

海底観測で捉えた海溝近傍のスロースリップ -スロースリップ発生域は、津波地震の震源域?-

概要

国立大学法人京都大学防災研究所の伊藤喜宏准教授、国立大学法人東京大学地震研究所の望月公廣准教授、国立大学法人東北大学の日野亮太教授らは、アメリカのテキサス大学オースティン校、コロンビア大学、ニュージーランド地質・核科学研究所、カリフォルニア大学サンタクルーズ校およびコロラド大学ボルダー校らと共同で、ニュージーランドの北島東方のヒ克蘭ギ沈み込み帯で発生するスロースリップを海底に設置した機器で観測することに成功しました。

スロースリップは、ゆっくり地震(※1)の一種で通常の地震と比べてゆっくりと破壊が進行する現象です。東北地方太平洋沖地震直前にも、スロースリップは観測され、スロースリップ域が本震時に再び大きくずれ動くことで甚大な津波被害の一因にもなりました。一般に沈み込み帯の浅部(海溝付近)で発生するスロースリップの観測は困難なため、スロースリップそのものの理解は未だ不十分です。我々はアメリカ・日本・ニュージーランドによる国際共同研究として、ヒ克蘭ギ沈み込み帯において海底圧力計を用いた海底地殻変動観測を実施し、2014年9月に発生したスロースリップを観測することに成功しました。解析の結果、これまで陸上の観測網から推定されていたスロースリップの断層より海側の浅い部分までスロースリップの断層が広がっていることがわかりました。この結果は、従来、プレートの沈み込みに伴い歪を蓄積できないと考えられていた沈み込み帯浅部のプレート境界において、地震を起こしうる歪が蓄積されている可能性を示します。今後、沈み込み帯沿岸部の地震発生ポテンシャルを評価する上で重要な成果です。本成果は、米国科学誌「*Science*」に5月6日付け(日本時間)で掲載されました。

1. 背景

ニュージーランド北島東方沖のヒ克蘭ギトラフでは、太平洋プレートが3-6 cm/年の速度で陸側のオーストラリアプレートの下に沈み込んでいます。この沈み込みに伴いプレート境界付近ではスロースリップが、18-24ヶ月周期で発生しています。スロースリップによる地殻変動は、これまでニュージーランドの陸上に設置されているGPS観測点で観測されていました。陸上で観測される水平地殻変動量は1-3 cm程度で、通常1-2週間程度継続することが知られています。しかしながら、その詳細についてはスロースリップのすべり域のほとんどは海底下にあるため十分知られていませんでした。日本・アメリカ・ニュージーランドからなる国際共同研究プロジェクト“Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip”(HOBITSS)は、2014年5月に24台の海底圧力計を、ニュージーランド北島東方沖に設置し、2015年6月にそれらの回収に成功しました(図1)。

2. 研究手法・成果

回収された圧力計記録から潮汐成分や海洋ノイズを取り除き、上下地殻変動を抽出した結果、陸上 GPS 観測点で検出された 2014 年 9 月のスロースリップの期間に、海底で 150~540Pa の圧力低下が記録されていました。これはスロースリップにより海底が 1.5~5.4cm 隆起したことに対応します (図 2)。

得られた陸上および海底の地殻変動量からスロースリップの空間分布 (スロースリップ断層) を求めたところ、主なすべり域 (すべり量 10-20cm) は海底下 4-7 km のプレート境界と推定されました。また、5 cm 程度のすべりが海底下 2 km 付近のプレート境界のごく浅部で発生し、一部はトラフ底 (海底) まで到達していることも分かりました (図 3)。これは従来、陸上の GPS 観測網のみから知られている結果に比べて、スロースリップ域がプレート境界のより浅部にまで分布することを示します。

プレート境界浅部のスロースリップ域の一部は、1947 年にヒ克蘭ギ沖で発生した津波地震 The 1947 Gisborne earthquakes:※2) の震源域と一致します。津波地震では、通常、推定される地震のマグニチュードに(比べて大きな津波が観測されます。すなわち、実際に沿岸部で感じる揺れから予測される津波よりも大きな津波が沿岸部に到達する地震です。日本では、1896 年明治三陸地震が津波地震であったと考えられています。今回得られた結果は、スロースリップ域が通常地震と同様にプレートの沈み込みに伴いプレート境界部に歪を蓄積し、地震性すべりとして歪を解放して津波地震の震源域となる可能性を示します。

トラフ底付近では、スロースリップのすべり量が大きな領域の近くにすべり量の小さな領域が存在することも分かりました。特にすべり量の小さな領域は、地磁気異常から推定された沈み込む海山の位置とよく一致します。日本海溝や南海トラフでも陸側のプレートの下に沈み込む海山の存在が知られています (例えば、Mochizuki et al., 2008)。しかしながら、これらの海山が巨大地震に果たす役割、すなわち地震時に大きなすべりを引き起こすのか、それとも地震時のすべりを抑制する (止める) のかは、未だ明らかではありません。今回得られた結果では、スロースリップのすべり量が沈み込む海山の位置で小さくなっているため、海山がスロースリップに対してすべりを抑制する「バリアー」として働いている可能性が示されました。

3. 波及効果

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、スロースリップが本震発生から 1 ヶ月前から本震の震源域内で発生していました (Ito et al., 2013)。さらに、このスロースリップ域内では、本震時に 30m を超えるすべりが観測されています。また、最近の室内実験による研究では、スロースリップがスロースリップ断層そのものの強度を低下させる、すなわちすべりをより促進させる効果も示されています (Ito and Ikari, 2015)。現在、南海トラフや日本海溝では、海底ケーブル式の海底圧力計の整備が進められており、スロースリップのリアルタイム観測が可能となりつつあります。今回の成果は、日本海溝や南海トラフ沿いの津波地震の発生ポテンシャルの評価において、浅部のスロースリップの発生状況のモニタリングやプレート間の固着状況の調査・研究の重要性を改めて示す結果となりました。

また、東北地方太平洋沖地震震源域の南限にあたる茨城県沖合の海底下には、海山が沈み込んでいることが分かっていました (Mochizuki et al., 2008)。本震から 30 分後には、この茨城県沖を震源とした Mw7.9 の最大余震が発生し、その地震時断層すべりが海山の前方で停止していることが示されています (例えば Kubo et al., 2013)。このような沈み込んだ海山が断層すべりに及ぼす影響については、最近数値シミュレーションによって詳しい調査が行われ始めています。今回の結果では、スロースリップでも海山が断

層すべりを抑制していることが初めて明らかとなり、数値シミュレーションに重要な制約条件を与えることになりました。沈み込んだ海山周辺の海域における地震・地殻変動観測に加え、海底掘削によるプレート境界断層物質の調査から、より詳細なプレート境界の性質を明らかにし、例えば紀伊水道沖南海トラフに沈み込んでいる海山の南海地震の断層すべりに対する影響の予測など、数値シミュレーションの精度向上による地震・津波被害軽減への貢献が期待されます。

4. 今後の予定

本成果が得られた海底観測と同様の圧力観測は2013年から現在まで継続して行っています。2016年6月にはニュージーランドの研究船舶を用いて現在設置されている海底圧力計6台を回収し、新たに8台の海底圧力計を設置する予定です。また、定常的なプレートの動きを調べる目的で、海底GPS観測も今後行っていく予定です。これらの観測は、少なくとも2018年まで継続し18-24ヶ月周期で発生するスロースリップを複数回観測することで、繰り返し発生するスロースリップの固有性を検証する予定です。

今回スロースリップが観測された海域では、2018年に海底掘削が計画されています。また将来、日本の地球深部探査船「ちきゅう」による掘削も検討されている地域です。これらの掘削によりスロースリップの断層物質を直接取得することで、深部で発生するゆっくり地震の地質学・物質科学的描像を明らかにし、陸上および海底の地震・測地観測で得られるゆっくり地震の知見と併せて、スロースリップの根底にあるメカニズムの理解を目指します。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Slow slip near the trench at the Hikurangi subduction zone, New Zealand

著者名：Laura M. Wallace¹, Spahr C. Webb², Yoshihiro Ito³, Kimihiro Mochizuki⁴, Ryota Hino⁵, Stuart Henrys⁶, Susan Y. Schwartz⁷, Anne F. Sheehan⁸

所属：1. テキサス大学オースティン校（アメリカ）、2. コロンビア大学、3. 国立大学法人京都大学防災研究所、4. 国立大学法人東京大学地震研究所、5. 国立大学法人東北大学理学研究科、6. ニュージーランド地質・核科学研究所（ニュージーランド）、7. カリフォルニア大学サンタクルーズ校（アメリカ）、8. コロラド大学ボルダー校（アメリカ）

<用語解説>

※1 ゆっくり地震

通常の地震に比べて遅い断層すべり速度で歪を解放する現象を示す。ゆっくり地震は、その規模（または継続期間）によって、スロースリップ（マグニチュード（M）5以上）、超低周波地震（M3～4クラス）、低周波地震・微動（M2クラス以下）と呼ばれ、スロースリップの場合、その継続時間は数日から1年以上に及ぶ。東北地方太平洋沖地震発生前には、日本海溝の海溝軸近傍に設置された海底圧力計により本震震源域付近でスロースリップ、および海底地震計により微動が観測されている。ゆっくり地震が特に観測される地域は、南海トラフ、米・カナダ国境付近の太平洋沿岸部およびメキシコの太平洋沿岸部である。

※ 2 津波地震と The 1947 Gisborne earthquakes

表面波や実体波から推定される地震のマグニチュードに比べて大きな津波が観測される地震を示す。実際に沿岸部で感じられる揺れから予測されるよりも大きな津波が沿岸部に到達する。

1947年にギズボーン（Gisborne）の沖合で2つの津波地震が3月25日（モーメントマグニチュード M_w 7.1）と5月17日（ M_w 6.9）にそれぞれ発生した(Downes et al., 2000)。地震発生直後の表面波マグニチュードはそれぞれ5.9および5.6と推定され、沿岸部では10m前後と5m前後の大きな津波が観測された(<http://infor.geonet.org.nz>)。

参考文献：

- Downes, G. et al., 2000. The March 25 and May 17 1947 Gisborne earthquakes and tsunami: implication for tsunami hazard for East Coast, North Island, New Zealand. In: V.K. Gusiakov, B.W. Levin and O.I. Yakovenko (Editors), *Tsunami risk assessment beyond 2000: theory, practice and plans, Moscow*, pp. 55-67.
<http://info.geonet.org.nz/display/tsunami/Gisborne+tsunami,+25+March+and+17+May+1947>
- Ito et al., 2013. Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 600, 14–26.
- Ito and Ikari, 2015. Velocity- and slip-dependent weakening in simulated fault gouge: Implications for multi-mode fault slip, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9247–9254, doi:10.1002/2015GL065829.
- Kubo et al., 2013. Source-Rupture Process of the 2011 Ibaraki-oki, Japan, Earthquake (M_w 7.9) Estimated from the Joint Inversion of Strong-Motion and GPS Data: Relationship with Seamount and Philippine Sea Plate, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 3003-3007, doi:10.1002/grl.50558.
- Mochizuki et al., 2008. Weak interplate coupling by seamounts and repeating $M\sim 7$ earthquakes, *Science*, 321, 1194-1197.

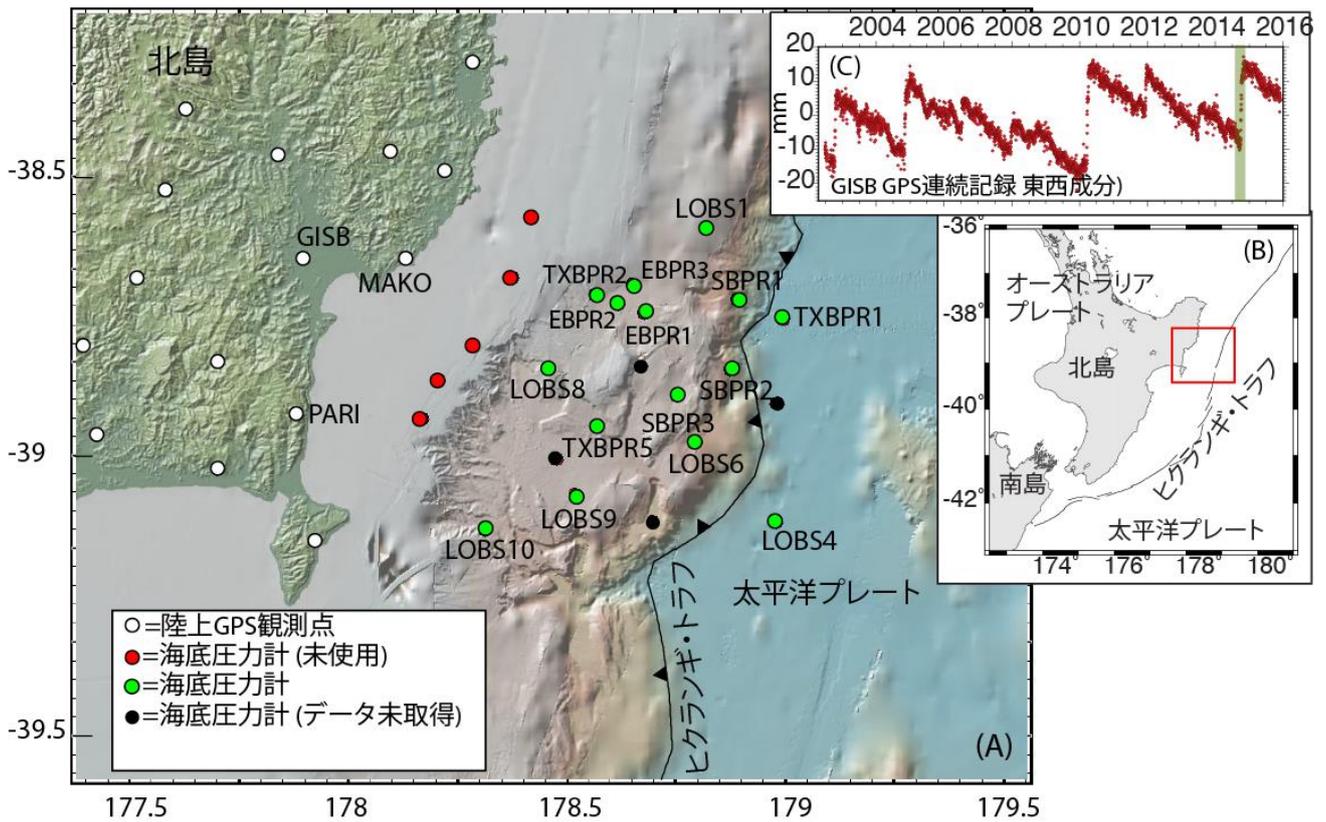


図 1 : ニュージーランドのヒクランギ沈み込み帯 (B) に設置された海底圧力観測網 (A) と陸上 GNSS 観測点で観測されたスロースリップによる地殻変動 (C)。解析には緑色の位置に設置された海底圧力計の記録と陸上 GPS 観測点の記録を併せて用いた。

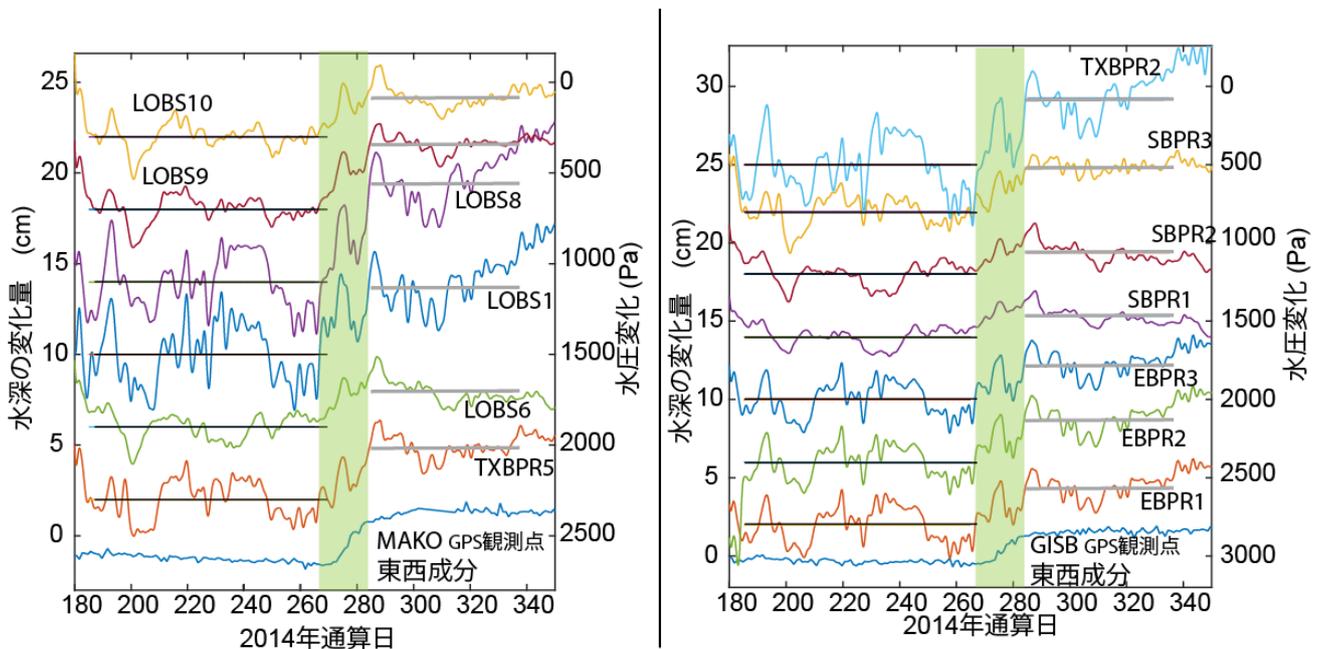


図 2 : 海底圧力計で観測されたスロースリップイベントに伴う海底上下変動。すべての海底圧力観測点で 2 週間弱の間に 1.5~5.4cm の海底の隆起が観測された。

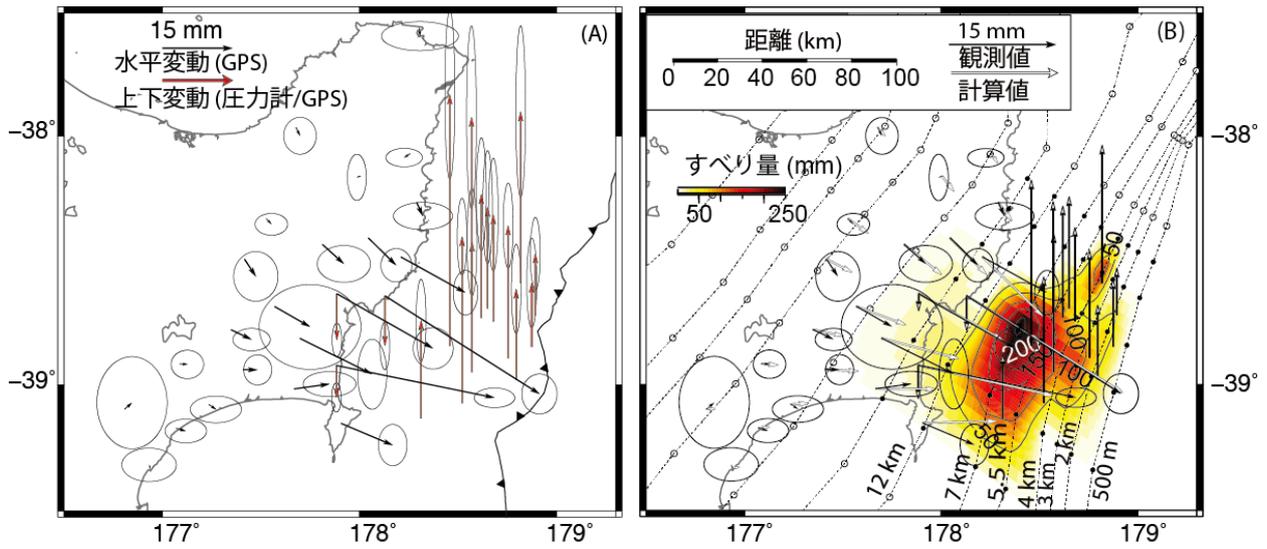


図3： 2014年9月下旬から10月上旬に発生したスロースリップに伴う地殻変動（A）と地殻変動記録から求めたスロースリップのすべり域（スロースリップ断層）。プレート境界で最大で20cm程度のすべりがスロースリップにより発生した。スロースリップのすべり域の大きさとすべり量から、地震のマグニチュードに換算するとマグニチュード6.8程度の規模となる。

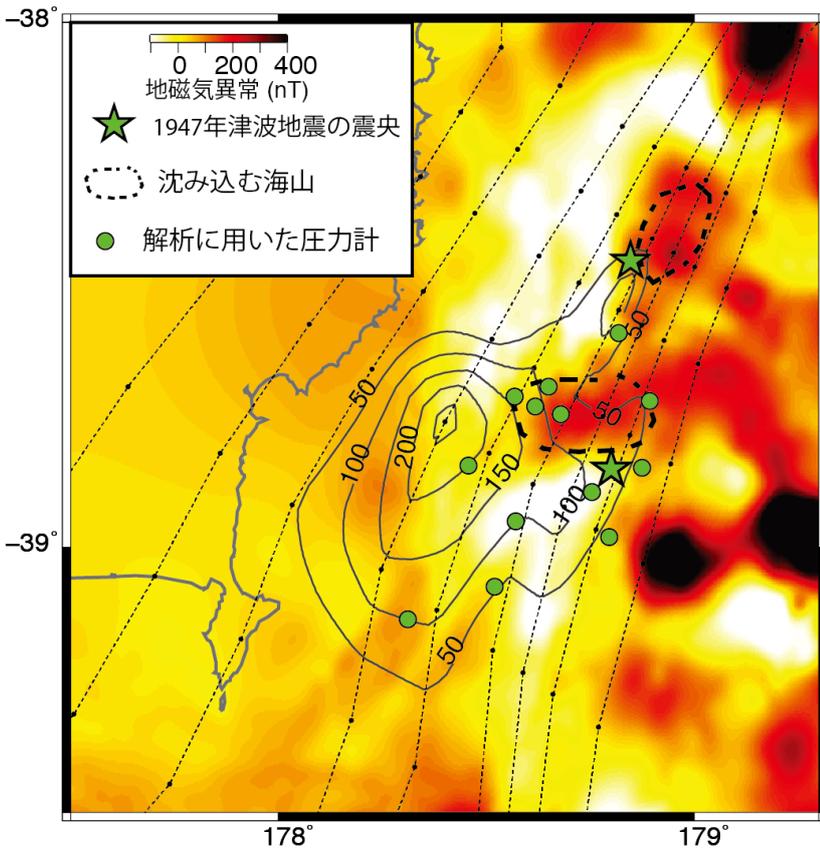


図4： スロースリップ域と地磁気異常から推定される沈み込む海山との比較。沈み込む海山の位置ではスロースリップのすべり量が周辺と比べて小さい。また、スロースリップ域の一部は1947年に発生した2つの津波地震の震源域と（☆印）一致する。