

速報

2003年メキシコ・コリマ州の地震 (Mw7.4)

三雲 健*

The January 22, 2003, Colima, Mexico Earthquake (Mw7.4)

Takeshi MIKUMO

Abstract

A large earthquake (Mw7.4) occurred on January 22, 2003 off the Pacific coast of the state of Colima, Mexico, which was felt strongly throughout the state and its adjacent regions. The hypocenter was located near the suggested boundary between the Rivera and Cocos plates both subducting beneath the North American plate, and close to the southeastern rim of the source region of the 1995 Colima-Jalisco earthquake (Mw8.0). From a centroid moment tensor (CMT) inversion of teleseismic waveforms, the 2003 earthquake has been shown to have a thrust fault shallowly dipping toward NNE. The ruptured source region estimated from the aftershock area with a radius of about 30 km extended over part of the seismic gap left unbroken between the source areas of the 1973 and 1995 previous large earthquakes, and overlapped the southeastern part of the 1932 and 1995 source regions. The earthquake has been recorded at various seismograph stations not only in Mexico but also worldwide. The maximum ground acceleration recorded at hard sites during this earthquake exceeded 100 gals in the epicentral region, and was 2 - 3 gals at inland stations 800 km away from the epicenter. The seismic intensity in the cities of Colima and Tecomán was reported to be VIII on the modified Mercalli scale. The state of Colima and the adjacent states suffered extensive damage, including 15,000 damaged houses which were mostly unreinforced masonry and brick structures. Landslides and liquefactions were also reported near the epicentral region and along the coast.

キーワード：2003年コリマ地震，プレート沈み込み帯，リベラ - ココス - 北米プレート

Key words：2003 Colima earthquake, Mexican subduction zone, Rivera-Cocos-North American plates

* メキシコ国立自治大学地球物理研究所
Instituto de Geofísica, UNAM, Mexico

本速報に対する討論は平成15年11月末日まで受け付ける。

1. まえがき

2003年1月22日02時06分(世界標準時)に、メキシコのコリマ州で大きい地震が発生した。地元のコリマ州はじめ隣接するハリスコ州とミチョアカン州では、約50秒間続いた強い震動のため15,000戸を超える住宅が被害を受け、このうち3,000戸以上が大破し、一部は倒壊して、死者29名、負傷者約400名という大きい被害を生じた。また各地で地すべりが起き、道路の亀裂や損壊、海岸付近では地面の液状化現象も起きたことが報告されている。コリマ州・マンサニエジョ市の海岸では、水平動の最大加速度413 gal、上下動187 galという強い震動が記録された。またここでは地震発生から約8分後に振幅約1 mの弱い津波が到来した。震央から約540 km東にある首都メキシコ市では、約30秒間周期2~3秒のかなり大きい横揺れの震動が感じられ、一部では1985年ミチョアカン大地震の際の被害を想起してパニック状態になった市民もあったとのことであるが、ここでの被害は殆どなかった。

2. 震源情報

この地震のマグニチュードはハーバード大学の観測ではMw 7.4、米国立地質調査所(USGS)の発表ではMw 7.8、メキシコ国立自治大学

(UNAM)地球物理研究所に所属する国立地震サービス部(SSN)は独自のマグニチュードMe 7.6を与えている。震源の位置はTable 1に挙げたように、いくつかの機関の発表で少しずつ異なる。遠地地震波の観測による位置は、この地域の地震に対しては、メキシコの地震観測網による震央より常に系統的に北東へ約20~40 kmずれる傾向にあるため、はじめの2機関による位置は修正が必要である。今の場合は、地元コリマ大学の地震観測網(RESCO)が決めた18.625°N, 104.125°W、深さ18~20 kmという位置が最も確かと思われる。Table 1の震源の深さにもかなりの差があるが、これは別途詳しく検討することが必要と思われる。またこの表に示されるように、遠地で観測された長周期地震波のCMTインバージョンによって、今回の地震は北北東に浅い角度で傾斜する断層面を持った逆断層型であることが明らかになった。

3. 地域テクトニクスと過去の大地震

メキシコ南部の太平洋岸の沖合には、西北西から東南東方向に長さ約1,000 kmにもわたって、中央アメリカ海溝(MAT)とよばれるプレート沈み込み帯が形成されており、ここからココス(COCOS)プレートがメキシコ大陸をのせた北米

Table 1 Source parameters of the January 22, 2003, Colima, Mexico earthquake.

Source	Origin Time	Latitude	Longitude	Depth, km	Magnitude	Mo, Nm	Strike	Dip	Rake
RESCO ¹	02:06:33.8	18.625	-104.125	10	-	-	-	-	-
SSN ²	02:06:34.6	18.60	-104.22	9.3	Me7.6 ⁶	-	-	-	-
NEIC/USGS ³	02:06:34	18.84	-103.82	24.0	Mw7.8	6.1×10 ²⁰	269°	8°	50°
CMT ⁴	02:06:47.3	18.77	-103.89	32.6	Mw7.4	1.6×10 ²⁰	305°	17°	103°
Yagi ⁵	-	18.625	-104.125	20.0	Mw7.4	1.45×10 ²⁰	300°	20°	93°

1 RESCO: Red Sismica de Colima, operated by University of Colima.

2 SSN: Servicio Sismologico Nacional, operated by the Instituto de Geofísica, UNAM.

3 Preliminary NEIC/USGS location.

4 Harvard CMT solution.

5 From inversion of teleseismic body waves. The epicenter reported by RESCO was used in the inversion.

6 Me is based on radiated seismic energy estimated from seismograms at CUIG (Singh and Pacheco, 1994). It is tied to Mw.

(NA) プレートの下に沈み込んでいるために、沿岸の各地域にはこれ迄にも何度も大地震が発生して来た。Fig. 1 中の楕円形の地域は、これらの大地震の震源域(断層が破壊した地域)を表わしており、この大きさはその時の余震が起こった地域や震度分布から推定されたものである(Kostoglodov & Pacheco, 1999)。今回のコリマ地震が起きたのはこのプレート沈み込み帯の西北西の部分であるが、この付近では、すぐ西側に隣接するリベラ(RIVERA)プレートと呼ばれるマイクロプレートが東北方向に進んで北米プレ-

ートと衝突しており、上の3つのプレートが出会う複雑な構造を持った場所である。しかしココス、リベラ両プレートの境界は必ずしも明らかではなく、エルゴルド地溝帯(EGG)の下まで達した南コリマ海嶺(SCR)付近にあって、この海嶺に平行しているとの説もある(Bandy *et al.*, 1995)。またこの付近では、RIVERA-NA, COCOS-NAのプレート間の相対収縮速度は何れも約5 cm/yrといわれている(Kostoglodov and Bandy, 1995)。

この地域では20世紀に入ってから、Fig. 1に

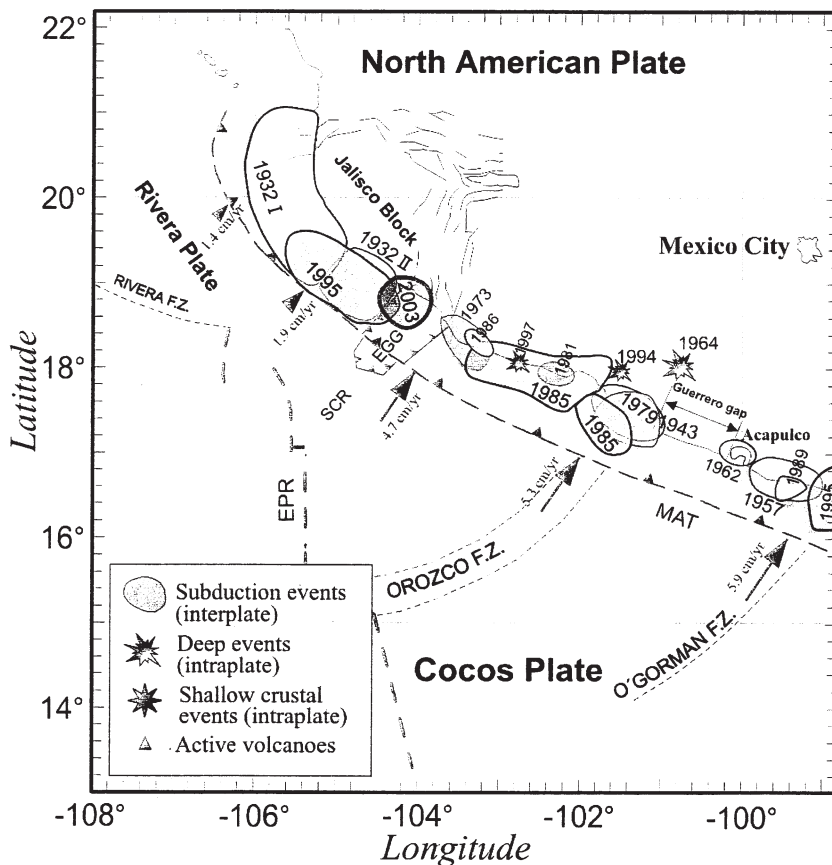


Fig. 1 Tectonic map of the Mexican subduction zone located off the Pacific coast of Mexico (modified from Kostoglodov and Pacheco, 1999). The zone is characterized by the oceanic Cocos and Rivera plates subducting beneath the continental North American plate. Arrows indicate the direction and rates of plate convergence. MAT; Middle America Trench, EPR; East Pacific Rise, F.Z.; Fault zones located beneath the ocean bottom. EGG; El Gordo Graben, SCR; Southern Colima Rift. Elliptical-shaped zones indicate the source regions of past, large subduction earthquakes in this zone.

示すように大きい地震が発生している。1932年6月3日にはマグニチュード8.2で震源域の長さ220 km というメキシコ最大のハリスコ地震(1932 I)と、その半月後の6月18日にはマグニチュード7.8の大地震(1932 II)がすぐ南東に隣接して発生した。この2つの地震は、その位置と余震の記録波形の解析などから、リベラプレートの沈み込みによって起こったものと考えられている(Singh *et al.*, 1985)。さらに63年後の1995年10月10日にはこの2つの地震の震源域の一部に重なるように、再びマグニチュード8.0のコリマ・ハリスコ大地震が発生した。この1995年大地震の余震域は170 km×70 km という広大な範囲(Fig. 1)に及んだ(Pacheco *et al.*, 1997)。またこの時には海岸地方には高さ3 m に及ぶ津波が襲来した(Ortiz *et al.*, 1998)。この地震は、震源パラメタの違いなどから1932年型地震の再来ではなく、ココスプレートの沈み込みによるもので、プレート境界面のより浅い部分を破壊したものと考えられている(Pacheco *et al.*, 1997)。1995年地震の震源域からさらに東南へ約60 km 離れたところでは1973年にマグニチュード7.5の地震(Reyes *et al.*, 1979)、さらにその東南では1985年マグニチュード8.1のミチョアカン大地震とその余震の1986年地震が発生している。この結果1973年と1995年の2つの地震の震源域の中間約60 km の地域が、まだ地震が起こっていない空白域として残っていた。これは先に述べた南コリマ海嶺地域にほぼ一致するが、今回の2003年コリマ地震は、次に述べるようにこの空白域の一部を埋めるように起こったことが明らかになった。

なおGuerrero Gapと呼ばれる同様な空白域はゲレロ地方にも残っており(Fig. 1)、ここでは1911年以来大地震が起こっていない。将来ここに大地震の発生が心配されている。

4. 地震観測データ

今回の地震は、地元のコリマ大学の短周期地震観測網のほか、メキシコ国立自治大学地球物理研究所SSNの広帯域地震観測網、同工学研究所の

ゲレロ地方加速度計観測網(GAA)、国立防災センター(CENAPRED)およびメキシコ連邦区地震計測センター(CIRES)の加速度計観測点、さらには世界各地の遠地地震観測点で観測された。Fig. 2はSSN観測網のうち11点で記録された、発震時から10分間の上下動の速度波形(Servicio Sismologico Nacional, UNAM, 2003)を示す。このうち最大速度はMOIG観測点で記録された1.8 cm/secであった。またFig. 3は震央に最も近いCOIG観測点(Fig. 2には含まれない)で観測されたP波部分の加速度波形であるが、10 sec以後は大振幅のため記録されていない。ここでのP波部分の最大加速度は約72 galであった。この後のS波振幅の最大値は不明であるが、100~140 gal程度と推定される。Table 2にはメキシコ各地で観測された地震動の最大加速度Amax(Singh *et al.*, 2003)を示した。これらはどれも野外の硬い地盤上に設置された加速度計による値であり、はじめに述べた震央から北西約55 kmにあるマンサニージョ市海岸付近の柔らかい地盤で観測された大きい値は含まれていない。Fig. 4は水平動の最大加速度を震源距離に対してプロットしたもので、距離に対する減衰状況を示す。またメキシコ盆地の昔の湖の埋め立て地盤上では20~30 gal、丘陵地で2~5 gal程度であったが、ここでは地盤の増幅効果が指摘されている(Singh *et al.*, 1985)ため、この図から除外した。図中の曲線はMw 7.4の地震に対するメキシコでの標準的な加速度減衰曲線(Ordaz *et al.*, 1989)である。震源距離400 km以上では、内陸部観測点での加速度はこの標準値より大きく、また海岸地方の観測点の場合よりかなり大きい。この差は、海岸に沿って伝播する地震波は分散の性質を持つため、加速度振幅が減少するためと思われる。

5. 震度分布および被害状況

この地震の際の、地方行政当局による報告、防災関係機関への電話による問い合わせ、新聞報道、フィールド調査班の報告などを総合してまとめられた震度分布をFig. 5に示した(Singh *et al.*, 2003)。この震度は改正メルカリ震度(MM)に

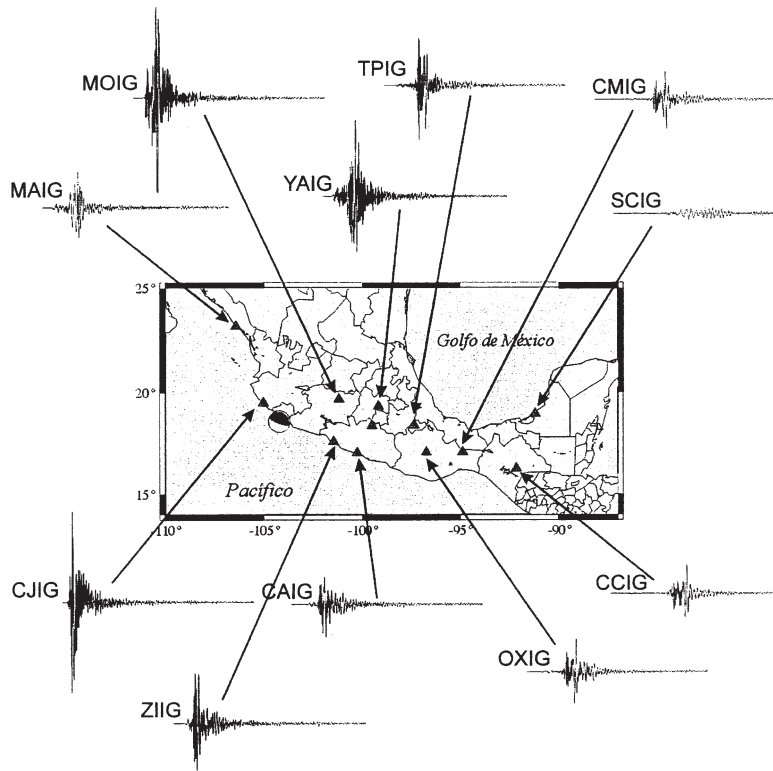


Fig. 2 Velocity seismograms (vertical component) recorded at some of the broadband seismograph stations operated by SSN, during the January 22, 2003, Colima, Mexico earthquake. The recorded times are 600 sec from the origin time of the earthquake (Servicio Sismológico Nacional, UNAM, 2003).

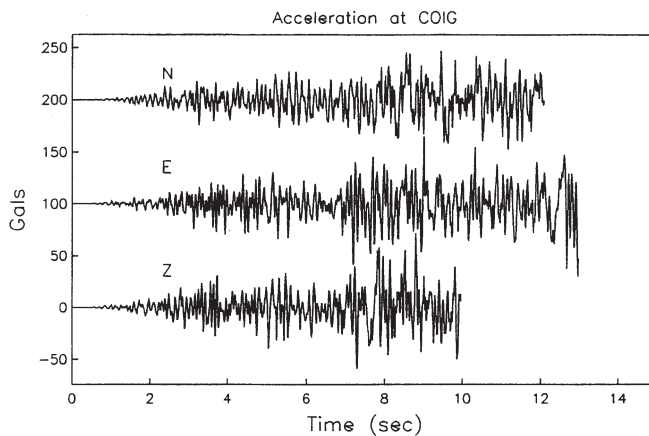


Fig. 3 Accelerograms recorded at COIG station near the city of Colima, recorded during the 2003 Colima earthquake. The station failed recording after 10 - 12 s. The maximum acceleration A_{max} on the NS, EW and Z components are 48, 71, and 72 gals, respectively (Singh et al., 2003).

Table 2 Peak accelerations on hard sites recorded during the Colima earthquake (Singh et al., 2003).

Station Code	Hypocentral Distance, km	Amax, gal		
		NS	EW	Z
COIG ¹	80	>47.8 ⁴	>70.5 ⁴	>72.1 ⁴
CJIG ¹	138	38.8	16.2	15.9
CALE ²	159	28.1	27.8	14.7
VILE ²	216	10.4	11.1	6.8
UNIO ²	256	12.3	8.2	8.9
ZIIG ¹	312	5.4	5.4	3.7
PET2 ²	333	3.7	3.6	3.7
COYQ ²	353	4.9	3.4	3.7
CAIG ¹	453	1.4	1.5	1.2
ZAIG ¹	486	1.6	2.0	2.6
PLIG ¹	489	7.8	3.4	4.0
ACAJ ³	498	2.0	1.5	1.3
CUER ³	520	6.9	8.2	4.6
CNIG ¹	537	4.6	4.3	2.7
CUIG ¹	537	4.2	4.2	2.0
YAIG ¹	544	3.2	2.2	2.1
ESTS ³	545	2.0	2.0	1.3
MAIG ¹	560	0.65	0.41	0.39
TPIG ¹	723	4.2	2.3	3.0
PNIG ¹	783	0.99	0.41	0.97
OXIG ¹	810	3.6	2.3	2.0
CMIG ¹	1002	1.2	0.42	0.62
CCIG ¹	1307	0.64	0.37	0.44

¹Station operated by SSN

²GAA station operated by Instituto de Ingeniería, UNAM and University of Nevada, Reno

³Station operated by CENAPRED

⁴Peak value during P-wave group, hence a lower bound

よる。震央に最も近いテコマン町とコリマ市で震度Ⅷ、北西のマンサニージョ市ではⅦ～Ⅷであった。このため今回の地震は最も近い地名をとってテコマン (Tecomán) 地震と呼ばれることもある。この付近で等震度線がやや北側に伸びているのは、断層の破壊の方向性によるものと思われる。なおこの2地域では、先に述べた1932年の2回の地震と1973年および1995年地震の際には何れも震度Ⅷ～Ⅸを記録している。

この地震による被害は、震央付近では海岸から内陸へ伸びる一定幅の範囲に集中し、コリマ市付近と周辺のコリマ州各地、隣接するハリスコ、ミチョアカン両州で最大であった。コリマ市周辺では地すべりが各所に起こり、また道路の亀裂と陥没、一部では橋梁にも被害が見られ、海岸地方では地面の液状化現象が発生した。また震央から175 km離れた2ヶ所の貯水ダムでは一部にクラックを生じ、部分的な陥没も見られた。はじめに述べたように、15,000を超える多数の住宅が大き

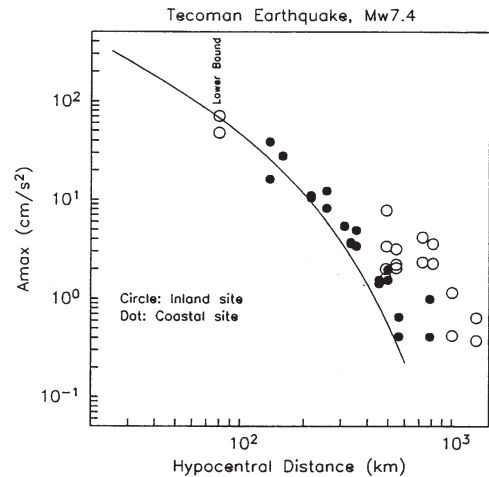


Fig. 4 Horizontal peak acceleration, Amax, as a function of hypocentral distance. Open circles; inland sites, solid circles; coastal sites (Singh et al., 2003). Solid curve; attenuation curve predicted for a Mw7.4 earthquake (Ordaz et al., 1989).

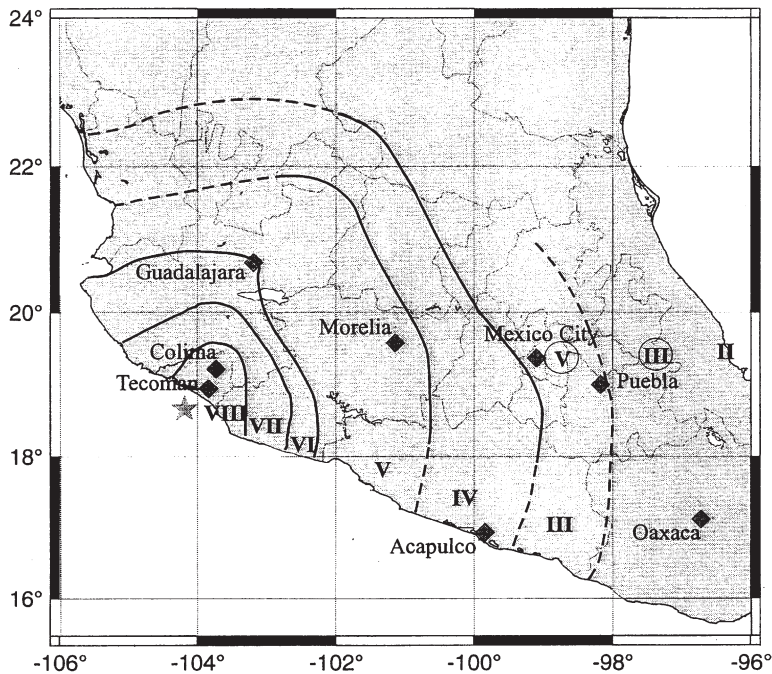


Fig. 5 Isoseismal map shown by modified Mercalli scales at the time of the 2003 Colima earthquake (Singh et al., 2003).

い被害を受けたが、これらの被害は、特に補強支柱のない石造りあるいは煉瓦積みのアドベ住宅に集中しており、多少でも補強がある場合は被害は軽微に止まっている。また多くの学校校舎や教会、モニュメントなどもある程度の破損を生じた。しかし鉄筋あるいはコンクリート補強のある大型建造物の被害は皆無であった。

6. 断層破壊過程と余震

この地震は、第2節に述べたように逆断層型であることが示されたが、このことはこの地震がココスプレートの北米プレート下へのもぐり込みによって発生したことを意味し、1995年地震と同じタイプのやや小規模の地震であったといえよう。一方、Yagi (2003) による遠地観測点で観測された長周期地震波のインバージョン解析によれば、今回の地震が破壊した断層面の大体の大きさは70 km×50 km、約20°北北東側に傾斜したこの断層面が最大3 mもすべったことや、断層の破壊

が全部おわるのに約30秒を要したことなどが明らかになった。また第4節に示した震央に比較的近いメキシコの観測点での強震動波形も総合したインバージョンによって、さらに詳細な断層の破壊過程が明らかになるとと思われる。

一方、この地震発生後2月5日までの2週間にマグニチュード3.7以上のやや大きい余震が32個、その後の19日までの2週間には7個の余震が観測された。このうち大きい余震は、本震と同じ日に発生したMw 5.8と5.3の2個で、本震とほぼ同様なメカニズムで起こった。その後の余震活動は急速に減衰している。Fig. 6に、本震発生後最初の4日間にコリマ大学が観測した120個の余震の発生地域を示したが、これは半径約30 kmのほぼ円形の範囲内にある。この範囲はFig. 1から分かるように、これまで残っていた空白域の北部だけではなく、1932年と1995年地震の震源域東南の一部まで広がっており、これが今回のコリマ地震の本震で破壊した断層の大体の範囲を

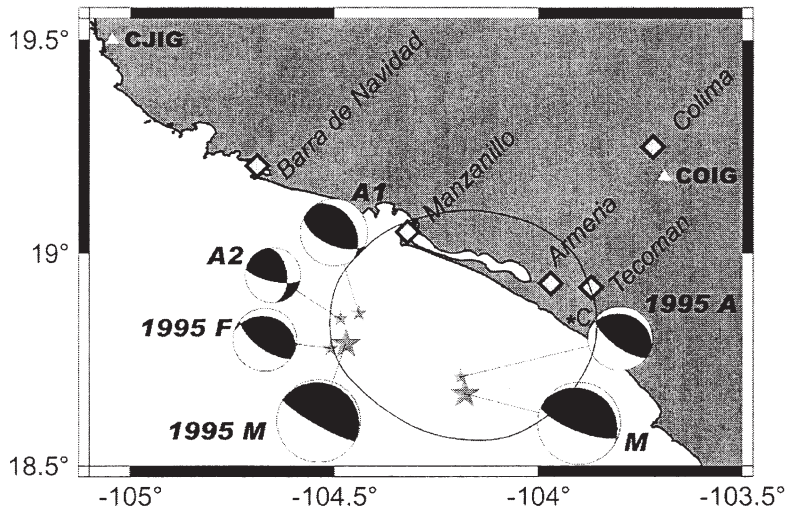


Fig. 6 Locations and focal mechanisms of the 2003 Colima earthquake (M) and two largest aftershocks (A1 and A2). A large circle indicates the approximate aftershock area (with a radius of about 30 km), estimated from aftershock locations by RESCO, University of Colima. For comparison, 1995 M, 1995 F and 1995 A show the locations and focal mechanisms of the October 10, 1995 Colima-Jalisco earthquake (Mw8.0) and its foreshock and largest aftershock, respectively (modified from Singh et al., 2003).

示すものと言えよう。また Fig. 6 に示すように、本震の震源の位置（断層の破壊が始まった位置）(M) は、上の余震域の中の南側中央にあるが、この場所は 1995 年コリマ・ハリスコ地震の震源域 (Fig. 1) の東南端に近く、しかも 1995 年地震の最大余震 (1995 A) に隣接している。このことは今回の 2003 年地震の発生が、前回の 1995 年地震の断層破壊と最大余震によるストレスの変化の影響を受けていることを示唆している。さらに今回の地震の 2 つの大きい余震 (A 1, A 2) は余震域の西端近く、かつ 1995 年地震の前震と本震の震源 (1995 F, 1995 M) 付近に起こっており、前回と今回の両方の大地震の際の断層のスリップ分布の不均一性によるストレス変化を反映しているものと思われる。この問題についてはさらに詳しい検討が必要である。

7. まとめ

2003 年 1 月 22 日、メキシコ太平洋岸のコリマ州に Mw 7.4 の大きい地震が発生した。震源はココスプレートとすぐ西側に接するリベラプレー

トの境界付近で、かつ前回の 1995 年コリマ・ハリスコ地震 (Mw 8.0) の震源域の東南端に近い場所であった。この地震は、長周期地震波の解析から、ココスプレートがメキシコ大陸をのせた北米プレートの下へ沈み込むことによって発生した逆断層型地震であることが明らかになった。余震の発生域 (半径約 30 km) の大きさから推定される今回の地震の断層破壊域は、1973 年と 1995 年の 2 つの地震の中間に残っていた空白域の 1 部と、1932 年および 1995 年地震の震源域の東南端の一部まで広がった。

この地震は、メキシコ内各地の地震観測網と世界各地の地震観測点で観測された。震央に近い地域で観測された地震動の最大加速度は 100 gal 以上、震央距離 800 km の内陸部では 2~3 gal であった。震央に近いコリマ市ではメルカリ改正震度Ⅷが報告されている。この地震による被害はコリマ州と隣接する 2 州に集中し、約 15,000 戸の住宅が破損、一部は倒壊したが、この大部分は補強のない石造りまたは煉瓦造りの構造であった。このほか震央に近い各地で地すべりや道路の亀裂・

陥没，地面の液状化現象が発生した。

参 考 文 献

- Bandy, W., C. Mortera, J. Urrutia and T.W.C. Hilde : The subducted Rivera-Cocos plate boundary: where is it, what is it, and what is its relationship to the Colima uplift?, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 22, pp.3075-3078, 1995.
- Kostoglodov, V. and W. Bandy : Seismotectonics constraints on the convergence rate between the Rivera and North American plates, *J. Geophys. Res.*, Vol. 100, pp.17,977-17,989, 1995.
- Kostoglodov, V. and J. Pacheco : Cien anos de sismidad en Mexico, Instituto de Geofisica, UNAM, 1999.
- Ordaz, M., J. M. Jara and S. K. Singh : Riesgo sismico y espectros de diseno en el estado de Guerrero, Mem. VIII Congreso Nacional de Ingenieria Sismica, Vol. II, D40-56, Acapulco, Mexico, 1989.
- Ortiz, M., S. K. Singh, J. Pacheco, and V. Kostoglodov : Rupture length of the October 9, 1995 Colima-Jalisco (Mw8) earthquake estimated from tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 25, pp.2857-2860, 1998.
- Pacheco, J., S. K. Singh, J. Dominguez, A. Hurtado, L. Quintanar, Z. Jimenez, J. Yamamoto, C. Gutierrez, M. Santoyo, W. Bandy, M. Guzman, V. Kostoglodov, G. Reyes and C. Ramirez: The October 9, 1995 Colima-Jalisco, Mexico earthquake (Mw8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 24, pp.2223-2226, 1997.
- Reyes, A., J. N. Brune and C. Lomnitz: Source mechanism and aftershock study of the Colima, Mexico earthquake of January 30, 1973, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 69, pp.1819-1840, 1979.
- Servicio Sismologico Nacional, UNAM, compiled by J. Pacheco : Sismo de Tecoman, Colima de Enero, 2003.
- Singh, S. K., L. Ponce, and S. P. Nishenko: The great Jalisco, Mexico, earthquake of 1932: subduction of the Rivera plate, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 75, pp.1301-1313, 1985.
- Singh, S. K., R. Quaas, M. Ordaz, F. Mooser, D. Almora, M. Torres and R. Vasquez: Is there truly a "hard" rock site in the Valley of Mexico?, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 22, pp.481-484, 1995.
- Singh, S. K., J. F. Pacheco, L. Alcantara, G. Reyes, M. Ordaz, A. Iglesias, S. M. Alcocer, C. Gutierrez, C. Valdes, V. Kostoglodov, C. Reyes, T. Mikumo, R. Quaas, and J. G. Anderson: A preliminary report on the Tecoman, Mexico earthquake of 22 January, 2003 (Mw7.4), submitted to *Seism. Res. Lett.*, 2003.
- Yagi, Y. : Preliminary results of rupture process for January 22, 2003 Colima, Mexico, earthquake, <http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/colima/colima.html>, 2003.

(投稿受理：平成15年4月3日)

訂正稿受理：平成15年4月3日)