

2017年9月にメキシコで続発した地震 (M8.2, M7.1)

M8.1 and M7.1 Earthquakes Successively Occurred in September 2017

西村卓也・伊藤喜宏・V́ctor Manuel CRUZ ATIENZA⁽¹⁾
María Teresa RAMÍREZ-HERRERA⁽¹⁾・Vladimir KOSTGLODOV⁽¹⁾・Néstor CORONA⁽¹⁾
Angel RUIZ-ANGULO⁽¹⁾・Diego MELGAR⁽¹⁾・Jorge ZAVALA⁽¹⁾
Hidalgo Carlos VILLAFUERTE⁽¹⁾・Josué TAGO⁽¹⁾・Emmanuel CHALJUB⁽¹⁾

Takuya NISHIMURA, Yoshihiro ITO, Víctor Manuel CRUZ ATIENZA⁽¹⁾,
María Teresa RAMÍREZ-HERRERA⁽¹⁾, Vladimir KOSTGLODOV⁽¹⁾, Néstor CORONA⁽¹⁾,
Angel RUIZ-ANGULO⁽¹⁾, Diego MELGAR⁽¹⁾, Jorge ZAVALA⁽¹⁾,
Hidalgo CARLOS VILLAFUERTE⁽¹⁾, Josué TAGO⁽¹⁾, and Emmanuel CHALJUB⁽¹⁾

(1) メキシコ国立自治大学

(1) National Autonomous University of Mexico, Mexico

Synopsis

M8.2 and M7.1 earthquakes occurred in Mexico on September 7 and 19, 2017, respectively. These earthquakes caused serious damages and hundreds of fatalities mainly due to collapse of buildings. A field survey on tsunami for the first earthquake clarifies 1 to 3 m of a run-up height and up to ~190 m of the inundation distance on the Mexican Pacific coast. Focal mechanisms and locations of these earthquakes suggest intra-slab earthquakes with normal faulting in the subducting oceanic plate. It is unlikely that the first earthquake triggered the second one because of a long epicentral distance between two earthquakes. However, afterslip of the 2012 M7.5 Ometepe earthquake as well as a slow slip event started around June 2017 possibly promoted a fault of the second earthquake to rupture. It is expected that new seismic and geodetic network in an onshore and offshore region along the Mexican Pacific coast helps clarifying mechanisms of slow slip events and large earthquakes.

キーワード: メキシコ, スラブ内地震, スロースリップイベント

Keywords: Mexico, intra-slab earthquake, slow slip event

1. はじめに

2017年9月7日23時49分(メキシコ中央時間)にメキシコ合衆国南東部チアパス州の沖合でマグニチュード(以下, M) 8.2の地震が発生した。12日後の同年9月19日13時14分には, メキシコ中部プエブラ州でM7.1の地震が発生した。さらに, 2018年2月16日の17時39分には, メキシコ南部のオアハカ州でもM7.2の

地震が発生した。現地の報道などによると9月7日の地震で約100人, 9月19日の地震では約340人が構造物の崩壊などによって死亡した。9月19日の地震は, 首都のメキシコシティでも崩壊したビルが相次ぎ, 9月7日と19日の両地震による経済損失は20億USドルに及ぶと見積もられている。

2015年度より伊藤喜宏京都大学防災研究所准教授が日本側研究代表者を務める「メキシコ沿岸部の巨

大地震・津波災害の軽減に向けた総合的研究」(地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム, SATREPS) が開始されたこともあり, 防災研究所とメキシコの研究者の共同研究や研究交流が近年盛んになっている。上記研究は, 主にメキシコ南部のゲレロ州における海溝型地震の空白域を対象としたものであるが, メキシコ側代表者である Victor Manuel Cruz Atienza メキシコ国立自治大学地球物理学研究所教授を筆頭に, メキシコにおける主要地震研究者の多くが参画しており, メーリングリストなどを通じて 2017 年 9 月の地震に関する情報を入手することができた。またメキシコシティにおいて, 2017 年 12 月 7 日に上記研究の第 2 回合同運営会議が開催されたため, 筆頭著者においてもメキシコ側研究者による速報的な研究結果や現地の住民から地震の様子を直接見聞きすることができた。

本稿では, 9 月 7 日と 19 日の地震に関して, 主にメキシコ側の共同研究者の研究によって明らかになった特徴を紹介し, 既往研究の結果と合わせた考察結果を報告するものである。

2. メキシコのテクトニクスと発震機構解

メキシコでは, 海洋性プレートであるココスプレートが中央アメリカ海溝から北米プレートの下に年

間 6 ~ 7 cm 程度の速さで沈み込んでいる (Fig. 1)。この沈み込み帯では, ココスプレートと北米プレートの境界において, M7~8 程度の海溝型地震がしばしば発生しており, 日本列島, 特に西南日本のテクトニクスと類似していることが指摘されている。2017 年と 2018 年に相次いで発生した 3 つの地震の発震機構 (メカニズム) 解を Fig. 2 に示す。2017 年 9 月の地震はいずれも正断層型を示し, 引張 (T) 軸の方向はプレートの沈み込む方向にほぼ一致する。また, モーメントテンソル解のセントロイドの深さもそれぞれ 46 km と 51 km (USGS, 2018) であり, プレート境界面の深さよりも深い。一方, 2018 年 2 月 16 日の地震は, プレート間地震に典型的なプレート沈み込み方向に圧縮 (P) 軸を持つ, 低角逆断層型を示し, セントロイドの深さも 26 km とプレート境界面の深さとほぼ一致する。よって, プレートの境界で発生したプレート間地震は 2018 年 2 月の地震のみで, あとの 2 つは沈み込んだココスプレートの内部で発生したスラブ内地震であると考えられている。M8.2 の地震は, ココスプレートが海溝からの沈み込みに伴い下向きに屈曲することによって, プレートの浅部側の引張力に伴う地震であることが提案されており (Okuwaki and Yagi, 2017), M7.1 の地震も同様にココスプレートの屈曲に伴う引張力が原因と考えられている (Cruz-Atienza et al., 私信)。M7.1 の地震の震源は海溝

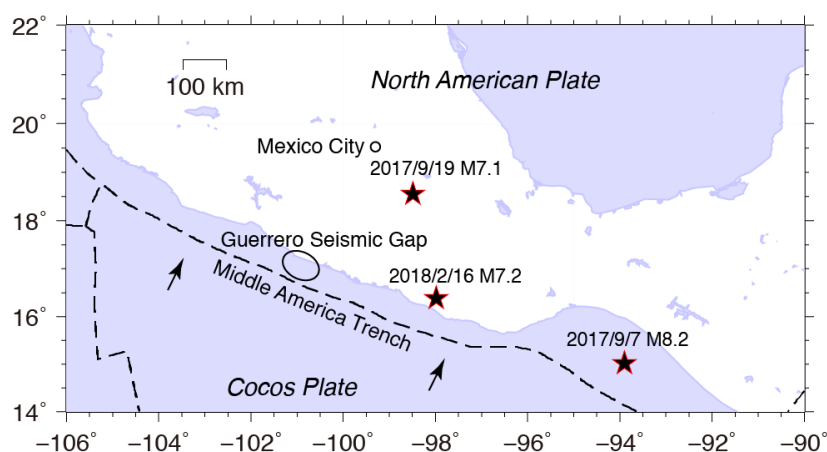


Fig. 1 Tectonic map and epicenters of three large earthquakes occurred in Mexico in 2017 and 2018.

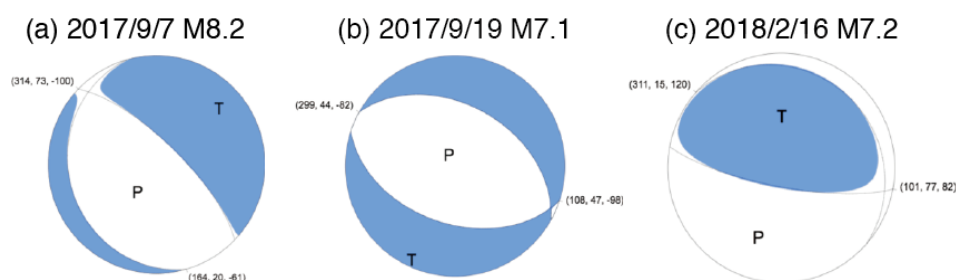


Fig. 2 Focal mechanisms estimated from W-phase moment tensor inversion (USGS, 2018). (a) Earthquake on September 7, 2017. (b) Earthquake on September 19, 2017. (c) Earthquake on February 16, 2018.

からかなり離れた場所に位置している (Fig. 1) . この地域では沈み込んだココスプレートの形状は、深さ40 km程度でいったん水平になり、それから再度沈み込みの角度を増しているため、ココスプレートの屈曲は海溝から離れたところでも生じている。実際、M7.1の震源より西側では、同じようにプレートの沈み込み方向に引張軸を持つ正断層が多数過去に発生していることが知られている (Cruz-Atienza et al., 私信) .

3. 2017年9月7日の地震(M8.1)と津波

2017年9月7日の地震については、この地震によって生じた津波について、Ramírez-Herrera et al.(2018) が詳細な解析を行っており、ここでその概要を紹介する。彼女らは、チアパス州の海岸線41 kmにわたって津波の現地調査を行い、遡上高と浸水距離の測定を行った。津波の第1波が到達した時刻は現地で低潮位の時間帯であったこともあり、津波による顕著な被害は生じなかったが、遡上高は、全ての調査地点で1 mを越え、最大で約3 mに達していた。また、浸水距離は、最大で海岸線から約190 mに達していた。津波波形もメキシコ太平洋沿岸の験潮所において、記録されており、震源域から北東方向にあるPuerto Chiapasの験潮所においては、片振幅で1.5 mを超える潮位変化が観測され、2日間以上潮位変化が継続した。地震前後の潮位から、上下変動を推定すると、震源域の西北西にあるSalina Cruzの験潮所でのみ約11 cmの沈降という有意な変動を観測したものの、他の験潮所では有意な変動は観測されなかった。なお、Salina CruzにはGNSS連続観測点もあり、地震時に約15 cm沈降したことが確認されている (Kostoglodov, 私信) . 験潮所と沖合のDARTブイで観測された津波波形のインバージョンから、津波波形はメカニズム解の2つの節面 (Fig. 2a) の高角の面を断層面とすることによって、より良く説明できることがわかった。

9月7日の地震は、プレート境界面における海溝型地震が近年発生しておらずTehuantepec地震空白域 (例えば、Singh et al., 1981) として知られている場所で発生したスラブ内地震である。この地震がプレート境界面にどのような影響を与えるかは今後の研究課題であり、今後もこの地域の地震活動を注目していく必要がある。

4. 2017年9月19日の地震(M7.1)とメキシコシティの被害

2017年9月19日の地震は、メキシコシティから震央

距離が約120 kmと比較的近かったことや同規模のプレート間地震に比べて短周期地震動が強いことが知られているスラブ内地震であったこともあり、メキシコシティで構造物に対する大きな被害が生じた。しかし、メキシコシティで大きな被害が生じた一番の原因は、メキシコシティが数百年前までは湖であり、軟弱な堆積層の上に建設された大都市であると言える。Cruz-AtienzaやGalvisら (私信) による解析によると、この地震によるメキシコシティ市内の強震動は、メキシコシティに大きな被害を及ぼした1985年のMichoacan地震(M8.0)に匹敵するレベルであったが、倒壊した建物には大きな違いが見られた。2017年の地震で倒壊した建物44棟は、全て10階建て以下の構造物だったのに対し、1985年の地震で倒壊した建物は全部で210棟のうち、11階以上の建物も18棟あって、全体の9%を占めていた。倒壊した建物分布と地震動分布の相関を見ると、強震動の継続時間とは相関が見られなかったが、周期1-2秒の加速度スペクトルの振幅と相関が見られており、この周期の強震動が10階以下の構造物に顕著な被害を与えたと考えられる。

なお、この地震は、1万人以上の死者を出したMichoacan地震と同じ日に発生し、当日には地震に備えた避難訓練や地震に関する行事が行われており、9月7日の地震からも間もなかったため、メキシコシティにおいては、地震に関する社会的関心が非常に高い時期に発生した地震であると言える。そのような背景が地震に対する市民の行動にどのような影響を与えたかは興味深く、今後の研究が待たれる。

5. 2017年9月7日と19日の地震の関係

ここまで述べてきたように、メキシコにおいて9月に2つの被害地震が続発した。これらの地震の震源は600km以上離れているのであるが、時間的に近接していることから、何らかの因果関係があるのかは気になる点である。

Segou and Parsons(2018)は、過去のメキシコの地震活動を調査し、1900年以降に発生したM7より大きい地震の14%が2週間以内に続発しているため、今回のような続発は珍しいことではないとしている。また、9月7日の地震による静的及び動的応力変化の計算から、応力変化によって19日の地震が誘発されたとは考えにくいことを示した。過去40年間に沈み込み帯で発生した大地震による静的応力変化の計算からは、地震時のすべりによる2つの地震への応力変化は極めて小さいものの、2012年Ometepec地震(M7.5)の余効すべりによる静的応力変化によって、9月19日の地震の震源では0.01-0.1MPaほど応力が増加

したことがわかり、地震の発生を加速した可能性が示された。

また、Kostoglodov（私信）らによるGNSS観測によると、2017年6月頃からゲレロ空白域のプレート深部において、断層がゆっくりと滑るスロースリップイベント(SSE)が発生していたことが明らかになっている。定量的な静的応力変化の計算はなされていないが、9月19日の地震の震源に対しては、このSSEによって2012年Ometepec地震の余効すべりと同程度の応力増加をもたらした可能性がある。ゲレロ空白域では、同じようなSSEが過去にも数年毎に観測されてきた（例えば、Yoshioka et al., 2004）が、過去のSSEの発生時に9月19日の地震の周辺域でM6以上の正断層の地震が発生したことはなく、SSEが起こったからといって同じようなタイプの地震が発生するとは言えない。

6. おわりに

2017年9月7日と19日に、メキシコで続発した地震(M8.2とM7.1)は、ともに沈み込んだココスプレートの内部で発生したスラブ内正断層地震であり、特に後者はメキシコシティで大きな被害が生じた。震源が600 km以上離れていることから、2つの地震に因果関係があるとは考えにくい、2012年のM7.5の地震の余効すべりや2017年6月頃から発生したSSEが9月19日の地震の発生を加速させた可能性はある。

2015年度より開始されたSATREPSプロジェクトにより、メキシコの太平洋側では陸域・海域ともに地震と地殻変動の観測網が増強された。これらの感想網のデータを用いることによってこの地域の地震やSSEの特徴が明らかになることが期待される。特に、2017年のSSEの解析には、SATREPSで新設されたGNSS観測点のデータが大きく威力を発揮することが見込まれており、今後の詳細な解析が待たれる。

謝 辞

本稿及び研究発表講演会における講演の内容は、SATREPS「メキシコ沿岸部の巨大地震・津波災害の軽減に向けた総合的研究」において、著者が入手した研究成果に基づくものである。同研究の実施にあたっては、共著者に含まれないSATREPS研究参画者並びにメキシコ合衆国での活動を支援していただ

ているJICA関係者、特に業務調整員の永田有花氏及び伊藤研究室の小倉久美子氏及び谷口佳世氏に御礼申し上げる。

参考文献

- 伊藤喜宏（2016）：活かす知恵・学ぶ知恵 メキシコ巨大地震に備える, DPRI NEWSLETTER, Vol. 79, pp. 6-8.
- Cruz-Atienza, V.M., Ito, Y., Kostoglodov, V., Hjörleifsdóttir, V., Iglesias, A., Tago, J., Calò, M., Real, J., Husker, A., Ide, S., Nishimura, T., Shinohara, M., Mortera-Gutierrez, C., García, S., and Kido, M., (2018): A Seismogeodetic Amphibious Network in the Guerrero Seismic Gap, Mexico., *Seismological Research Letters*, <https://doi.org/10.1785/0220170173>.
- Okuwaki, R., and Yagi, Y. (2017): Rupture process during the Mw 8.1 2017 Chiapas Mexico earthquake: shallow intraplate normal faulting by slab bending. *Geophysical Research Letters*, Vol. 44, pp. 11,816–11,823. <https://doi.org/10.1002/2017GL075956>.
- Ramírez-Herrera, M.T., Corona, N., and Ruiz-Angulo, A. (2018): The 8 September 2017 Tsunami Triggered by the Mw 8.2 Intraplate Earthquake, Chiapas, Mexico, *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 175: 25. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1765-x>.
- Segou, M., and Parsons, T. (2018): Testing earthquake links in Mexico from 1978 to the 2017 $M = 8.1$ Chiapas and $M = 7.1$ Puebla shocks, *Geophysical Research Letters*, vol. 45, pp. 708–714. <https://doi.org/10.1002/2017GL076237>.
- Singh, S.K., Astiz, L., and Havskov, J. (1981): Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 71, pp. 827–843.
- Yoshioka, S., Mikumo, T., Kostoglodov, V., Larson, K. M., Lowry, A. R., and Singh, S. K. (2004): Interplate coupling and a recent aseismic slow slip event in the Guerrero seismic gap of the Mexican subduction zone, as deduced from GPS data inversion using a Bayesian information criterion. *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol. 146, pp. 513-530.

（論文受理日：2018年7月2日）