia     | 6,000         |
| Nov. 24      | 7.3       | N. W. Iran-USSR border  | 5,000         |
| 1978 Sep. 16 | 7.8       | Tabas, Iran             | 18,320        |
| 1980 Oct. 10 | 7.7       | Algeria                 | 3,500         |
| Nov. 23      | 7.2       | South Italy             | 4,680         |
| 1981 Jul. 28 | 7.3       | Kermac, Iran            | 1,500         |
| 1985 Sep. 19 | 8.1       | Michoacan, Mexico       | >9,500        |
| 1987 Mar. 6  | 7.0       | Colombia-Ecuador border | ~5,000        |
| 1988 Dec. 7  | 7.0       | Armenia                 | 25,000        |
| 1990 Jun. 20 | 7.7       | W. Iran                 | 40,000-50,000 |
| Jul. 16      | 7.8       | Luzon, Philippine       | 1,621         |

得る都市が、右に抜き書きして示される(Tucker, 1992)<sup>(6)</sup>。50都市の中の23都市が大地震により大災害を引き起こされる可能性がある。その23の都市の中で、いわゆる先進国は東京/横浜、大阪/神戸、ロスアンジェルス の3地域のみで、その他は発展途上国にある。

自然現象である大地震の発生は防ぐことができない。一方巨大化した現代の都市は簡単に移動することはできない。地震災害を防ぐには都市作りや構造物の設計の段階で災害軽減対策を考えておく必要がある。しかしながら、起こるか起こらないか分からない地震対策に対する予算は経済的にも苦しい途上国では、どうしても後回しになる。そしてまた途上国では近年の急激な都市の膨張で、災害対策が殆ど講じられない無秩序な都市形成がなされてきている。この様な理由で、近年の災害が途上国に集中して起こっている

ように見える。例えば先進国では殆ど被害のでないマグニチュード 6 以下の小さな地震でも多くの死者が出たりしている。**Table 2** に過去 20 年間に 1,000 人以上の死者を出した被害地震の起こった地域と死者数がまとめられる<sup>(7)</sup>。そのほとんどが途上国で起こっていることが分かる。この間同規模の地震が日本やアメリカでも起こっているが、そのような大惨事には至っていない。Table では、9,000 人以上の死者を出した地震が太字で示されている。その様な大被害は必ずしもマグニチュードの大きい地震というわけではなく、むしろ構造物の状態や都市の過密化に依っている。

途上国における都市の過密化は、**Table 1** に見られるように今後ますます進むことが予想される。一方で大地震は統計的な意味に於て必ずやってくる。我々が手をこまねいている限り、将来の大地震の時にはこれまで以上の大災害が起こることが容易に予想される。その意味で 20 世紀の最後の 10 年間の「国際防災 10 年 (IDNDR)」は、時機を得た取り組みである。特に途上国における地震防災の問題は地震学および地震工学の研究者にとって、避けて通れない重要課題のひとつとなっている。

### 3. メキシコ国立防災センターの発足

本センター発足の契機は、メキシコが 1985 年 9 月に発生したミチョアカン地震により約 5 万人の死傷者を出す大被害を受けたことにある。メキシコ政府はこの大震災の経験から、地震対策の重要性を認識し、メキシコならびに中米、カリブ諸国における地震防災の研究及びその成果の普及を目的として、「メキシコ国立地震防災センター設立計画」を策定し、日本へ研究開発、研修、及び普及活動につきプロジェクト方式の技術協力の要請を行った。このメキシコ政府の要請に対し、日本政府は JICA、建設省を中心とする技術協力チームによる予備調査団 (1987 年 7 月) および事前調査団を派遣し、メキシコ政府関係者との協議を行った結果、本センターをメキシコ、中米、カリブ地域の地震対策に貢献するための研究・研修機関として位置づけることを確認し、強震観測、耐震構造実験、地震危険度診断等の研究、第三国研修を含む研修・教育及び広報・普及の各分野を協力範囲とすることで合意した<sup>(8)</sup>。

これを受けて、政府は 1988 年 3 月国際協力事業団 (JICA、以下では略称で記す) の無償資金協力のための基本設計調査団を派遣し、調査の結果、“中米、カリブ地域は、過去に繰り返し受けてきたが、本センターの設立による地震防災の効果は、メキシコ一国に利益するだけでなく同地域全体に波及することが期待されること、現在メキシコ政府は、経済的に債務が累積した状態で緊縮財政下にあることを考慮すると、日本政府が本センター設立に関しての無償資金協力を実施することは、十分な妥当性を持つ”という結論を下した。1988 年 8 月、E/N (交換公文) が署名され、総額約 12.63 億円 (日本側負担分 12.46 億円、メキシコ側負担分 0.17 億円) が計上された。設計管理は(株)山下設計、機材供与は(株)日商岩井、が担当した。施工は(株)三井建設が受注し、同社の現地法人で、メキシコで唯一の日系ゼネコンであるサンケン・デ・メヒコに業務が委託され、建設資材は 100%現地調達で工事施工がなされた。

メキシコ設立防災センターの建物及び地震防災関連の研究設備が、1990 年 3 月完成し、メキシコ政府に引き渡された。主要研究施設はセンター本館ビルに加えて、強震観測網(メキシコ市内 10 カ所、アカプルコ・メキシコ間 5 カ所)、大型構造実験棟、主要供与機材は強震観測機材、大型構造実験機材、土質工学実験機材、研修機材等となっている。このセンターは当初の構想では地震災害に限定した防災センターとなっていたが、メキシコ政府は水文・気象災害、化学災害などメキシコが直面している他の分野も研究対象に加えて総合的な防災の研究・研修・普及のセンターとして発足させた。

本センターはメキシコ内務省に属しており、メキシコ自治大学 (略称 UNAM) とは独立した機関ではあるが、地理的にも大学の構内のあり、主要な研究員が UNAM と兼任で、研究員の研究の評価は UNAM の評価委員会が行うなど、UNAM と密接な協力関係で研究活動を進めている。地震防災に関する研究組織としてはメキシコでは UNAM の工学研究所につぐ大きな規模のものとなっている。

#### 4. メキシコ地震防災技術協力プロジェクト

メキシコ国立防災センター(略称 CENAPRED)発足と同時に、日本、メキシコ両政府はプロジェクト方式技術協力協定に基づき、討議議事録(R/D; Record of Discussions)を取り交わし、5か年のメキシコ地震防災プロジェクトが実施されることとなった。本プロジェクトはJICAのプロジェクト方式技術協力の中の社会開発事業の一つである科学技術(地震防災)の国際協力を主たる協力内容としている。

JICA 技術協力プロジェクトの協力内容は、相手国の要請に基づき、前記の R/D に定められている。しかしながら、一般に R/D には基本方針が簡潔に記されているのみで、具体的技術協力内容は相手国側の研究者や行政担当者と日本からの派遣専門家との協議で決めていく必要がある。技術協力プロジェクトをどのように進めて行くべきかは、協力する技術分野及び相手国の技術レベルにより当然異なってくる。

JICA 資料によると、プロジェクト方式技術協力の主たる機能は、(1)研究開発(2)技術普及(3)人材養成であると記されている。この機能の比重は技術協力の協力分野により異なってくる。例えば“職業訓練”事業では、(2)と(3)を中心とし、(1)の比重は極めて小さいと考えられる。“科学技術”の場合は(1)の比重が必然的に高くなるのは当然であるが、(2)、(3)の機能は(1)を進める上で欠かせないものといえる。個々のプロジェクトの協力内容・目的は先に述べたように、相手国の要請に基づき、両国間の R/D で定められるものである。またプロジェクトの内容によって、相手国の資金面の制約のため日本の無償資金協力と連携して協力事業が実施されることがあり、JICA 資料によるとこのようなケースが近年増加している。

メキシコの経済レベルは発展途上国の中では高く、通常は無償資金協力の対象とはならないが、本防災センターはメキシコのみを対象とするのではなく、広く中米、カリブ地域の地震防災対策の充実を図るための研究・研修機関と位置づけ無償資金協力がなされた。特に本プロジェクトのための交換公文が署名された1988年は日本・メキシコ修好条約締結(1888年)の100周年に当たり、両国の記念協力事業の1つとしての性格ももっている。

技術協力プロジェクトの R/D によると、日本側の協力内容として、(1)日本からの専門家の派遣(2)研究用機材の供与、(3)日本におけるメキシコ側カウンターパートの研修、そして一方メキシコ側の協力内容としては、(1)メキシコ側の研究協力者及び行政担当者の確保、(2)土地、建物関連施設の提供、(3)機器、機材の補充、(4)現地における業務運営費の負担が合意されている。具体的なプロジェクトの活動計画は、R/D にマスタープランとして記され、メキシコ側カウンターパートと日本側からの専門家が共同で研究開発、研修及び広報普及活動を行うことになる。

上記 R/D に基づき、本プロジェクトのメキシコ側実施機関であるメキシコ内務省の防災センターに JICA 長期専門家が当初計画で年間約5名(リーダー、調整員、および関連分野専門家3名)、1990年度実績で4名(その後年間約7名)、短期専門家は1990年度実績で年間計13名(1991年度は17名)が派遣されている。日本へ研修のため派遣されたメキシコ側カウンターパートは1990年度実績で4名(1991年度は3名)となっている。研究用供与機材は1990年度実績で2千万円、専門家派遣時の携行機材として850万円となっている。私は、初年度(1990年)派遣専門家チーム(計4名)の一員として、JICAの要請を受け強震動観測・評価の技術協力のため1年間その任を担当した。

本センターの研究部の組織および JICA プロジェクトとの関係が Fig. 4 にブロックダイアグラムで示される<sup>(9)</sup>。研究部長の Robert Meli 教授は構造実験を専門とし UNAM の教授を兼任している。私が一緒に仕事をした強震動の分野は、地震動計測(Instrumentacion Sismica)と地質危険度(Riegos Geologicos)の2部門あり、主任はそれぞれ Robert Quaas, Mario Ordaz 教授(UNAM 兼任)、各部門は5~6人の若手研究者からなる。UNAM の S. Krishna Singh 教授(地震学)がアドバイザーとして研究指導に当たっている<sup>(10)</sup>。強震動研究分野の JICA 派遣専門家は私の後、川瀬博士(清水建設大崎研究所)が引き継ぎ、現在は三雲健教授(京都大学名誉教授)が研究指導及び共同研究を進めている。Photo

## ORGANIZACION

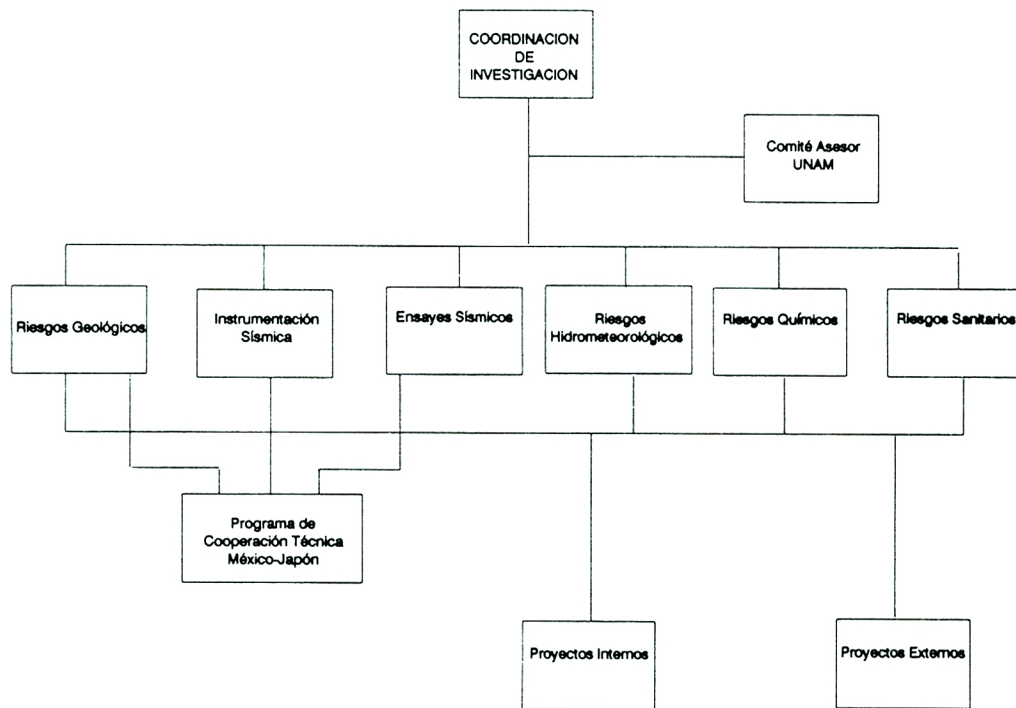


Fig. 4 The organization of the research sections of El Centro Nacional de Prevención de Desastre.

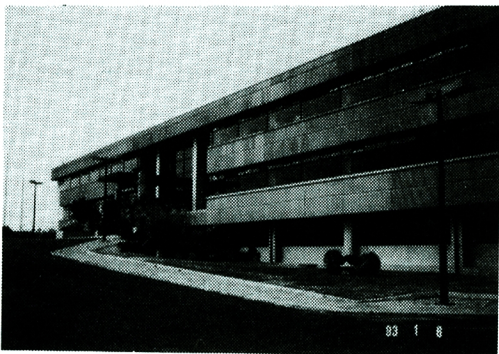


Photo. 1 Main building of El Centro Nacional de Prevención de Desastres.

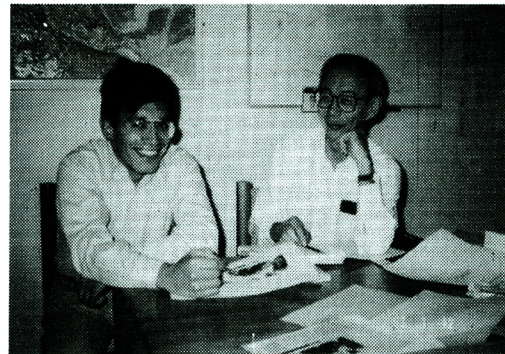


Photo. 2 The laboratory of the strong ground motion section. Prof. Mikumo (Right) is a JICA long-term expert (the professor emeritus of Kyoto University) and Mr. Santoyo (Left) is an investigator of the strong ground motion section.

1に CENAPRED の本館，**Photo 2** に研究室で現専門家の三雲先生が研究員の Miguel Santoyo 氏に研究指導している風景が示される。

## 5. 強震観測の技術協力

ここで私が 1 年間メキシコで行った強震観測分野の技術協力の内容の概略を述べる。

### 背景とその意義

1985 年 9 月にメキシコの太平洋岸に起こったミチョアカン地震により、400 km も離れたメキシコ市が大被害を受けたことは、メキシコのみならず国際的にも地震防災に関心を持つ人々に衝撃を与えた。とりわけメキシコ同様堆積盆地の軟弱地盤に主要都市が発達している日本の研究者にとって、学ばねばならない多くの問題を提示した。このことは文部省、建築学会、土木学会などの学術関係機関のみならず、東京都などの公共団体からも数多くの調査団が派遣されたことに現れている。

ミチョアカン地震以前のメキシコにおける強震動観測は、人口 1000 万以上の大都市であるメキシコ市に合計 10 点という極めて貧弱なものであった (Fig. 5)。しかし太平洋岸域にはアメリカの研究者がメキシコと共同でグレロ州を中心に約 20 点の強震観測網を地震の 2 週間前に完成していた (Fig. 6 に○で示される観測点)。このグレロアレイ強震観測網は 1985 年の地震の震源域内に 5 点の強震観測点を展開しており、断層面の正に真上での大地震の強震動記録という画期的な成果を挙げている。このことはアメリカの科学技術分野における国際貢献の底力を見せつけるものといえる。

1985 年の地震以後もメキシコではグレロ沖に顕著な地震の空白域が残っており、次の大地震が遠からず予想され、地震防災のための防災開発が緊急に必要とされている。しかしながら 1982 年に始まった経済危機がおさまる前に大震災を受け、さらに経済が変化していたメキシコにとって強震観測体制や耐震構造実験施設などコストのかかる研究開発が取り組めない状態にあった。このような時期に日本がメキシコの地



Fig. 5 Strong ground motion observation in Mexico city in 1985 and in 1990 (After CENAPRED report)<sup>(10)</sup>.

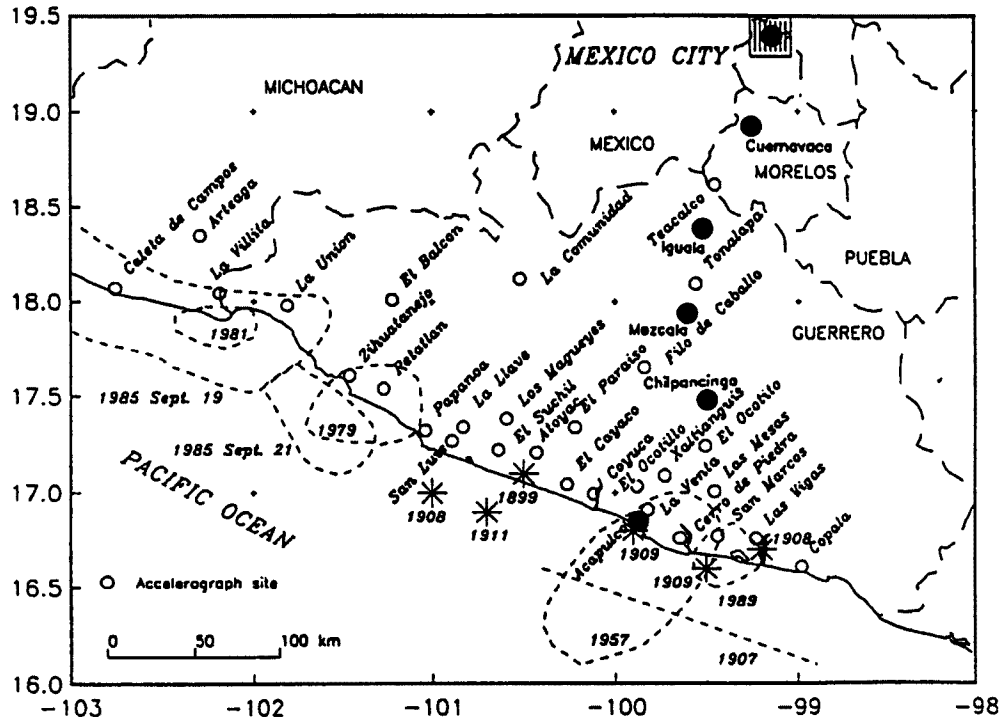


Fig. 6 The Guerrero Accelerograph Array set up in 1985 by the US-Mexico Joint Project (stations marked by ○) and the Acapulco-Mexico city Array in 1990 by the Japan-Mexico Joint Project (stations marked by ●).

震防災センターの設立の援助を決め、その一貫として強震観測網を無償供与したことは日本の国際貢献の1つとして極めて意義深く、メキシコの政府のみならず科学技術を支える研究者からも大歓迎されている。

#### CENAPRED 強震観測網

1985年ミチョアカン地震のとき、震源域に近い太平洋沿岸では比較的被害は少なかったのに対し、300 km以上も離れたメキシコ市が大きな被害を受けた。なぜその様なことが起こったかは当時少ないながらもメキシコの研究者の努力で得られた強震動記録が如実に物語っている。Fig. 7にメキシコ自治大学のShing教授により纏められた震源域に近い沿岸から内陸部のメキシコ市に至る強震観測点で得られた記録が示される<sup>(11)</sup>。沿岸部での強震動は高周波が卓越した震動で大地震にしてはそれほど大きいものではない。300 km離れたメキシコ市で見ると、硬質地盤地域 (hill zone) ではそれほど大きくないが、軟弱地盤地域 (lake zone) で大振幅の長周期の地震動が突然の如く現れるのがわかる。この極めて特徴的な地震波の伝播特性について多くの研究者がその解明に取り組んでいるが結論を出すにはデータが不十分過ぎる。

CENAPREDには1985年の地震の時のような大災害を再び繰り返さないために来るべき大地震の強震動の評価手法を確立するための基礎データの収集を目的として2つの強震観測網が設置された。1つは、メキシコの太平洋沿岸にあるアカプルコ市から北方のメキシコ中心部に位置するメキシコ市に至る約300 kmの距離の間に5点の強震観測点からなる直線アレイ (Fig. 6の●の点) である。このアレイ観測はいわゆるアテニュエーションラインと呼ばれ、太平洋沿岸に発生した地震からの地震動の距離減衰などの伝播特性の研究のために置かれている。

もう1つは、メキシコ市内の各種の異なった地盤 (10地点) の地表および地中 (Fig. 8) に3次元的に35個の3成分強震計が配置されたアレイである。メキシコ市域は、海拔2.2 kmの中央高原地帯にあり、

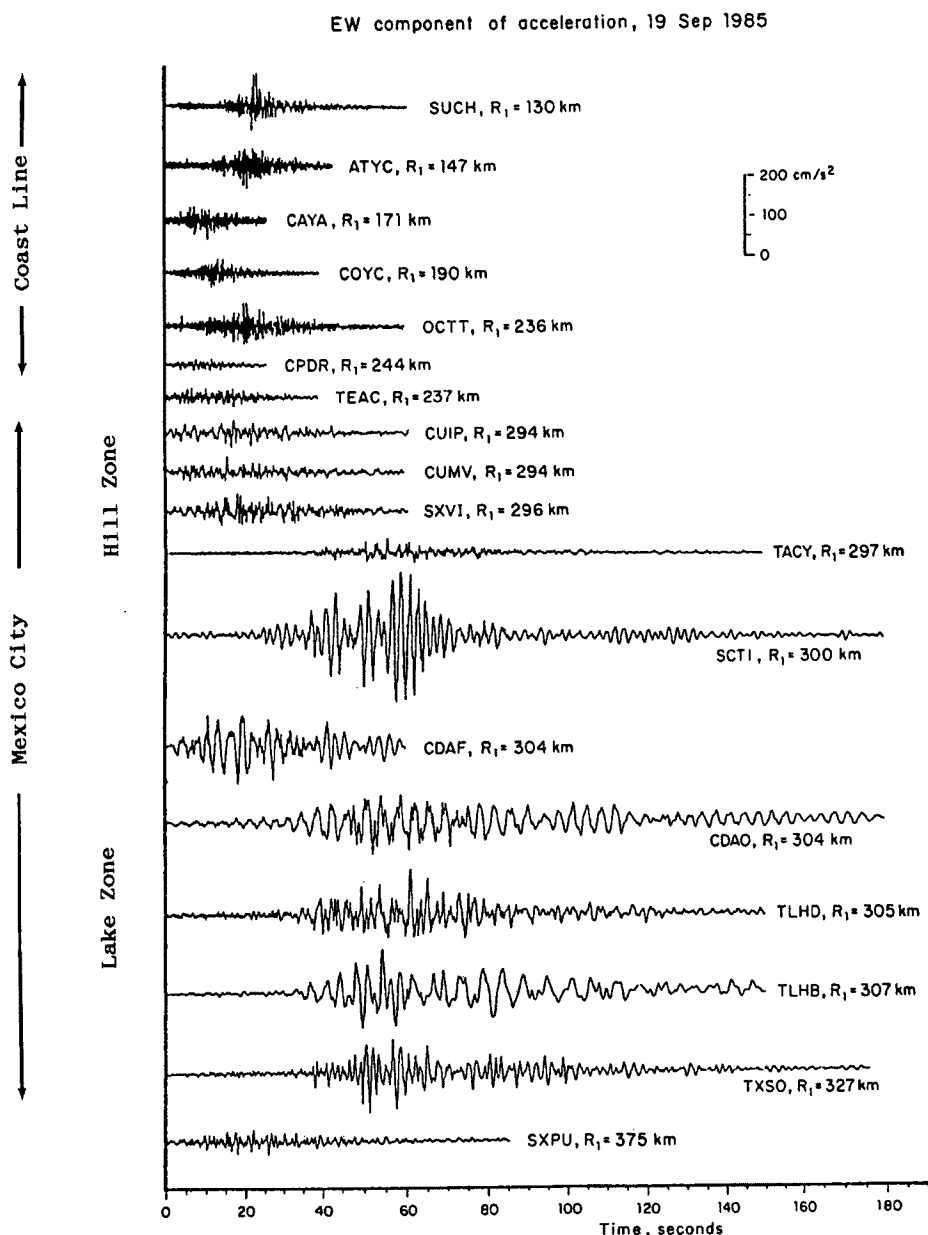


Fig. 7 Observed accelerations in the coastal area close to the epicenter and in the Mexico Valley from the 1985 Michoacan earthquake (After Singh et. al., 1987).

市中心部は旧テスココ湖の湖成層である極めて軟弱な地盤 (lake zone) で、その周囲に硬質地盤の丘陵帯 (hill zone) からなる盆地構造をしている。1985 年の地震で大被害を受けたのは軟弱な湖成層帯に建っていた構造物である。そこで軟弱地盤にある 6 観測点には、地表 3 成分観測のみならず深さの異なるボーリング孔を用いて 2 つの地中型強震計が設置され、その内 2 観測点は地震地表に加えて構造物上にも換振器が設置されている。このアレイでは、メキシコ盆地 (Mexico Valley) 全体の形状による地震動性状、軟弱な表層地質による局地的な異常増幅、構造物と地盤との動的相互作用などの研究を目的としている。

各点共加速度型換振器 3 成分記録をプリメモリー付きのトリガー方式で IC カードに 16bits のデジタルデータとして収録する強震計 (SMAC-MD) が配置されている。時刻装置は、 $10^{-6}$  の水晶時計を有し、

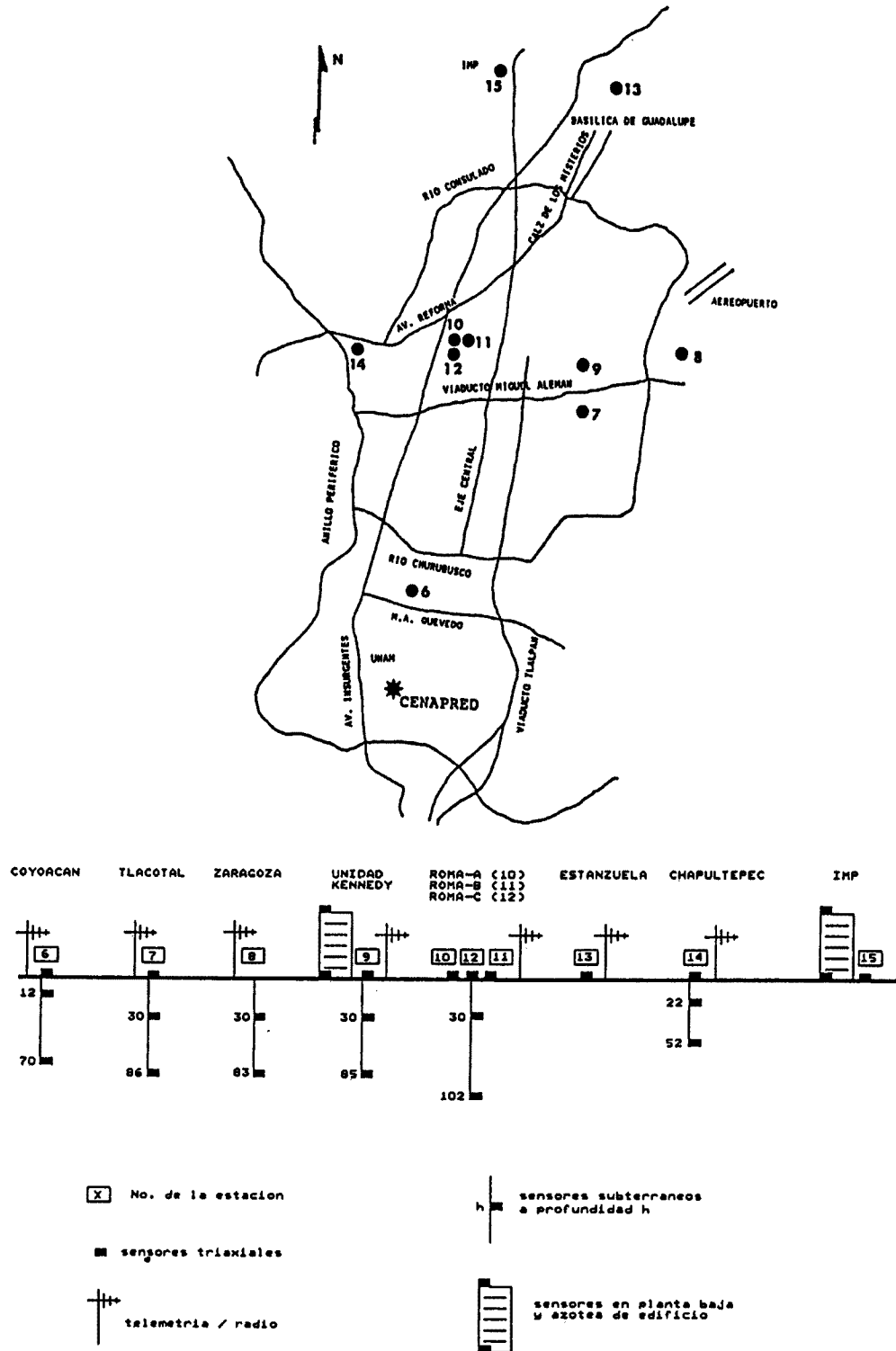


Fig. 8 Strong motion observation in Mexico city by the Japan-Mexico Joint Project. Upper: Locations of the observation stations. Lower: Vertical and horizontal array configurations at the respective stations<sup>(12)</sup>.

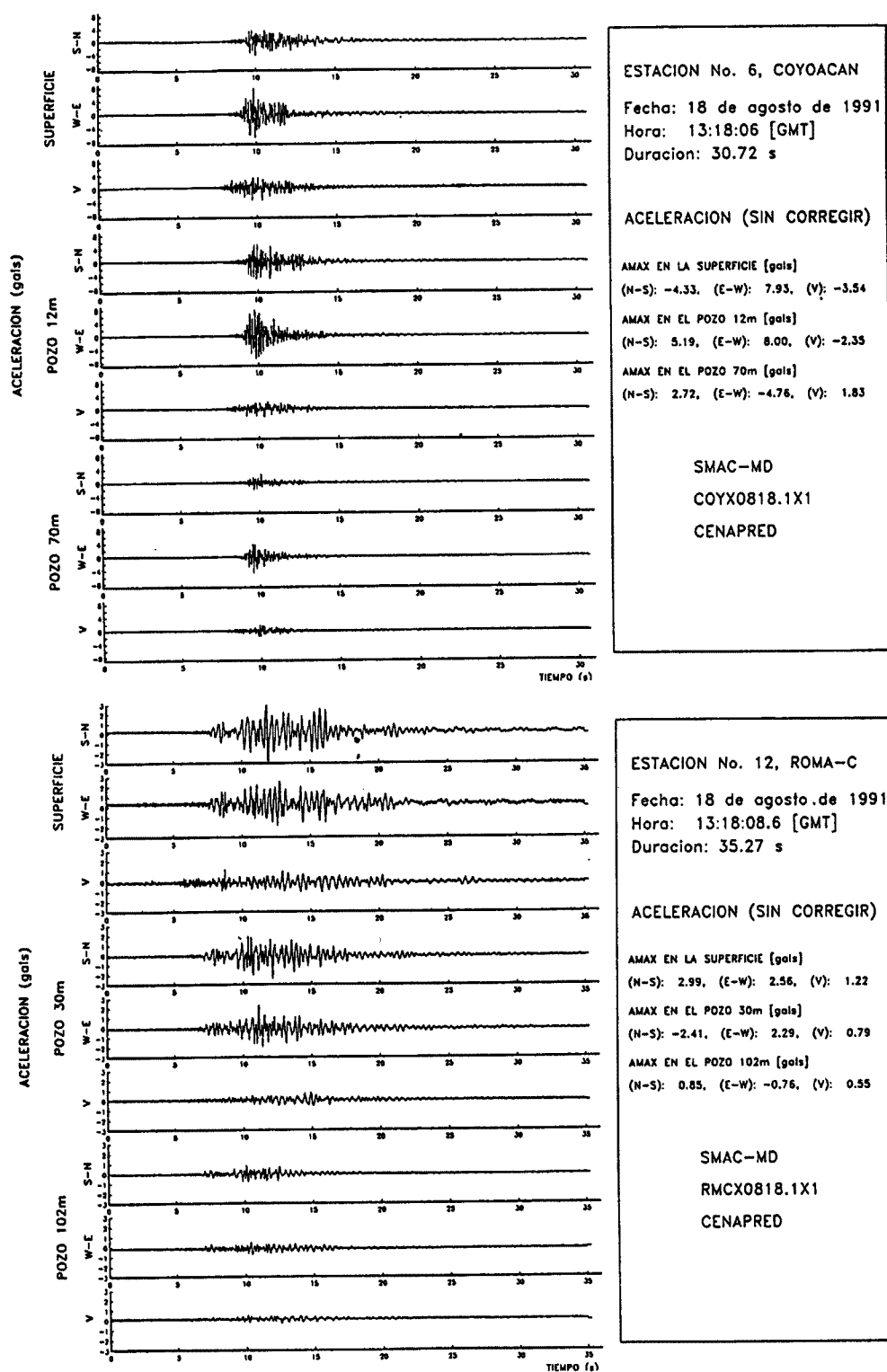


Fig. 9 Examples of observed accelerograms on surface and at depths of 12 m, 70 m in Station No. 6 and on surface and at depths of 30 m and 102 m in Station No. 12<sup>(12)</sup>.

短波で日本から送られる NHK 時報（一日 2 回 20<sup>h</sup>と 21<sup>h</sup>）で較正され、0.08 秒/日以内の総合精度のシステムからなっている。地震発生を検知し、地震動記録を収録すると、公衆回線を通じて各 3 成分の地震動の最大値が観測センターとなっている CENAPRED の親局に通報されるテレメーター装置が付加されている。

太平洋沿岸域で起こった中規模地震（M 5.5, 1991 年 8 月 18 日）をメキシコ市内の異なった地盤の地表および地中での観測例が Fig. 9 に示される。上 9 つの記録は hill zone から lake zone へ移る、いわゆる transition zone の観測点で得られたもの（地表、地中-12 m, -70 m でそれぞれ 3 成分記録）、そして下 3 つは lake zone の観測点で得られたもの（地表、地中-30 m, -102 m）である<sup>(12)</sup>。

## 6. プロジェクトにおける研究協力活動

メキシコ国立防災センターの研究部は、Fig. 4 にも示されているように、5 部門、約 35 名の研究員（内 5 名はアドバイザー）からなる。日本からの JICA プロジェクトチームは、初年度（1990 年）強震動観測・評価、耐震構造実験分野の 2 専門家とチームリーダー（建設省）、調整員、計 4 名でスタートしたが、その後建築基準、建築材料試験、強震動データベースの 3 専門家の計 7 名で活動を進めている。日常的には各専門家はメキシコ側カウンターパートと各々の分野について技術移転・共同研究を行い、5 年間のプロジェクト終了時までメキシコでの地震防災の提言をまとめることを目指している。

プロジェクトの活動内容である、研究開発、研修計画、広報普及活動の基本は、マスタープランとして、R/D に記されているが、その具体化はメキシコ側研究者との共同研究及び討議を通じて手直ししていく必要がある。プロジェクト全体の活動計画は、日常的研究活動に加えて、行政担当者も含めたメキシコ・日本の合同委員会が月 1 回開かれ、年間、月刊の計画が決められる。

メキシコは日本と同様地震国で、地震学や地震工学の分野の優れた研究者がおり、研究レベルは国際的にみて決して低くはない。しかしながら経済的困難さを反映して、1985 年の大震災の前までは、強震動観測点が少なく、観測機器も時代遅れで精度が悪いなど研究環境が悪化していた。1985 年の大震災の原因の 1 つは、近代的な高層ビルが建設される一方で、地震時の強震動評価、特にメキシコ盆地での地震動の増幅特性や構造物の応答の研究が立ち後れていたと考えられる。これらのことは研究技術開発は関連する種々の分野の総合化でなされるべきであることを示している。少人数の優秀な研究者のみでなく、種々分野についてバランスの良い、幅広い研究者の層を育てていくことが必要であろう。

ここで個人的研究活動について若干触れたい。私が赴任したのはプロジェクトの初年度であったため、日本から無償供与された強震観測機器の初期故障など種々のトラブルが続出した。そのため、その対応に追われ、研究活動のための時間が十分には取れなかったが、CENAPRED, UNAM の研究者の協力を得て次のような仕事に取り組んだ。

1. 大被害の原因の 1 つと考えられるメキシコ盆地の表層の地下構造推定のため、碎石爆破観測による屈折・反射波の同定、および常時微動のアレイ観測による位相速度決定と地下構造のインバージョンの研究。このような研究を行うための計器・機材はメキシコでは調達不可能なため、前者は東大地震研の工藤、柳沢の両氏の協力で 10 月に、後者は JICA 専門家の川瀬、大工大の堀家、東工大の瀬尾、佐間野、京大の岩田、大阪土質の香川の各氏に加え、院生の中村（現 NTT データ通信）、青井の両君の協力で 11 月に、それぞれ日本-メキシコの合同観測を実施した。メキシコではこれまでこのような研究手法は殆どなされたことがなかったので、多くの若手研究者が非常に興味を持って、この共同実験に参加した。
2. 将来の大地震に対する強震動の予測に関する研究。私が開発した小地震の記録を用いて大地震の強震動を推定する方法を、メキシコの記録で実証するため、1989 年アカプルコ地震（M 6.9）からの強震動を M 4.9 の余震の記録を用いて合成を試みた。Fig. 10 に解析に用いた観測点と震源の模式的モデルが示され、Fig. 11 に小地震からの合成震動と観測記録が比較される。合成と観測波形が極めてよく一致しており、

## Red Acelerografica de Guerrero

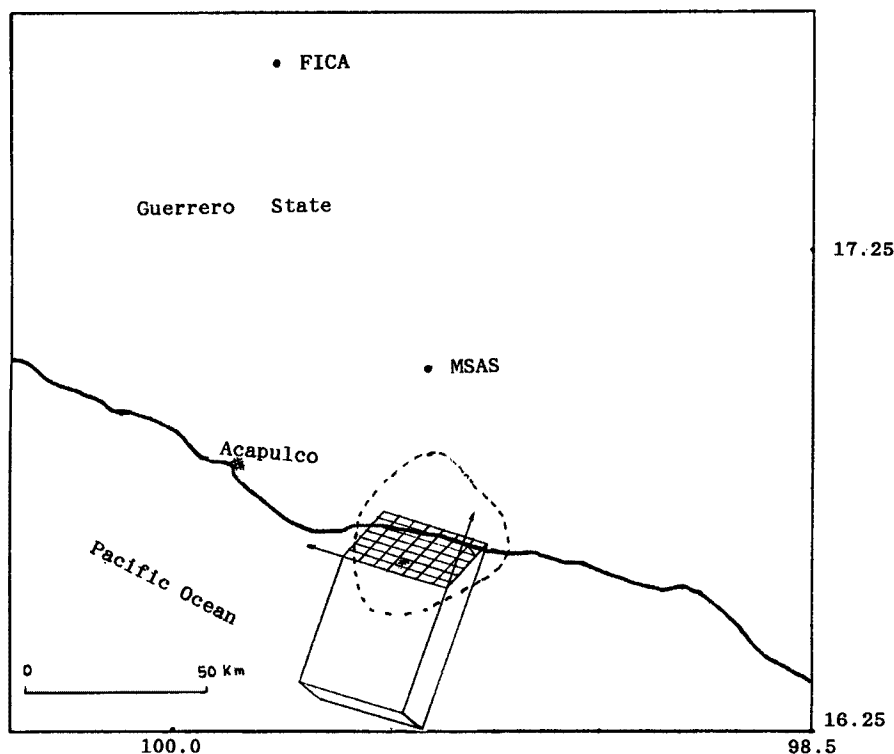


Fig. 10 The locations of the epicenter of the 1985 Acapulco earthquake (Ms 6.9) and of the observed stations, MSAS and FICA. The source model for the synthetics is illustratively shown.

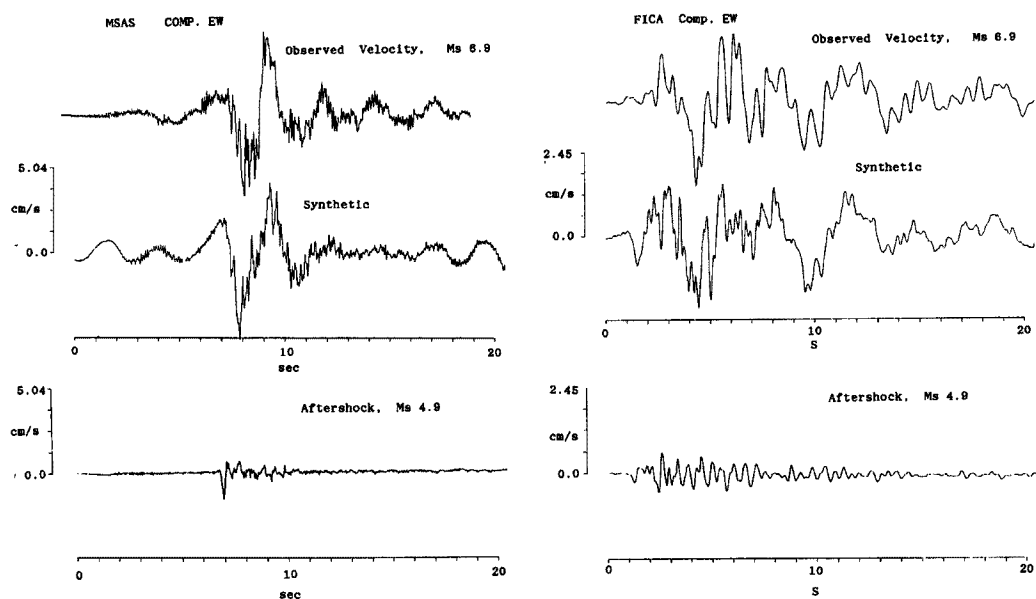


Fig. 11 Comparison between the observed and synthetic velocities in MSAS and FICA for the 1985 Acapulco earthquake. The synthetics are made using the Ms 4.9 aftershock records as empirical Green's function.

CENAPRED等の観測網で観測データが蓄積されれば今後、将来の大地震に対する強震動予測の実用化の可能性がある。

本プロジェクト発足以来、研究活動の発表とその成果の中南米への普及を目的として、CENAPREDとJICAの共同で毎年種々の国際研究集会を企画した。初年度は中南米における耐震技術を普及する上で重要なローコストハウジングの耐震技術の国際シンポジウムを開催した。1991年度は私の専門とする強震動分野の研究集会として、現在メキシコの種々の機関(UNAM、電力庁など)でなされている強震観測網の責任者を集め、メキシコにおける強震観測技術(Instrumentation)と強震動記録データベースのあり方についてのワークショップを行った。1992年度はCENAPREDの発足とその研究成果の国際的な周知を目的として、地震防災に関する国際シンポジウムをCENAPRED、UNAM、JICA、UNDROの共催で開催した。メキシコ国内、中南米のみならず、日本、アメリカ、ECからも第一線の研究者を集め、地震防災研究の到達点の発表および国際協力のあり方が討議され、その成果は3冊のプロシーディングスにまとめられ、出版された<sup>(13)</sup>。

上記のような研究活動は日本における大学での研究活動と一見は大きな差はないように思われる。研究費も大きくないが、日本の大学の経常経費並みと言える。しかしながら、このセンターは日本の資金援助で全く新しく設立されたもので、研究用図書、雑誌の蓄積がなく、また研究活動を進める上で欠かせないコンピューター設備としては、当初計画ではパーソナルコンピューターのみで極めて貧弱な点が研究開発活動や研修などの技術移転を進める上で問題があった。現在どの分野でも国際的で迅速な情報交換を基に研究開発が進められているといえるが、私の在任中、本センターはこの様な学術情報網につながついていない上、郵便も信頼性が低く、極めて遅かったり時には行方不明になったりという、研究を進める際日本やUSAにはない困難さがあった。私の在任中に研究環境改善のため、JICA、CENAPRED双方に提言したワークステーションの導入、国際学術情報ネットワーク用回線の付設がその後予算化され、1991年度に実現し、1992年から稼働している。

メキシコ地震防災に関する研究を日本・メキシコ共同で進めるには、日本の専門家が長期に渡って継続的にメキシコに滞在し、共同作業を行っていくことは必要不可欠と考えられる。大地震から生成される強震動というような自然現象はメキシコでも日本でも普遍性のあるもので、研究を進める上でメキシコにすることが決して不利とはいえず、むしろメキシコの地震を対象にした研究は現地の詳細な地質環境やデータ収録状況など研究上欠かせない情報を効率的に集められるなどの有利さがある。この意味でも大学の研究者に対してもこの様な国際協力研究活動に積極的な役割を果たすことが期待されている領域と言える。問題としては、地震防災の研究も他の分野と同様近年の技術革新と共に急速に発展させられた。その理由の1つは地震に関する各種のデータ・情報が1国に留まらず、国際的に迅速に交換され研究活動に供されてきたことにある。開発途上国へ赴くことにより、国際的な学術情報化から取り残されたり、研究を進める上で必要最低限の設備、特にコンピューター機器などが無いとなると、大学の研究者として長期の滞在は困難となるであろう。技術協力技術プロジェクトを始める時点でこの問題に特別な注意を払うことが望まれる。

## 7. お わ り に

技術協力プロジェクトに初めて参加し、かつ初年度ということもあって、問題が山積してしまい、当初の計画通りになかなか進まず、1年間のメキシコ滞在はあっという間に過ぎてしまった。最後に大学の研究者として技術協力へ関わることにより、私が感じた問題を、2,3点付記しておきたい。

JICAの技術協力プロジェクトは日本の科学技術の分野における国際的な寄与を進める上で現在最も有効な方法の1つで多くの実績もある。JICAは種々の経験を積んで、効率的な運用のマニュアルも整備されつつあるように見える。しかし技術プロジェクトをどの様に進めるべきかは固定的に捉えるべきではなく、

技協に応じ分野に応じ開拓していくことも考えておく必要があろう。なぜなら“技術”そのものが日進月歩しているものであり、時代の進歩に合わせてプロジェクト内容・あり方も当然変わらざるを得ないものといえる。例えば 10 年前に完成された“技術”をカウンターパートへ“教える”というようなことはメキシコ側から日本の技術に対する不信を持たれるのみで国際協力がかえって逆効果になると考えられる。技術協力の内容は、相手国の対象分野の技術レベルに基づき、そして相手国の要請に基づき、決めていくべきものである。メキシコ地震防災を考えるとき、我々の協力内容が国際的批判に答えられる水準のものである必要がある。各専門家及びカウンターパートの研究活動が質の高い研修を可能とする道といえる。同様の地震防災プロジェクトがトルコやエジプトで計画されており、JICA のこの種のプロジェクトはどうあるべきかの参考例を創造していくべきと考える。

本センターが日本の援助で建設されたことは地震学及び地震工学の分野においては国際的にも既に知れ渡っており、その成果が目まぐるしく進んでいるところである。世界第 1 位の援助国となった日本の技術協力は、単に援助量の拡大のみでなく、質的にも高度の水準が要求されており、このような観点から我々の技協プロジェクトを考えていく必要がある。

## 謝 辞

メキシコ国際防災センターでの 1 年間の滞在中は多くの方々の御世話になった。特に研究部長、Robert Meli 教授、観測課長、Robert E. Quaas 教授、危険度評価課長 Mario Ordaz 教授の多大な援助により、楽しく仕事をすることができた。メキシコ自治大学の Sanchez-Sesma 教授、S. Krishna Singh 教授には共同実験、研究、また生活する上で援助いただいた。建築研究所北川良和部長にはメキシコ技術協力プロジェクトへの参加を薦めて頂いたこと、清水建設大崎研究室川瀬博氏には問題山積の強震動分野の専門家を快く引き継いでくれたこと、京大名誉教授三雲健先生には研究のためにと専門家になっていただいたのに雑用が多いことをお詫びと共に感謝する。遠藤二三男リーダー（現、住宅公団）はじめメキシコ地震防災プロジェクトチームの皆様の種々の励ましと援助に感謝する。その他、多くの方々にお礼を言いたいのだが、紙面の都合により割愛させて頂く。

## 参 考 文 献

- 1) Kanamori, H., P. C. Jennings, K. K. Singh, E. Mena, and L. Asitz: Estimation of strong ground motions in Mexico City expected for large earthquakes in the Guerrero Seismic Gap, Proc. 10th World Conference Earthquake Engineering, Vol. 8, 1988, pp. 42-48.
- 2) Singh, S. K., L. Astiz and J. Havskov: Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 71, 1981, pp. 827-743.
- 3) Anderson, J. G., P. Bodin, J. N. Brune, J. Prince and S. K. Singh: Strong ground motion and source mechanism of the Mexico earthquake of September 19, 1985 ( $M_s=8.1$ ), Science, Vol. 233, pp. 1043-1049.
- 4) Bilham, R.: Earthquakes and urban growth, Nature, Vol. 236, 1988, pp. 625-626.
- 5) United Nations: Prospects of world urbanization, New York, 1989.
- 6) Tucker, B. E.: An analysis of the past and some options for the future of our international experiments on effects of surface geology on seismic motion, Proc. International Symp. Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Vol. 1, 1992, pp. 3-8.
- 7) 理科年表（机上版）, Vol. 65, 1992, pp. 857-874.

- 8) メキシコ・地震防災センター設立計画－地震災害から人々の明日を守る－, 国際開発ジャーナル, No. 405, 1990 年 11 月, pp. 48-57.
- 9) CENAPRED published by Coordinacion de Defusion, Centro Nacional de Prevencion de Desastres (CENAPRED), Febrero 1991, Mexico D. F.
- 10) Informe de Actividades 1991, Coordinacion de Investigacion, CENAPRED, Mexico D. F.
- 11) Singh, S. K., E. Mena, and R. Castro: Some aspects of source characteristics of the 19 September 1985 Michoacan earthquake and ground motion amplification in and near Mexico City from strong motion data, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 78, 1988. pp. 451-477.
- 12) Quaas, R. W., K. Irikura, E. Guevara, R. Gonzalez, R. Lopez and S. Medina, La red de observacion sismica del CENAPRED resumen de los datos registrados en 1990 y 1991, Memorias del 1X Congreso de Ingenieria, Oct. de 1991, Manzanilla, Mexico, Vol. 1, 1991.
- 13) Proc. International Symposium on Earthquake Disaster Prevention, Vol. I, II, III, CENAPRED-JICA, Mexico City.