

# 速報

# 2001年インド・グジャラート地震の総合的調査研究

文部科学省2001年インド・グジャラート地震調査団\*

## Preliminary Report on the Gujarat, India, Earthquake of 26 January 2001

### Abstract

A devastating earthquake with  $M_w$  7.7 rocked the Kachchh District, Gujarat State, India on January 26, 2001. This earthquake was the most deadly in India's recorded history. As of March 20, about two months after the earthquake, official figures from Government of India placed the death toll at 20,005 with 166,000 injured and 247 missing. The number of destroyed houses is estimated at 370,000 and damaged houses at 920,000 with 600,000 people left homeless. Because of the compressional stress resulting from India's northward collision with Asia, the Kachchh Peninsula has a long history of strong earthquakes. The Monbu-Kagaku-sho (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) in Japan dispatched a survey team to Gujarat for investigating seismological aspects of this earthquake and evaluating the earthquake damage. This is a preliminary report by the survey team. A final report that contains more detailed information will be published in the near future.

キーワード：2001年グジャラート地震，2001年ブージ地震，地震災害，プレート内地震

Key words：2001 Gujarat earthquake, 2001 Bhuj earthquake, Earthquake disaster, Intraplate earthquake

### 1. 調査団の構成と調査項目

2001年1月26日，パキスタンとの国境に近いインド西部で大地震 ( $M_s$  7.9) が発生し，文部科

学省は2月16日に平成12年度特別研究促進費研究「2001年インド西部大地震の総合的調査研究」を立ち上げ，調査団を結成した。調査団（代

\* 本稿のとりまとめ：佐藤魂夫（弘前大学工学部）  
Editor: Tamao SATO, Faculty of Science and Technology,  
Hirosaki University

本報告に対する討論は平成13年12月末日まで受け付ける。

表：佐藤魂夫・弘前大学) はインド側の共同研究者 4 名を含む 18 名からなり、調査項目別に以下の 4 グループで編成された。

(1) GPS 観測班—地震後の地殻変動の観測調査：宮下芳 (茨城大学), 加藤照之 (東京大学), G. Lakhina (インド地球電磁気学研究所)

(2) 地表地震断層調査班：中田高 (広島大学), 佐藤比呂志 (東京大学) 吉岡敏和 (産業技術総合研究所, 旧地質調査所), J.N. Malik (広島大学大学院・日本学術振興会外国人特別研究員)

(3) 余震観測班：佐藤魂夫 (弘前大学), ジェームズ・J・モリ (京都大学), 根岸弘明 (防災科学技術研究所), R. P. Singh (カンパール工科大学)

(4) 被害調査班：濱田政則 (早稲田大学), Venkataramana Katta (鹿児島大学), 澤田純男 (京都大学), 村上ひとみ (山口大学), 林康裕 (京都大学), 久田嘉章 (工学院大学), D.K. Paul (ルーキー大学)

この他, 下記のメンバーが研究協力者として現地での観測調査に参加した。青木陽介・日黒公郎・上半文昭 (以上, 東京大学), 今泉俊文 (山梨大学),

C. D. Reddy (インド地球電磁気学研究所), S. Kumar・G. Philip・A. K. Mahajan (以上, ワディアヒマラヤ地質学研究所), S. Pareek (日本大学), R. N. Dubey・A. Kumar (以上, ルーキー大学), P. K. Ramancharla (東京大学大学院・博士課程), K. V. Kumar (茨城大学大学院・博士課程), R. V. Karanth (パロダ大学・修士課程)。

現地における観測調査は 2 月 18 日から 3 月 13 日にかけて, グループ別に異なる日程で実施された。現在, 調査資料の整理・分析の途中であるが, 本報告ではその速報をお伝えする。なお, 調査団ではホームページ (文部科学省 2001 年インド・グジャラート地震調査団, 2001) を開設し, 観測調査の最新情報を公開している。ここでは紹介できなかった写真等も数多く掲載されており, 併せて参照頂きたい。

## 2. Gujarat (グジャラート) 地震の概要

この地震は 2001 年 1 月 26 日の現地時間午前 8 時 46 分, インド西部 Gujarat 州の Kachchh (カッチ) 地方で発生した (図 1)。甚大な被害は

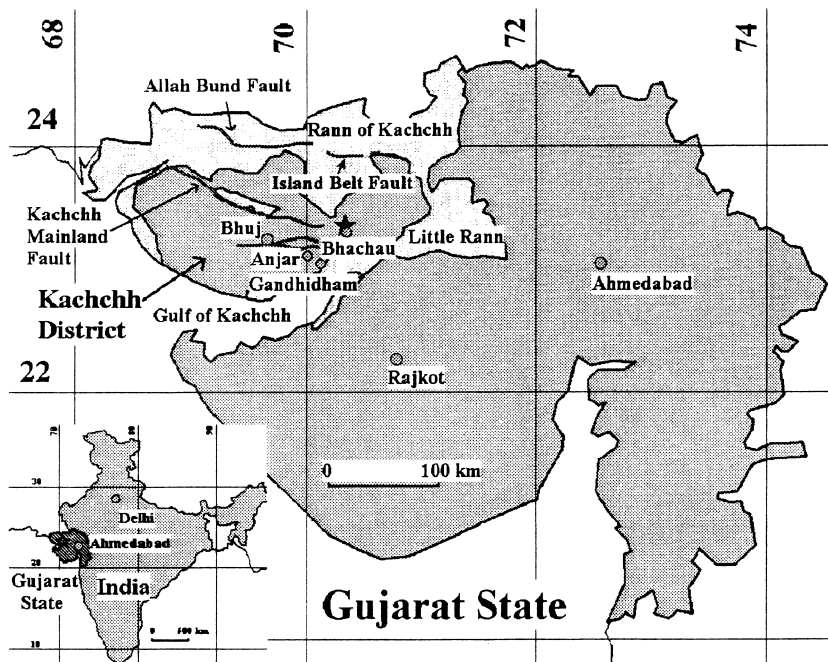


図 1 震源域 Gujarat 州の地図。★は震央の位置

Bhuj (ブージ), Anjar (アンジャール), Bhachau (バチャオ) などの主要都市を含む東西 150 km, 南北 50 km の範囲に及び, 3月20日現在のインド政府の発表 (Government of India, 2001) によれば, 死者2万名, 負傷者16万6千名 (うち重傷2万717名), 全壊家屋37万戸, 半壊家屋92万戸, 被災総額2126億ルピー (約6千億円) に達している。なお, この地震はグジャラート地震という呼び名の他に, カッチ地震, あるいは大きな被害が目されたブージ市の地名からブージ地震などと呼ばれている。

IRIS 発表によれば, 震源は北緯 23.40 度, 東経 70.32 度, 深さ 23.6 km, 地震の規模は  $M_w$  7.7 である。震央は汎地球的視野で眺めるとインドプレート, ユーラシアプレートおよびアラビアプレートの3重会合点の付近に位置するが, 少し視野を狭めて見るとプレート境界から 500 km も離れており, 狭義のプレート内地震と見なすことができる。地震波のデータから得られた震源メカニズム解 (Yagi and Kikuchi, 2001) は逆断層型で, 最大圧縮軸の向きがインド亜大陸の北進運動 (Minster and Jordan, 1978) の方向と一致することから, この地震はインドプレートの北進運動に起因するインドプレート内の変形によって生じたものと考えられる。インド亜大陸は安定地塊というイメージが一般的ではあるが, 震源域となっ

たカッチ地方では過去にも 1819 年のカッチ地震 ( $M$  7.8), あるいは 1956 年のアンジャール地震 ( $M$  7) などの被害地震が発生しており, インドにおいては北部のヒマラヤ地方を除けば, 唯一, 最も地震危険度の高い地域に格付けされている (Government of India, 2001)。地質時代を遡ると, この地方はインド亜大陸がアフリカ・南極大陸から分離・移動する際に形成された東西にのびるリフト系内に位置し, リフト内にはジュラ紀・白亜紀の陸成・浅海性の堆積層が分布する (Biswas, 1987)。これらの堆積岩はインド大陸のユーラシア大陸への衝突・付加プロセスの中で短縮変形を被り, 正断層から逆断層への反転運動によって隆起し, 現在では山地・丘陵をなしている。1819 年カッチ地震, 1956 年アンジャール地震, および今回の 2001 年グジャラート地震などの大地震はこのような短縮変形が現在でも継続していることの証として解釈される (Chandra, 1977, Gowd *et al.*, 1996)。

### 3. 地変と震源域の活断層

震源域周辺では被害域に近接した Kachchh Mainland Fault (カッチ・メインランド断層) や, その北方 40 km に位置する Allah Bund Fault (アラー・ブント断層) および Island Belt Fault (アイランド・ベルト断層) など, 東西走向のいく

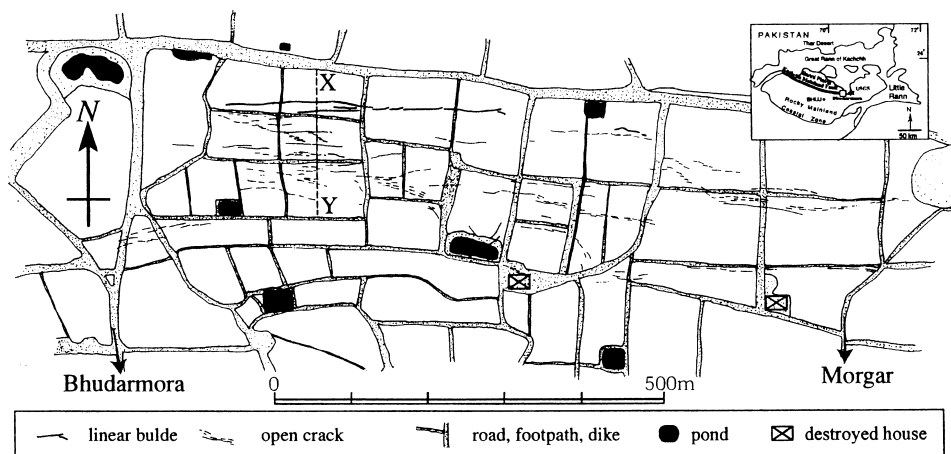


図2 ブダモラ村北部に出現した地変。GPS を利用した簡易測量と航空機からの観察をもとに作成。図中の X・Y 断面の北部でトレンチ掘削を行った

つかの活断層が推定されている (Malik et al., 2000) (図 1)。今回のグジャラート地震はその規模 ( $M_s$  7.9, USGS) や震源が比較的浅かったこと、また既存の活断層が知られていることから、地表地震断層が出現した可能性が高いと判断し、現地調査を 2 月 28 日～3 月 4 日にわたって行った。調査は、カッチ・メインランド断層周辺での小型航空機を使用した空中からの観察と、地上における地変・変動地形調査、さらにすでに応用地質 (株) の調査チームによって報告がなされていた推定活断層沿いの亀裂・プレッシャーリッジについてのトレンチ掘削である。

地上および空中からの調査では、液状化と関連した亀裂以外の地表地震断層と特定できる断層は見いだせなかった。主として衛星写真から活断層と推定されていたカッチ・メインランド断層については、地表踏査の結果、山麓部の段丘面を累積的に変位させた活断層の存在が確認されたが、今回の地震の際には活動しなかったことが明らかになった。

ブージの東北東約 50 km に位置するブダモラ村付近 (北緯 23.34 度, 東経 70.20 度) では、推定された活断層と関連する地塁状の高まりの北縁に沿って、地震に伴って幅南北数 100 m, 長さ東西約 1 km にわたって開口亀裂やプレッシャーリッジが形成された (図 2)。この地変の性格を解明するために、マッピングと地形断面測量およびプレッシャーリッジのトレンチ調査を実施した。この地変は、北に傾斜する斜面に生じたものであるが、南側の無数の開口割れ目とその北に発達する直線的に延びる東西性の高まりからなる。図 2 の X-Y 断面を測量し、数 cm から 25 cm に及ぶ亀裂の開口幅を計測した結果、南側の地面は少なくとも 3.5 m 伸張し、北へ移動したことが明らかとなった。一方、プレッシャーリッジを横切ってトレンチを掘削し、断面を観察した (図 3)。トレンチ壁面に露出する砂層は、粗粒～中粒砂が主であるが、細粒な粒子を多く含む。トレンチ A では Thin-skinned tectonics を示す典型的な fault-bend fold (断層折れ曲がり褶曲) が認められ、地表から約 1 m の地層が、南側から北側へ乗り上がるよ

うに移動し高まりを作っている。トレンチ B では、南からすべり動いてきた地層が、北側の地表をブルドーザーで押し動かすように変形し、複雑な構造を示す堤防状の高まりを形成している。このような高まりの形成から求められる短縮変形量はトレンチ A で約 1.2 m, トレンチ B で約 1.3 m と推定される。トレンチサイト周辺での波状の変形を勘察すると、短縮量は南側の開口割れ目の伸張量とおおむね等しくなり、これらの地変は地震動に伴って大局的には斜面上の表層近傍で発生した地滑りによるものと理解できる。しかしながら、一般的な地滑りで見られるような円弧状の開口割れ目ではなく、東西方向の直線的なものが多く、局地的ではあるが、開口割れ目にそって単純な地滑りでは説明しにくい数 10 cm の右横ずれ変位が認められることは注目される。

後で述べる余震観測の結果から判断して、グジャラート地震の震源断層はカッチ・メインランド断層ではなく、その北方にほぼ平行するアイランド・ベルト断層などの地下延長部で発生した可能性が高く、今回の地震は大規模ではあったが、震源断層が地表まで到達しなかった可能性が高い。

地割れや液状化の跡は被害域周辺で数多く見られたが、その中で最大のものは GPS 観測班が Rapar (ラパール) から南西に約 20 km (北緯 23.47 度, 東経 70.43 度) の地点で遭遇した長さ約 200 m, 深さ 6～7 m の地割れである (写真 1)。この周囲にはこの他に地割れが何ヶ所があった。ここは小高くなっていて、北東-南西に伸びた堰堤のような形状をしている。南東側には直径 500 m ほどの小さな湖があり、この土手が中央から割れて半分が湖の方に向かって倒れ込むように割れていた。深さ 6～7 m の割れ目に入って断面を見ると、赤茶けた乾燥土壌の堆積層になっていた。

また、写真 2 は GPS 班が観測点間の移動中、ブージから北東に約 25 km 付近で見つけた液状化によると思われる地下水の噴出跡である。一帯は砂漠化していたが、噴出跡の周りでは塩水が吹き出っていて、水分の乾いたところは塩分で白くなっていた。この地域は一年が雨季と乾季に別れており、

6月頃に始まる雨季にはぬかるみになる。しかし、2月は乾季であるため地表は乾いて砂漠状になっていたが、地下水位は意外と高いのかもしれない。地元の話では、地震時に噴出跡では1.2mほど水が吹き上がったそうである。噴出圧はその後次第に低下したが、2月19日の観察時点でも水の湧き出し口が存在して水の流出が続いていた。

なお、地震発生前後のリモートセンシング画像の解析によれば、液状化はパチャオの北側に広がる Rann of Kachchh の広い範囲にわたって分布している (Singh, 2001)。

#### 4. 余震分布

余震観測班は、詳細な余震分布から本震断層の

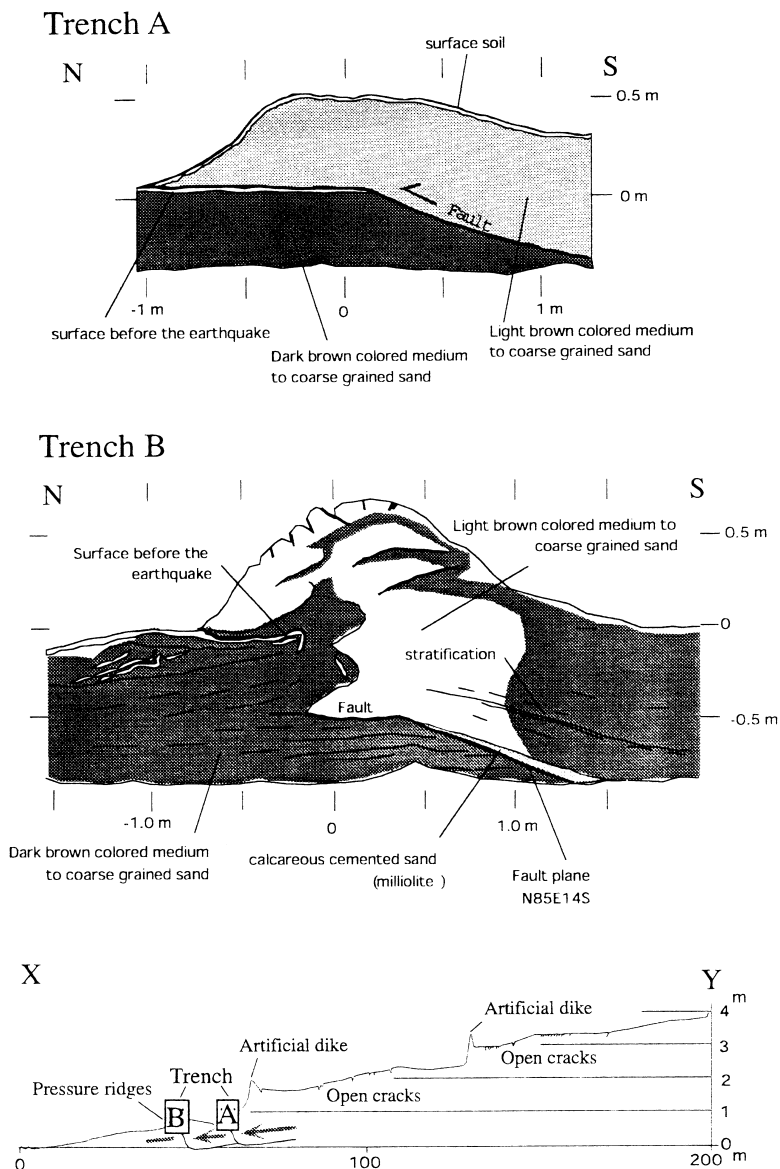


図3 地震に伴って形成された短縮性構造のトレンチ断面。断面の場所は、下の X・Y 地形断面図中に示す。小規模な断層折れ曲がり褶曲をなし、幅の狭い高まりを形成する

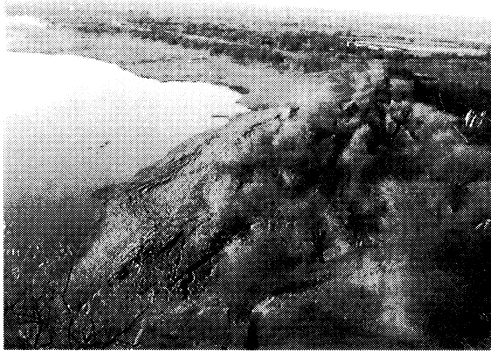


写真1 近くの丘から俯瞰した地割れ



写真2 液状化により、砂漠の真中に出現した地下水の噴出跡

位置、大きさおよび形状を決定することを主な目的として、現地でも余震観測を行なった。日本からは8観測点分の余震観測機材(1 Hz・3成分・連続観測用5式および2 Hz・3成分・トリガー観測用3式)を持ち込み、パチャオからラパールにかけての東西40 km、南北70 kmの領域に重点的に展開した(図4)。換震器は8観測点の半分が野外の岩盤上、残りの半分が民家の離れにある物置小屋等のコンクリート床の上に設置された。観測点の設置は2月27日から28日にかけて行われ、観測は3月6日まで継続された。余震の観測波形の1例を図5に示す。P波・S波とも明瞭に見える他、上下動成分には顕著な変換波とみられる相がいくつかあり、この地域の地殻構造がかなり複雑であることを示唆している。

現在、観測した余震の震源決定は6割方終了し、

図4にその途中結果を示す。用いた地震波速度構造(表1)は暫定的なもので、今後検討を加える必要がある。したがって、図4の余震分布も暫定的な結果となるが、以下の特徴は大きく変わらないと判断される。すなわち、余震は $23.3^{\circ}\sim 23.7^{\circ}\text{N}$ 、 $70.1^{\circ}\sim 70.5^{\circ}\text{E}$ 、および深さ10~35 kmの範囲に分布する。余震域の面積は東西の走向方向に約40 km、南北の傾斜方向に約40 kmとなっている。これは地震波データから推定される断層面積(Yagi and Kikuchi, 2001)に比べると、走向方向の長さが10 kmほど小さいが傾斜方向の幅はほぼ同じである。地殻内の大地震としては走向方向の長さ比べ、深さ方向の幅の大きいことが特徴といえよう。地表で観察された亀裂や地滑りなどの地変の多くはこの余震域内に存在し、震度分布の等震度線は余震域を中心に同心円上に広がっている(Narula and Chaubey, 2001)。また、本震の震源(IRIS)は余震域のほぼ中央に位置し、その周囲では余震が少ない傾向が認められる。

余震の深さ分布を南北の断面で見ると、全体的に傾斜角約 $45^{\circ}$ の南傾斜の面が見える。このことから、地震波データから得られた震源メカニズム解の2つの節面のうち、南傾斜の高角の節面が断層面と推定される。また、余震の深さが10~35 kmに分布していることから、本震の主要なすべりは地殻の下部に存在し、断層は地表には突き抜けなかったと考えられる。現在までに地震断層が地表で観察されていないのはそのためであろう。主要なすべりが地殻の下部領域で発生したとすれば、今後、大陸の下部地殻の破壊・流動特性を考える上での重要な観測事実を与えることになる。

図6はIMD(インド気象局)による余震の日別頻度を示す。この期間に発生した最大の余震の規模は本震の2日後に発生した $m_b$  5.9(USGS)である。本震の規模に比べ、最大余震の規模が小さいことが特徴である。これが幸いして、余震による顕著な2次災害は報告されていない。なお、今回の地震については前震の報告は全くない。USGS/NEIC(PDE)カタログによれば、図4で示される領域で1973年以降、本震直前までに発生した地震は1982年7月18日に発生した $m_b$

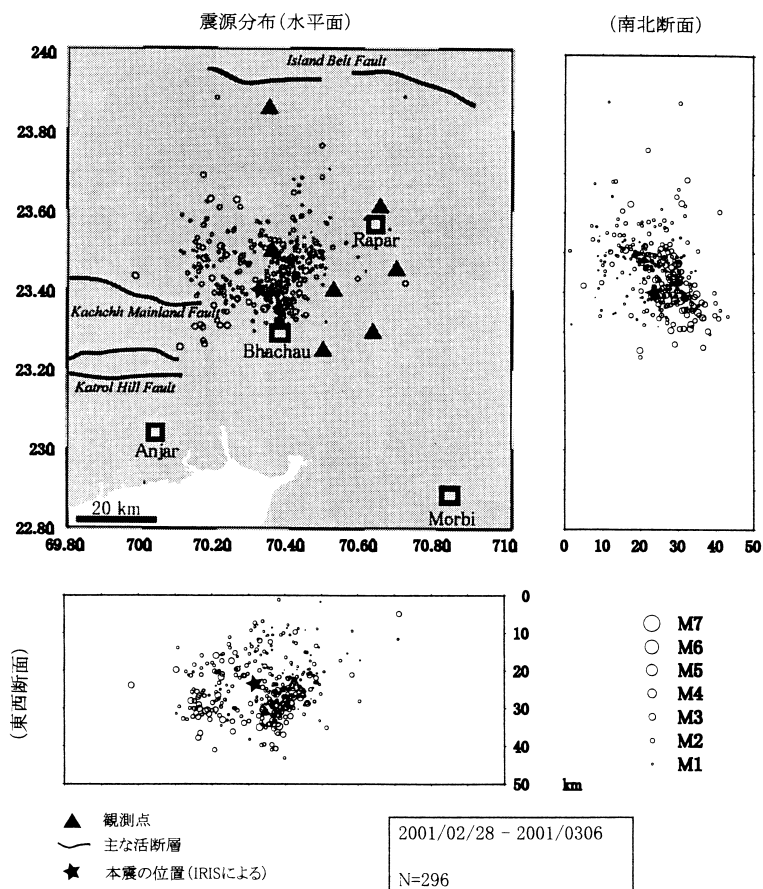


図4 臨時の余震観測による余震分布 (2001年2月28日-3月6日)

4.8の地震1個(北緯23.34度, 東経70.61度, 震源の深さ33km)だけである。

### 5. 地震後の地殻変動のGPS観測

全地球測位システム(GPS)を用いて地震後の地殻変動の様子を時間的, 空間的に明らかにすることが出来れば, 地下に発生する地震後の変形・流動プロセスが明らかになり, プレート内で発生する大地震のメカニズムについての理解が一層進むことになる。GPS観測班はそのような観点から, インド地球電磁気学研究所(IIG)と共同でGPS観測を2月上旬より開始した。まず, 日本滞在中の2名のインド人がGPS受信機3セット(Trimble社製4000SSI型)を携え2月4日に, さらに4セット(同社製4000SSE型)を携えた

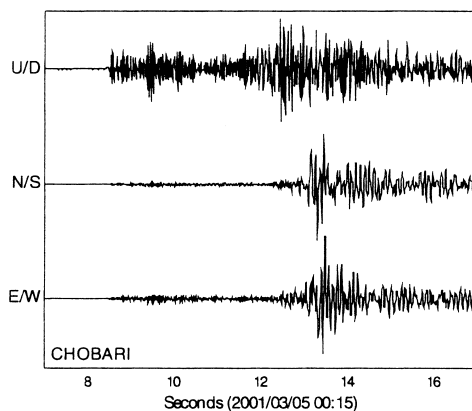


図5 余震の波形記録(CHOBARI観測点)

日本人3名が2月18日に, それぞれ日本を出発し現地に入った。ボンベイにあるインド側の共同

研究機関の IIG は、1993 年 Latur 地震 ( $M 6.2$ ) を契機として、複数台の GPS 受信機を保有しており、今回の地震に際しては 7 台 (Trimble 社製 4000 SSI 2 セットおよび Leica 社製 SR 299 型 5 セット) を出動させたため、合計 14 台を震源域に展開することになった (図 7)。

選定した観測点 (たいていは建物の屋上) では、ドリルで穴をあけボルトを埋め込み固定することで、再観測が可能な観測点仕様にした。固定されたボルトに整準盤を取り付け、アダプタ、およびアンテナを装着した。全ての観測点で、30 秒サンプリングで毎日 24 時間の観測を行った。これにより 1 日ごと、もしくはそれより短い時間分解能で各観測点の座標を知ることができる。地震後の余効変動調査には、できるだけ多くの観測点で連続的に長期にわたって観測を実施することが必要であるが、残念ながら人力、資力に限界があり、また、受信機を放置することは安全の面からも好

ましくないと思われたので、3 月のはじめには一旦観測を中止し GPS 受信機は引き上げられた。

全 14 観測点で 24 時間連続観測された期間は、2 月 22 日から 3 月 2 日までの 9 日間であった。現在、観測点間の基線解析を実行中であるが、その一例を図 8 に示す。これは、観測点 S 8 (Lodai) と S 11 (Ratanpar) (図 7 参照) とを結ぶ基線ベクトル (基線長約 70 km) の南北成分、東西成分、鉛直成分、基線長成分のそれぞれについて、6 時間毎の値をその推定誤差と共に示したものである。鉛直成分の推定誤差はやや大きいものの、その他の成分については 0.2 ppm 程度以下で推定されている。第 2 回目の GPS 観測は 5 月の中旬に実施する予定であるが、これにより具体的な余効変動量分布が明らかにされるであろう。今後何度か現地観測を繰り返し実施する予定である。日本近辺で発生した  $M 8$  クラスの地震では余効変動が数十年にわたって続いた場合もあり、長期的な観測体制が望まれる。

表 1 震源決定に用いた地震波速度構造

Layer No.	Depth to Layer Top (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)
1	0	5.78	3.34
2	20	6.58	3.80
3	38.7	8.19	4.73
4	100	8.30	4.80

## 6. 被害の概要

冒頭で述べたように、今回の地震による人的被害は死者 20,005 人、負傷者 166,000 人 (うち重傷 20,717 人)、行方不明 247 人に上る。家屋被害 (表 2) は全壊家屋 37 万戸、半壊家屋 92 万戸、

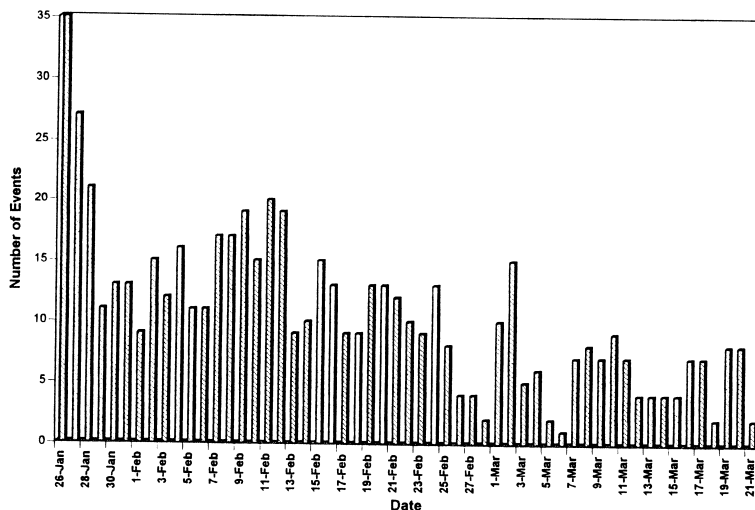


図 6 インド気象局 (IMD) の観測による日別余震回数



被災総額 2126 億ルピー (約 6 千億円) という大災害となった。1999 年トルコ・コジャエリ地震の死者 15,466 人, 大破・崩壊住戸 6.0 万戸, 中破住戸 5.9 万戸 (文部省 1999 年トルコ・コジャエリ地震調査団, 1999) を上回る規模の被害であったことがわかる。

### 6.1 調査の概要

被害調査班は 3 月 5 日から 3 月 11 日まで, 図 1 に示す地域で調査を実施した。震央距離約 250 km にも関わらず大きな被害を生じた Ahmedabad (アーメダバード) 市で建物被害調査や建物・地盤の微動観測を行い, 同時にグジャラート州の州都 Gandhinagar (ガンディナガル) における州政府の対応などに関する情報収集を行った。3 月 6 日～9 日の期間は震源域であるカッチ地方を中心に行動した。主な調査内容はブージ市や大被害を受けたその周辺の市・村における各種建造物の被害調査, MSK 震度調査, アンケート震度調査, Gandhidham (ガンディダム) 市における建物・地盤の微動観測および全戸調査 (約 150 棟), 建築材料の収集, などである。11 日に首都 Delhi (デリー) の政府機関, および Roorkee (ルーキー) 大学を訪問し, 12 日にデリー

を発ち 13 日に帰国した。

### 6.2 地震危険度・地震動

地震活動および歴史地震をもとにインド政府はサイスミック・ゾーネーション・マップを作成しており, カッチ地方は最も危険度の高いゾーン 5 に分類されている (Government of India, 2001)。ちなみにアーメダバード市はゾーン 3 である。

インドにおける強震観測はルーキー大学やインド気象局で行われている。ただし観測点はヒマラヤ地方が中心であり, 今回の地震では震源地に最も近い観測点はルーキー大学によるアーメダバード市のみであった。加速度強震計は市内の Passport Office Building の裏にある 9 階建 RC 造アパート内に設置されており, 最大加速度は地階で約 100 gal, 最上階で約 300 gal 程度である (Roorkee University, 2001)。

表 2 家屋被害総数 (単位, 千戸)

	Pucca 恒久住宅	Kachcha 非恒久住宅	Huts 小屋	Total 合計
Fully destroyed	187	167	16	370
Partially destroyed	501	387	34	922
Total	688	554	50	1292

Ref.: Gov. of India, Krishi Control Room, 20 Mar 2001 report  
<http://www.ndmindia.nic.in> Unit = thousand

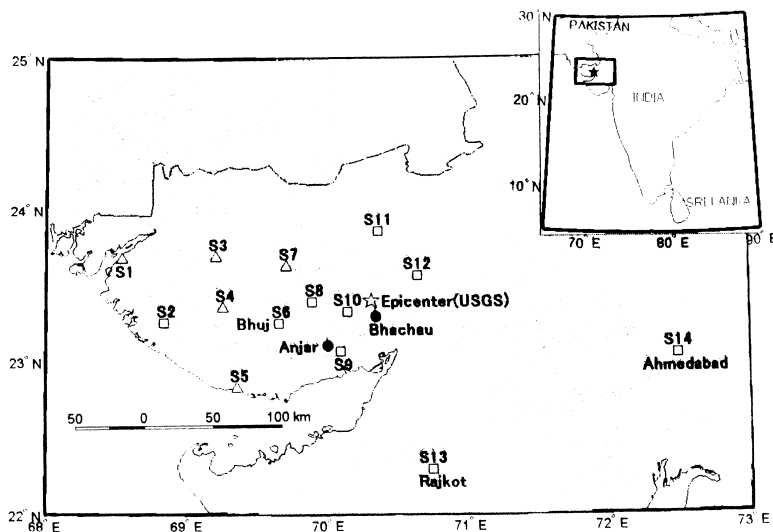


図 7 GPS 観測点 (S1～S14) の分布図。□は Trimble 社製受信機の観測点, △は Leica 社製受信機の観測点を示す。☆は USGS によって決められた本震の震央位置を示す

6.3 被害分布

グジャラート州において人的被害（死者 20,005 人）の 92 % (18,416 人) がカッチ地方で発生した。アーメダバード地方（人口 580万人）の中心アーメダバード市では、ピロティ形式の中低層（約 60 棟）及び高層 RC 造（3 棟）に被害が集中し、約 750 名が亡くなっている。アーメダバード市では最大加速度が 100 gal 程度とさほど大きく

なかったにも関わらず、このような被害が発生した背景には、インドでは耐震規定があるものの強制でないため、新しい公共建築物を除いてほとんど考慮されていないという事情がある。

表 3 に震源域であるカッチ地方の被害統計を示す。RC 造被害に加え、Kuchcha（カッチャ：アドベ壁藁葺きなど非恒久住宅）や Pucca（パッカ：レンガ造、組積造など恒久住宅）と呼ばれる脆弱

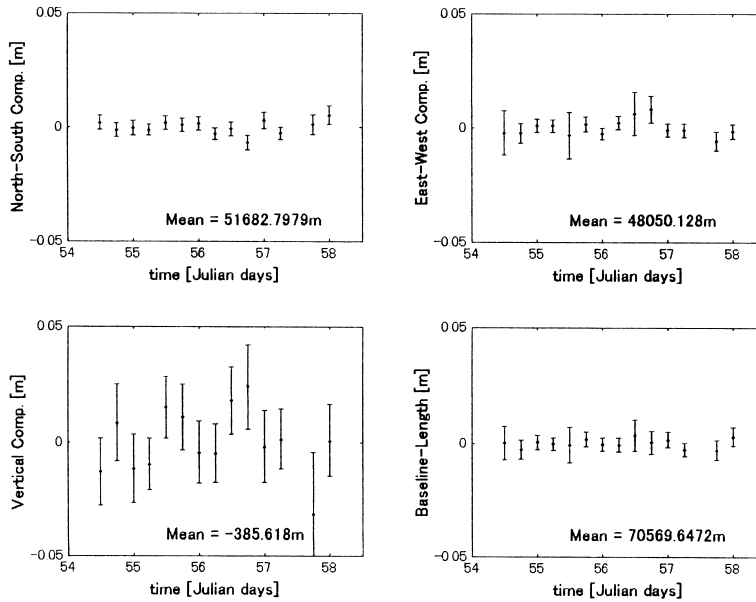


図 8 観測点 S8 (Lodai) と S11 (Ratanpar) を結ぶ基線ベクトルの 6 時間毎の解析結果。平均値に対する増減を示す。平均値は図中の下方に示されている。横軸は Julian day

表 3 カッチ地方の郡別被害統計

Taluka name	House-holds	1991 Population	Number of Dead	Dead %	Collapsed Pucca %: #3	Collapsed Kuchcha %: #3	Epic. Dist., km
郡名	世帯数	1991年人口	死者数	死者%	恒久住宅倒壊率%	非恒久住宅倒壊率%	震央距離 km
BHUJ	55486	277215	4503	1.62	57	67	68
MUNDRA	13945	68652	65	0.09	77	85	85
MANDVI	27876	146034	72	0.05	49	83	118
ABDASA	17070	86402	19	0.02	22	23	152
LAKHPAT	7416	36759	2	0.01	16	8	162
NAKHATRANA	21610	116944	23	0.02	12	26	108
RAPAR	24273	150517	732	0.49	69	91	38
BHACHAU	22944	114759	7424	6.47	95	95	12
Anjar #1	32176	160640	4702	2.93	77	81	43
Gandhidham:#2	20743	104585	861	0.82	45	54	43
Total	243539	1262507	18403	1.46	59	63	

#1: ANJAR Taluka except for Gandhidham ガンディタム市を除くアンジャ郡

#2: Gandhidham city area

#3: Pucca and Kuchcha damage statistics in villages from UNDP web page

な伝統的な組積造家屋に被害が集中し、18,403人の死亡者が出ている。特に震央距離12kmのバチャオ郡(バチャオ市とその周辺町村)で最も被災度が高く、ここだけで全死者数の3分の1以上に相当する7,424人が亡くなり、死亡率が6.4%に達している(Government of India, 2001)(図9)。町村部のPucca家屋倒壊率でもバチャオが95%と最も高く、アンジャール, Mundra(ムンドラ)の77%がこれに次ぐ。震央距離に対する家屋の倒壊率(図10)には、ばらつきはあるものの明らかな減衰傾向が認められる。

UNDPの情報(UNDP BHUJ, 2001)によると、カッチ地方の犠牲者の69%が市部で、31%が町村部で発生した。1991年国勢調査によるとカッチ地方の市部人口が387,857人(31%), 町村部人口が874,650人(69%)と報告されており、地震の犠牲者と国勢調査の割合が逆転している。市部の死亡率が高くなる背景として、多層階の住宅・アパートが多く犠牲者が増えたこと、家屋の倒壊により街路も埋まり救助が難しかったことなどがあげられる。

カッチ地方町村部の学校は62%の教室が倒壊、27%が半壊の被害を受けた。医療施設は566棟の内14%が倒壊、52%が半壊した。

#### 6.4 鉄筋コンクリート造建物の被害

RCはフレーム構造で、一般に壁が無補強のレンガやコンクリートブロックなどのインフィルで構成されている。まずアーメダバード市の高層RCアパートを例に被害を概観する。写真3は、地上ピロティ階+10階建のMアパートであり、写真に見える高層アパートの手前側にある同タイプのアパートが完全崩壊した。アーメダバード市にはFloor Surface Index (FSI)と呼ばれる基準階の床面積制限があるが、2階以上には適用されない(Goyal et al., 2001)。このため片持ち梁で2階以上部分を外側にせり出し、トップヘヴィ

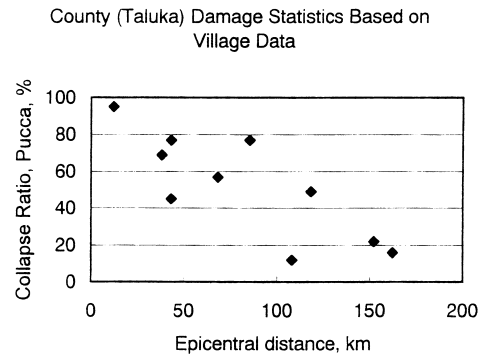


図10 震央距離と Pucca 住宅の町村部倒壊率

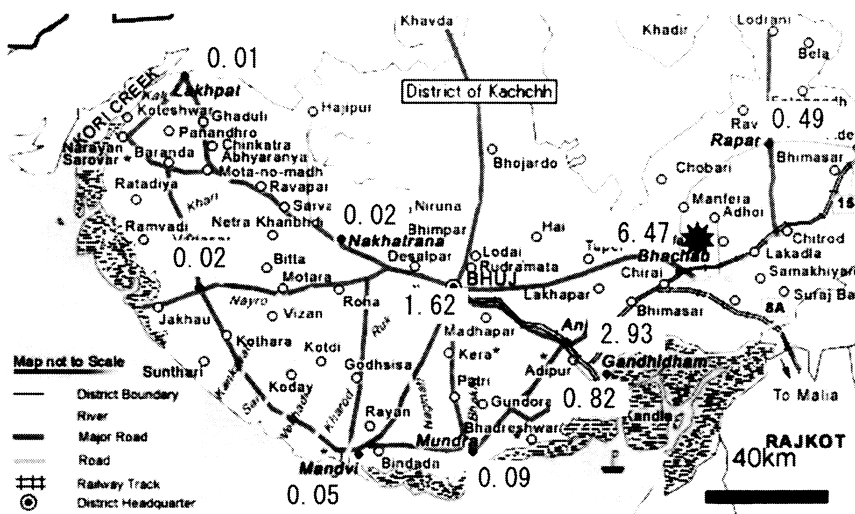


図9 カッチ地方の死亡率(%)分布

な構造となっている。激震地であるブージ市でも、RC造では1階のプロティ階の被害が目立った(写真4)。プロティでないRC造の被害は一般に小さかったが、大きな被害を受けているRC造では材料の不良、柱頭の強度不足および配筋不良などが目立った。

ガンディダムは1956年アンジャール地震(M7, 死者111人)に前後して1950年代に造られ



写真3 高層アパートの崩壊(写真に見える高層アパートと同タイプの高層棟が手前にあったが、完全に崩壊した。Ahmedabadにて)



写真4 6階RC造・プロティの崩壊(Bhujにて)

た新しい街で、各種のRC造が存在する。被害率、死亡率では隣接するアンジャールより明らかに小さくなっている。また被害の大きな街区と小さな街区とが明瞭に分かれていた。このため建物と地盤の常時微動観測を行うとともに、約150棟の全数調査を行った。また材料実験を行うため、各種の建築材料も入手した。

### 6.5 組積造建物の被害

今回の地震で圧倒的に被害が多かった建物は、ブージ市やアンジャール市などで城壁に囲まれた旧市街地や周辺の村に多い伝統的な組積造であった(写真5, 6)。壁は不整形な自然石を粘土モルタルで積み上げており、屋根が木造で水平面の拘束力がないため、地震に極めて脆弱な建物である。一方、整形した石やコンクリートブロックをセメ



写真5 建物の屋上から見た光景(Bhujにて)

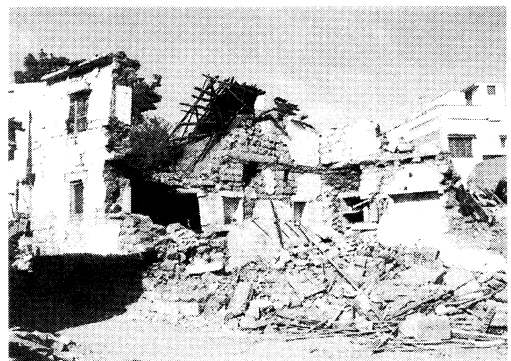


写真6 組積造2階建ての住宅崩壊(Bhujにて)

ントモルタルで積み上げ、さらに床や屋根が RC 造の家屋は、無補強ながらはるかに強い抵抗力を示していた。宮殿や城壁などの歴史的建造物は整形した石を石灰モルタルで固めており、一般家屋に比べて被害は比較的軽微であった。

表 3 を見ると、パッカ住宅（レンガや切石の組積造）はカッチャ住宅（アドベ壁と藁葺き屋根の非耐久住宅）より必ずしも倒壊率が低いわけではない。伝統的なカッチャ住宅は土壁が小枝などの軸組から成り、屋根が軽く、被害を免れた例も多々見られた。

## 7. 地震後の緊急対策

### 7.1 緊急対策

災害の緊急対応はグジャラート州が中心になり、ブージ市にあるカッチ地方行政政府 (District Collectors' Office) に現地対策本部を置いて救援に当たった。中央政府農業省にも災害対策本部 (Crisis Center) が設置され、省庁や軍の支援を統括している。

国際赤十字はブージ市内の大学敷地にキャンプを展開して医療介護の支援に当たっている。海外からの物資支援状況は表 4 のとおりである。

### 7.2 再建政策

被災地では倒壊家屋だけでも 37 万戸に達し、約 185 万人が家を失った。半壊の 92 万戸についても補強のため、何らかの仮設住宅を必要とする。州対策本部によれば、雨期 (6 月) に入る前に最小限の仮設シェルターを与える必要があり、その材料給付等の準備を進めているとのことである。

州政府の震災再建政策は次の 4 つである。

- (1) 倒壊率 70 % 以上の 256 村 (内、カッチ地方の 172 村) が対象。村の正式申し入れにより移転を支援する。これに必要な総費用の 1/2 は「養子 (adoption)」という形で募る企業、州政府、民間組織のボランティア復興援助資金で賄い、残りは政府が負担する。
- (2) 倒壊率 70 % 未満の村が対象。元の場所での再建・補修補強費用を支援する。州が被害調査に基づき技術的アドバイスを与える。
- (3) 震央から遠距離の被災地域が対象。再建、補修費用を支援する。
- (4) 被害激甚な都市、ブージ、アンジャール、パチャオ、ラパールが対象。軸組構造・組積造の建物種別に応じて多層階建物も含めて住戸所有者に資金援助する。

## 8. おわりに

カッチ地方では最も高い地震危険度が想定されながら耐震規定が実施されず、特に地震にほとんど抵抗力のない伝統的な組積造 (カッチャ住宅、パッカ住宅) が軒並み倒壊し、人的被害をさらに大きくした。今後、グジャラート州を皮切りに耐震規定の強制導入を検討中と聞いている。今回の痛切な教訓が生かされて防災対策の進むことを願う次第である。現地調査の段階では仮設住宅はまだまだ少なかった。長期に亘る困難な住宅・公共施設・職場の再建と被災者の生活復興には、日本からも多くの支援を望みたい。

最後に本調査を実施するに当たって多大な協力を頂いた多くのインドの地震関係者と文部科学省・

表 4 国際赤十字まとめの救援物資配布状況

Items	Appeal target	Total received	Total distributed	Stock	Distributed in %
Blankets	210,000	230,000	228,000	2,000	109%
Tarpaulins	118,000	117,000	111,000	6,000	94%
Tents	34,038	28,600	27,600	638	81%
Kitchen Sets	60,000	60,000	41,000	19,000	68%
Water Containers	63,000	63,000	46,000	22,000	73%
BP5 (high calorie biscuit) rations	307,000	250,000	90,000	159,000	29%

Source: IFRC

Date: 20 Apr 2001

India/Gujarat: Earthquake Appeal No. 04/2001

Situation Report No. 24

外務省をはじめとする関係省庁の皆様、ならびに支援頂いた諸学会（日本地震学会災害調査委員会、日本建築学会災害委員会、土木学会地震工学委員会、日本地震工学会広報委員会）の皆様にご感謝の意を表す。

UNDP BHUJ: <http://www.undpquakerehab.org/>, 2001.

Yagi, Y. and M. Kikuchi: Results of rupture process for January 26, 2001 Western India earthquake ( $M_s$  7.9) (Revise), <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/southindia/index.html>, 2001.

(投稿受理：平成13年4月28日)

## 参 考 文 献

- Biswas, S.K.: Regional tectonic framework, structure and evolution of the western marginal basins of India, *Tectonophysics*, Vol. 135, pp. 307-327, 1987.
- Chandra, U.: Earthquakes of peninsular India - seismotectonic study, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 67, pp.1387-1413, 1977.
- Government of India: <http://www.ndmindia.nic.in/eq2001/eq2001.html>, 2001.
- Gowd, T.N., S.V. Srirama Rao and K.B. Chary: Stress field and seismicity in the Indian Shield: Effects of the collision between India and Eurasia, *Pageoph*, Vol. 146, pp. 1-27, 1996.
- Goyal A., R. Sinha, M. Chaudhari and K. Jaiswal: <http://www.civil.iitb.ernet.in/BhujEarthquake/Report1.htm>, 2001.
- Malik, J.N., P.S. Sohoni, S.S. Merh and R.V. Karanth: Paleoseismology and neotectonism of Kachchh, Western India, *Active Fault Research for the New Millennium, Proceedings of the Hokudan International Symposium and School on Active Faulting*, Okumura, K., H. Goto and K. Takada, eds., pp. 251-259, 2001.
- Minster, J.B. and T.H. Jordan: Present-day motions, *J. Geophys. Res.*, Vol. 83, pp. 5331-5354, 1978.
- 文部省 1999年トルコ・コジャエリ地震調査団、1999年トルコ・コジャエリ地震とその災害に関する調査・研究, *自然災害科学*, Vol. 18, No.3, pp. 369-379, 1999.
- 文部科学省 2001年インド・グジャラート地震調査団: <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/mext/india/>, 2001.
- Narula P.L. and S. K. Chaubey: <http://www.nicee.org/NICEE/Gujarat/narula.htm>, 2001.
- Roorkee University: <http://vision.rurkiu.ernet.in/depts/earthquake/bhuj/>, 2001.
- Singh, R.P.: <http://home.iitk.ac.in/~ramesh/gujrat/gujarat.htm>, 2001.