

Press Release

エクアドル・コロンビア沈み込み帯における新たな大地震発生モデルを提案

名古屋大学大学院環境学研究科（研究科長：岡本耕平）の吉本昌弘（よしもとまさひろ）研究員をはじめとする、同大大学院環境学研究科（熊谷博之（くまがいひろゆき）教授、前田裕太（まえだゆうた）助教）、エクアドル地球物理学研究所、コロンビア地質調査所及び海洋研究開発機構の研究グループらは、地震の発生やその連動を考える上で重要な役割を果たしてきたエクアドル・コロンビア沈み込み帯における新たな大地震発生モデルを提案しました。

南海トラフで考えられているように、大地震は個別の領域を破壊する場合と、複数の領域を連動破壊して巨大地震となる場合があります。エクアドル・コロンビア沈み込み帯は、その両方のケースを地震観測データが利用可能な期間で経験したため、連動型地震の最も典型的な例の1つとして地震学者の関心を集めた地域でした。この沈み込み帯では、マグニチュード(M_w)7後半クラスの3つの大地震が1942年、1958年、1979年に発生しました。さらに、1906年にこの沈み込み帯で記録上最も大きな地震が発生しており、1906年の地震はこれら3つの大地震の領域を全て破壊した巨大地震(M_w 8.8)であったと考えられてきました。しかしながら、これら3つの大地震のエネルギーを足し合わせても、1906年に起きた巨大地震の数分の1の地震のエネルギーにしかありません。そのため、複数の地震発生領域が同時に破壊すると、単純にそれぞれの領域を破壊した時よりもずっと多量のエネルギーを出すという大地震の発生モデルが1980年代に提案され、その後の地震学の研究に影響を与えました。

今回、吉本昌弘らの研究グループは、2016年4月にエクアドル・コロンビア沈み込み帯で発生した大地震(M_w 7.7)の地震波解析と1906年の巨大地震の津波解析を行いました。その結果、1906年の地震は従来考えられてきたように3つの地震の領域を全て破壊して多量のエネルギーを出した連動型地震ではなく、これら3つの地震よりも浅い側（海溝側）を破壊したより規模の小さい地震(M_w 8.4)であったことがわかりました。本研究によって、沈み込む深さ方向に2つの破壊様式を示すこの沈み込み帯の新たな大地震発生モデルが提案されました。

この研究成果は、米国科学誌「Geophysical Research Letters」に掲載されました。本研究は、科学技術振興機構(JST)と国際協力機構(JICA)の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)「コロンビアにおける地震・津波・火山災害の軽減技術に関する研究開発」による研究事業の一環で行われました。

【ポイント】

- ・連動型地震を生じた典型例と考えられてきたエクアドル・コロンビア沈み込み帯において、連動型地震モデルを否定する新たな大地震発生モデルを提案
- ・日本にも津波の影響を及ぼしうる巨大地震であった 1906 年エクアドル・コロンビア地震の規模と地震すべり分布を、定量的な津波波形データによって初めて推定

【研究の背景】

南海トラフで知られているように、大地震は個別の領域を破壊する場合と、複数の領域を連動破壊して巨大地震となる場合があります。エクアドル・コロンビア沈み込み帯は、その両方のケースを地震観測データが利用可能な期間で経験したため、連動型地震の最も典型的な例の1つとして地震学者の関心を集めた地域でした。この沈み込み帯では、3つの大地震（1942年 M_w 7.8, 1958年 M_w 7.7, 1979年 M_w 8.1）が発生しました（図1）。さらに、1906年にこの沈み込み帯で記録上最も大きな地震が発生しており、1906年の地震はこれら3つの大地震の領域を全て破壊した巨大地震(M_w 8.8)であったと考えられてきました。しかしながら、これら3つの大地震のエネルギーを足し合わせても、1906年の巨大地震の数分の1のエネルギーにしかなりません。そのため、複数の地震発生領域が同時に破壊されると、それぞれの領域の周辺も地震すべりに関与して、単純にそれぞれの領域を破壊した時よりもずっと多量のエネルギーを出すという大地震発生モデルが1980年代に提案され、その後の地震学の研究に影響を与えました。

一方で、1906年の地震が本当にこのモデルのような巨大地震であったのか疑問を呈する研究もありました。そこで本研究では、2016年4月に発生した大地震(M_w 7.7)とその余震の地震波形の解析と、1906年の巨大地震の津波波形の解析を行い、この沈み込み帯での大地震の破壊履歴を調査しました。

【研究の内容】

エクアドル国内の広帯域地震計と広帯域強震計^{注1)}の観測網（図2a）及び遠地の広帯域地震観測網を用いて、2016年に発生した大地震(M_w 7.7)のすべり分布の解析と余震のCMT解析^{注2)}を行いました。その結果、この地震の余震分布は1942年の大地震の余震分布とほぼ同じ分布であり（図2b及びd）、本震の規模も1942年と同程度であることがわかりました。また、2016年の地震のすべり量はこの領域で推定されていたプレート間の固着（図2c）から計算されるすべり欠損^{注3)}とも整合的であったことから、2016年の地震は1942年の地震とほぼ同じ領域を破壊した地震であったことがわかりました。

2016年の地震が1942年の地震の領域を繰り返し破壊したとすると、その再来間隔は74年になります。1906年の巨大地震が従来考えられてきたように1942年の地震の領域を破壊していたとすると、1942年の地震はわずか36年（推定された再来間隔74年のおよそ半分）という間隔で2016年の地震と同規模の大地震を起こしてしまったという矛盾

が生じます。

そのため、次に 1906 年の巨大地震の津波波形の解析を行い、この地震がどの程度の規模でどの領域で地震すべりがあったのか推定を行いました。古い地震のため遠地の津波波形データしか使用できなかったため、地球の弾性等を考慮した遠地津波を正確に計算できる新たな津波計算法^{注4)}を用いて津波計算を行いました。解析の結果、1906 年の地震の規模は M_w 8.4 で、従来考えられていたよりも小さい地震であったことがわかりました。さらにこの地震と過去の大地震の破壊領域を比べてみると、双方の領域は重なっておらず、1906 年の地震は 3つの地震よりも浅い側（海溝側）を破壊した地震であったことがわかりました（図 3）。つまり 1906 年の地震は、従来考えられてきたように 3つの地震の領域を全て破壊して多量のエネルギーを出した地震ではなく、これら 3つの地震とは全く別の地震であったことがわかりました。本研究によって、海溝側では 1906 年の M_w 8.4 の地震を、深部側では個別の領域を破壊する M_w 7 後半クラスの地震を起こすという、沈み込む深さ方向に 2つの破壊様式を示す新たなモデルが提案されました。このモデルに基づくと 1906 年の地震は 1942 年の領域を破壊しておらず、再来間隔の矛盾をうまく説明することができます。

【成果の意義】

本研究によって初めて、定量的な津波波形データによる 1906 年の地震の規模と地震すべりの分布の推定がなされました。その結果、この地震は従来考えられていたような 3つの大地震の領域を全て破壊して多量のエネルギーを出した巨大地震(M_w 8.8)ではなく、3つの大地震よりも浅い側（海溝側）を破壊したより規模の小さい地震(M_w 8.4)であったことがわかりました。連動型地震の最も典型的な例の 1つとされてきたエクアドル・コロンビア沈み込み帯で連動型地震モデルに疑問符が付けられたことは、今後の大地震の発生や連動メカニズムを考える上で重要な意義があると考えられます。今後さらに他の地域の古い地震についても同様の調査が行われることで、これらのメカニズムに関する理解の深まりが期待されます。

津波は断層の走向方向と直交する方向に振幅が大きくなる性質があるため、遠く南米で発生した大地震による津波でも日本へ被害をもたらすことがあります。例えば 2010 年に南米チリで発生した巨大地震(M_w 8.8)では、実際に最大 1 m 強の津波が観測されました。当時、気象庁によって大津波警報（高いところで 3 m 程度以上の津波）が出されましたが、実際に観測された津波の高さは予測よりも小さく、予測精度の向上が課題となっていました。従来考えられてきた 1906 年の地震の規模(M_w 8.8)と本研究で新たに推定された規模(M_w 8.4)の地震が生じた際の、日本で予想される津波高さの分布を図 4 に示しています。予想される津波高さは最大で 3 倍程度異なることがわかります。気象庁の遠地地震による津波予測に使用されるデータベースは、過去に発生した地震を参考に作られているため、遠地での大地震の正確な震源モデルの推定は、日本での津波予測の精度向上につなが

ると期待されます。

【用語説明】

注1 広帯域地震計と広帯域強震計：

広帯域地震計は、地震動を速い振動から非常にゆっくりとした振動まで幅広い周波数帯にわたって記録できるように設計された地震計です。しかしながら、近地で大地震が発生した場合は、強震動によって振り切れてしまうという問題があります。広帯域強震計は幅広い周波数帯域をカバーしつつ、強震動によっても振り切れずに地震動を記録できるという優れた特徴があります。

注2 CMT 解析：

CMT は、セントロイドモーメントテンソルの略で、観測された地震波形を最も良く説明する地震の重心位置（セントロイド）とモーメントテンソル（断層の向きや地震すべりの方向、大きさを示すパラメータ）を解析によって推定します。地震学では断層のメカニズムをビーチボールで表します。ビーチボールの詳細な見方や意味については、気象庁の発震機構解と断層面のページなどを参考にしてください。

(<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/kaisetu/mechkaisetu2.html>).

注3 すべり欠損：

プレート境界地震は、プレート同士が固着することで応力を蓄積し、それが限界に達した時に起こると考えられています。プレートの相対的平均速度から期待される相対変位量から実際の相対変位量を差し引いた量をすべり欠損と呼びます。

注4 遠地津波を正確に計算できる新たな津波計算法：

2010年チリ地震が発生した際に、太平洋の対岸から伝播した遠地津波が、理論的に計算された津波波形よりも遅れて到達したということが問題となりました。近年その原因が、従来は計算に考慮していなかった地球の弾性や海水の圧縮性、津波伝播に伴う質量移動による重力場の変動によって生じていることが明らかになり、それらを考慮する津波計算法も提案されました。これにより、遠地津波の到達時刻を正確に予測可能になっただけでなく、遠地津波波形を利用した地震すべり分布の推定もより正確に行えるようになりました。詳しくは東京大学地震研究所ニュースレターを参考にしてください。

(http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/old/wp-content/uploads/2014/06/ERI-nl-plus_No23.pdf).

【論文名】

(名古屋大学の研究グループの著者を太字+下線で示してあります)

“Depth-dependent rupture mode along the Ecuador-Colombia subduction zone”

M. Yoshimoto, **H. Kumagai**, W. Acero, G. Ponce, F. Vasconez, S. Arrais, M. Ruiz, A. Alvarado, P.P. Gracia, V. Dionicio, O. Chamorro, **Y. Maeda**, M. Nakano

掲載誌 : Geophysical Research Letters

DOI: 10.1002/2016GL071929

論文 URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016GL071929/full>

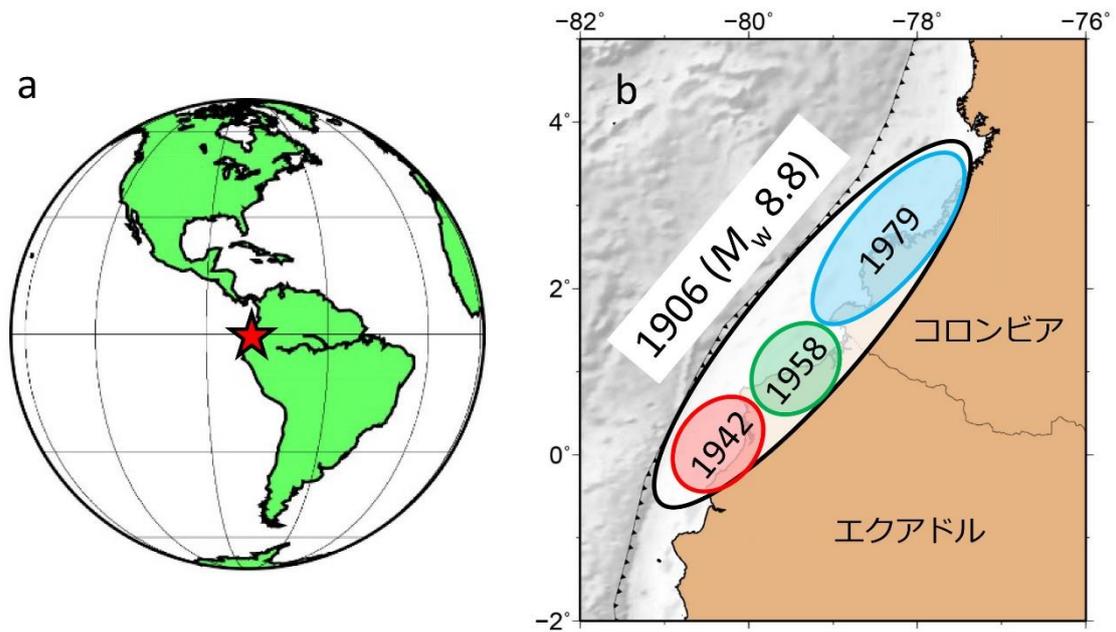


図 1. (a) 今回の解析対象であるエクアドル・コロンビア沈み込み帯の位置 (図の赤い星)。(b) エクアドル・コロンビア沈み込み帯における、従来考えられてきた大地震の震源域の模式図。これまで 1906 年の地震は 1942 年、1958 年、1979 年の領域を連動破壊して M_w 8.8 の巨大地震となったと考えられてきた。

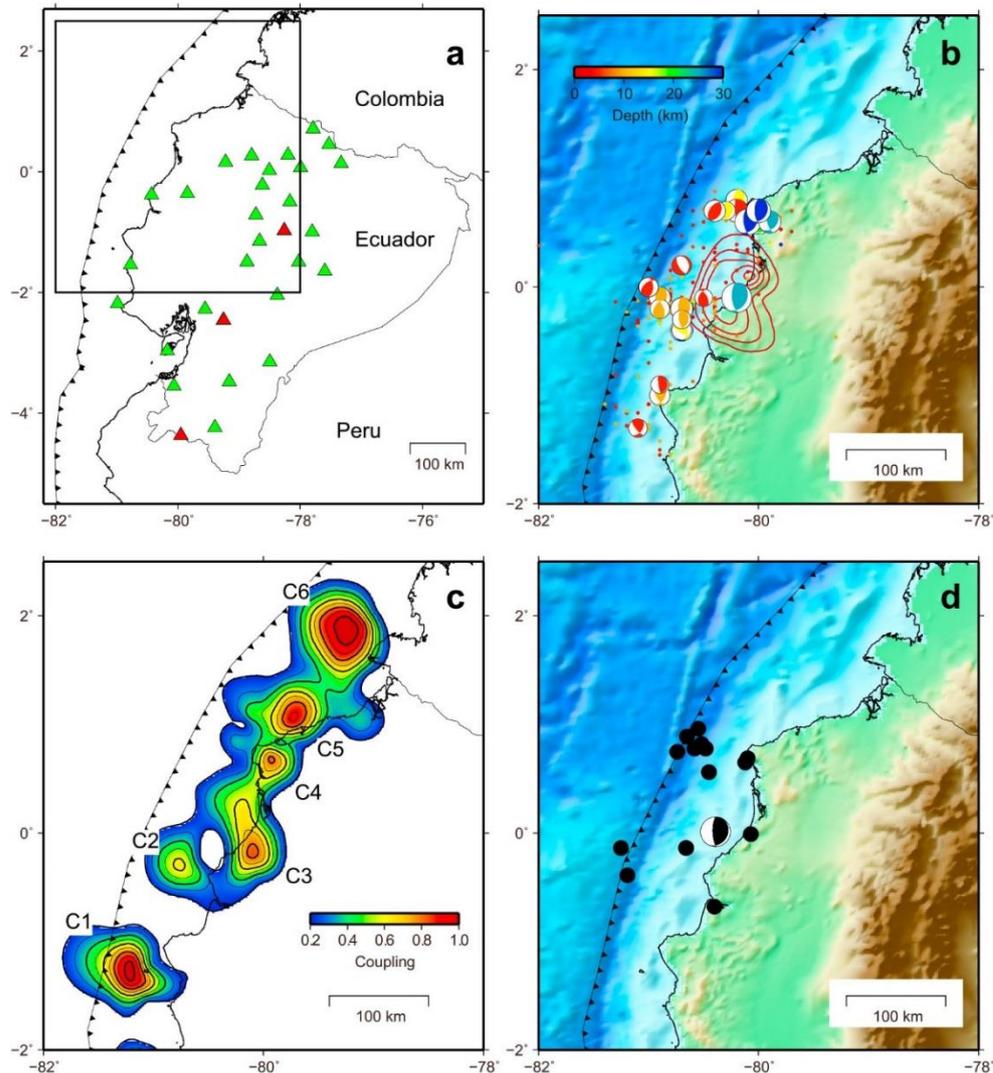


図 2. (a) CMT 解析に使用した広帯域地震観測点。赤い三角が広帯域強震計。緑の三角が通常の広帯域地震計。2016 年の本震時は、強震動によって通常の広帯域地震計は全て振り切れていたため、広帯域強震計を用いて解析を行った。黒い四角の枠は、図 2 (b)-(d)の領域を示している。

(b) 2016 年の本震の CMT 解 (赤い等高線中心付近のビーチボール) と地震時のすべり分布(赤い等高線。すべり量 0.4m 間隔で引かれている)、及び余震($M_w > 4.5$)の CMT 解 (赤い等高線周りのビーチボール) の分布。赤い点は余震($M > 4.0$)の震央位置を示す。

(c) 先行研究によって推定されたプレート間固着の分布。強く固着している領域を赤で示している。2016 年地震で破壊した領域は C3 のパッチに相当する。

(d) 先行研究によって推定された 1942 年の CMT 解 (黒のビーチボール) と余震(黒い点)の分布。2016 年の余震分布の広がりや良く一致し、2016 年と 1942 年はともに C3 の領域を破壊した地震であったと考えられる。図は発表論文である Yoshimoto et al. (2017) の Figure 1 より引用。

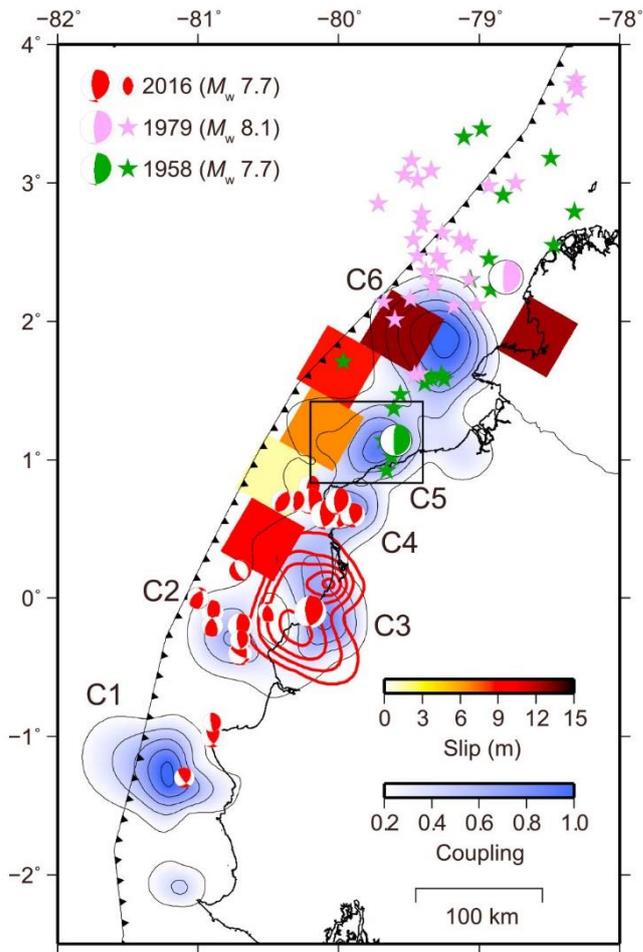


図 3. 1906 年の巨大地震の地震時すべり分布（暖色系の色で塗られた四角形）と過去の大地震(1958 年、1979 年、2016 年)との比較。青い等高線は図 2 (c)のプレート間固着の分布を示している。2016 年の地震（赤い等高線）は C3 の領域に対応し、1942 年地震も同様の C3 領域を破壊したと考えられる。余震の CMT 解を赤いビーチボールで示しており、C2 と C4 の領域に対応する。1958 年の地震（緑のビーチボール）は C5 の領域に対応し、余震を緑の星で示している。1979 年の地震（ピンクのビーチボール）は C6 以北の領域を破壊したと考えられる。1906 年の地震はこれら大地震のさらに海溝（三角付きの黒い線）側で大きな地震すべりがあったことが本研究によって推定された。図は発表論文である Yoshimoto et al. (2017) の Figure 4 より引用。

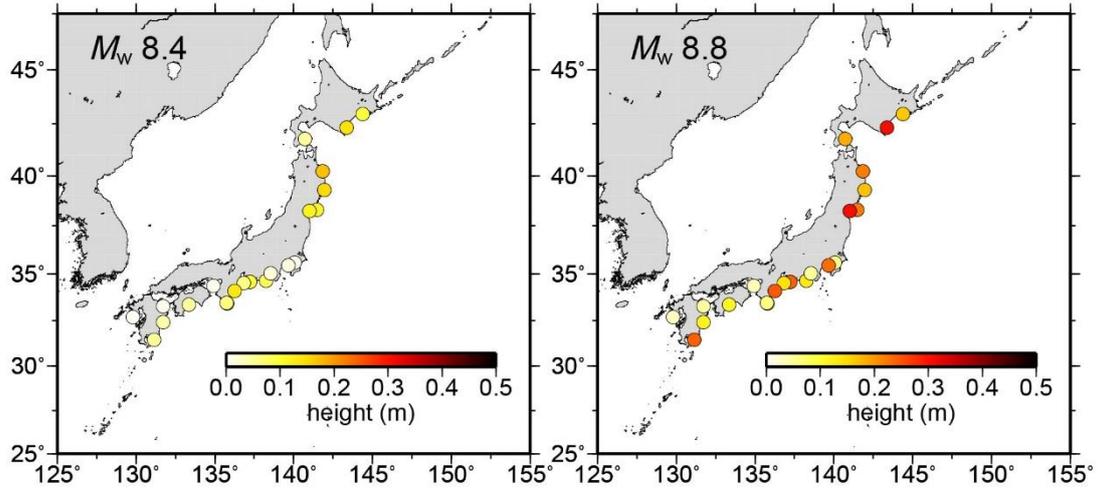


図 4. 1906 年に起きた巨大地震による日本での津波高さ予測。左が本研究で新たに推定された $M_w 8.4$ のモデルによる津波高さ予測、右が従来考えられてきた $M_w 8.8$ による津波高さ予測。赤いところほど大きな津波が到達することを示している。従来のモデルでは津波高さが 2 倍から 3 倍程度大きくなっている。 $M_w 8.8$ のモデルには発表論文である Yoshimoto et al. (2017) の Figure 2a の $M_w 8.8$ 一様すべりモデルを使用。