

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340125

研究課題名(和文) スロースリップの繰り返し周期は何か？ 重力観測で流体の挙動を探る

研究課題名(英文) What controls recurrence periods of slow slips? Exploring the behavior of crustal fluids with gravity observation

研究代表者

田中 愛幸 (Tanaka, Yoshiyuki)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：90508350

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,800,000円

研究成果の概要(和文)：海溝大地震の震源域付近では、スロースリップと呼ばれるゆっくりした断層すべりが、数か月から数年おきに発生している。スロースリップは大地震の引き金となり得るため、スロースリップを予測することは大地震の予測にもつながる。スロースリップの発生には断層面に存在する高圧流体が関わっており、また、流体圧の変化がスロースリップの起こりやすさを変化させることが理論的に予測されている。本研究ではスロースリップ中に流体圧が変動している可能性を、石垣島・西表島で実施した超精密重力観測によって初めて捉えた。

研究成果の概要(英文)：In plate subduction zones, slow fault slips which do not emit seismic waves have been observed by geodetic measurements. They are called slow slip events and occur just beneath the source areas of anticipated inter-plate large earthquakes. Because a slow slip can trigger a large inter-plate earthquake, it is important to know when slow slips occur. Seismological studies have revealed that the presence of high pore-pressure fluids causes slow slips, and some models have shown that variations in the fluid pressure can affect the time when the next slow slip event is initiated. In this study, we conducted high-precision gravity measurements in Ishigaki and Iriomote Islands and detected gravity changes which could be interpreted as a result of a variation in the fluid pressure.

研究分野：測地学・地球物理学

キーワード：地震 重力 スロースリップ 地殻流体 測地

1. 研究開始当初の背景

海溝型大地震が繰り返し発生する環太平洋地域で、地震波を放出しない断層のゆっくりすべり (= スロースリップ) が発見されている。スロースリップは、大地震の震源域の下部で発生し、大地震の震源域に応力変化を及ぼす。このため、前回の大地震から十分時間が経ち、定常的なプレート運動により大地震の震源域に応力が十分蓄積されている場合、スロースリップが引き金となって、大地震を起こす可能性が指摘されている (Beroza and Ide, 2011)。

スロースリップは、海陸のプレートの境界面で発生し、震源の深さは約 30 km である。この深さでは、沈み込む海洋プレートから脱水反応により流体が供給され、モホ面下に高圧の流体が蓄積されている (Kato et al., 2010)。これによりスロースリップの境界面が潤滑され、数日から数年にわたって断層すべりが継続する。この流体の存在は地震波速度の空間変化を観測することで推定されているが、流体の圧力が時間変化するかどうかはまだ分かっていない。理論的には、スロースリップに伴い流体圧が変動するモデルが提出されてきた (Sibson, 1992)。このモデルによれば、流体圧が高まれば断層強度が下がるのでスロースリップがより起こりやすくなる。したがって、もし流体圧をモニターすることができればスロースリップの発生リスクを予測するのに役立つ。

東海地方では約 10 年に一度、スロースリップが観測されている。最近では西暦 2000 年から 2006 年頃まで長期的スロースリップが発生していた。我々は精密重力観測を行うことで、スロースリップが収束する時期に流体圧が変動していた可能性を初めて発見した (Tanaka et al., 2010)。流体圧の変動は地下の質量分布を変化させるため、地上の重力をわずかに変化させる (1 マイクロガル [= 地表の平均重力 9.8 ms^{-2} の 10 億分の 1] の桁が変わる)。この微小な重力変化は FG5 絶対重力計とラコステ相対重力計を組み合わせることで捉えることができた。しかし、スロースリップの始まる時期の観測はまだ行われておらず、また、使用した観測機器の性能が連続観測に不向きなため、流体圧の時間変動を捉えるには重力データの時間分解能が不十分であった。

2. 研究の目的

スロースリップの発生中およびその前後の重力変化を測定することで地下の高圧流体の圧力変動を推定する。流体圧が変動することが実証できれば、上に述べた理論が検証され、スロースリップの発生時期が遠いか近いかを判定することができるようになる。スロースリップの発生は大地震の引き金となる可能性があるため、本研究は大地震の発生リ

スクを評価することにつながる。

3. 研究の方法

研究のアイデアを改めて説明するため、スロースリップに伴う流体の流れと、それに伴う重力変化を図 1 に模式的に示す。スロースリップの始まる前は流体が供給されるだけなので、流体圧は上がっていき、地下の物質が増えるため重力が増加する。スロースリップが始まると、すべりに伴い断層破砕帯が物理化学的に変化し、流路が形成され、蓄積していた高圧流体がスロースリップ域外へ流れ出す。これによりスロースリップ域では圧力は下がり、周囲では圧力が上がることになる。重力も同じように変化する。スロースリップが収束すると、断層破砕帯の流路は次第に塞がっていき、初めの状態に戻る。

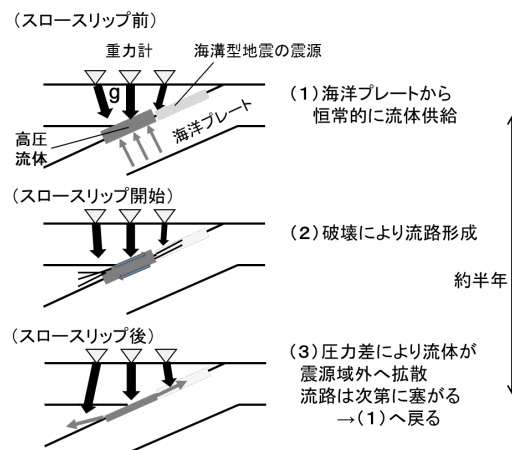


図 1 重力とスロースリップの関係

このようなスロースリップの前後を含むデータを効率的に取得するため、世界のスロースリップの中で最も規模が大きく、かつ繰り返し間隔が最も短く約半年毎に発生する、沖縄県八重山地方のスロースリップを対象とし、重力観測を実施した。重力観測の精度を上に述べた東海の場合よりも高めるため、石垣島地方気象台地震計室と西表島の琉球大学西表研究施設研究棟に東大地震研・国土地理院の FG5 絶対重力計を 1 台ずつ設置するとともに、国立天文台 VERA 石垣局に名古屋大学所有の超伝導重力計 1 台を移設し、3 台を用いて連続観測を実施した (図 2)。



図 2 重力計設置箇所

絶対重力計と超伝導重力計はそれぞれ 1 マイクロガル (10 億分の 1 G) \ 10 ナノガル (1000 億分の 1 G) 程度の測定精度を持つ。本研究で捉えようとしている流体圧の変化に伴う重力変化は、東海の例から数マイクロガルと見込まれる。一方、他の自然現象によってもマイクロガルの桁で重力変動は起こりうる。これらは流体圧の変動の抽出にとってはノイズとなるため、ノイズとなる現象を観測し、重力への寄与をモデル化することで重力データから差し引く必要がある。地殻の上下変動は、国土地理院の GEONET の日々の座標値に基づきモデル化する。スロースリップは約 1 か月継続し、それによる地表変位の観測値から断層運動を推定し、対応する重力変化を弾性体モデルにより計算する。海洋の影響は、潮汐モデル GOTIC2 の他、琉球大学及び気象長の潮位データを用いて見積もった。降雨、気圧、温度、土壌水分については観測点毎に独自にデータを取得し、地下水変化を Kazama et al. (2015) の手法でモデル化した。

以上の方法により補正した重力変化が流体圧の変動によると仮定し、流体圧の変動を東海の場合に用いた物理モデル (Tanaka et al., 2011) により推定し、スロースリップの時間変化と比較することで、流体とスロースリップとの関係を調べる。

4. 研究成果

超高精度の重力観測ネットワークを離島に構築し、所定の精度で重力データを取得することが最初のステップであったが、これを概ね達成することができた。このような精密観測を実施したのは我々が世界で初めてである (現在は我々とカナダのグループのみ)。超伝導重力計は筑波大学で調整した後、2012 年より石垣島へ移設した。現在まで、概ね予定していた精度で安定した観測が続けられている。絶対重力計は、通常 1 週間程度までしか連続観測は行わない機器である。特に高音多湿な環境ではレーザー出力が落ちてしまうため、安定に観測を維持するため、火山地域の観測で培ったノウハウを生かし頻繁に現地で調整を行うことで、観測期間を数か月まで延ばすことができた。その結果、スロースリップを含む期間に、3 台の重力計で同時にデータを取得することに成功した。

図 3 に、例として 2012 年 1 月 1 日から 2 月 1 日までの観測結果を示す。上に述べたノイズは取り除いている。上段は GEONET の石垣島の観測点の上下変動を示し、この期間に 2 回、スロースリップによる約 5 mm 隆起が見られる。その下は超伝導重力計 (SG)、その下 2 つは絶対重力計 (AG) による観測結果を示す。地盤が隆起してすべりが起きている期間 (黄色で色付けしている期間) には、多少の時期の前後があるものの、3 観測点のすべてで、スロースリップの始まるころに増加し、終わ

るころに減少する山型のパターンが見られた。山型の重力変化の大きさは、2 - 6 マイクロガルで、スロースリップのすべりの中心により近い西表の AG 点、石垣の AG 点、石垣の SG 点の順に変化が大きい (縦軸の縮尺に注意)。重力値がスロースリップの収束時に減少していくのは東海でも見られた。スロースリップ開始時期の重力増加の原因はまだ分かっておらず原因を検討中である。後半の部分は東海と同様の流体圧変動のモデルで説明可能であることが確認された。

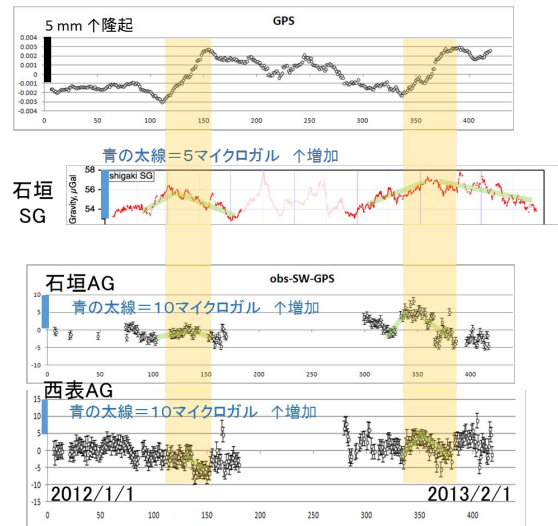


図 3 観測結果

一方、スロースリップの起きていない期間にも、モデルにより取り切れていないノイズのために重力変化が残っている。このため、スロースリップ中の重力変化が流体圧によるものだと断定するためには、さらに多くのスロースリップ時のデータをためるとともに、ノイズの除去を高精度化する必要がある。ノイズのうち台風の影響など原因が明らかなものを除くと、最もモデル化の幅のあるものが地下水である。地下水のモデルは、長期間観測を継続することにより改善できるため、今後、重力データとともに土壌水分等のデータを蓄積することで、流体圧の変動が実証できるものと期待される。

< 引用文献 >

- Beroza G. C., Ide S, Slow earthquakes and non-volcanic tremor, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 39, 271-296, 2011
- Kato, A., et al., Variations of fluid pressure within the subducting oceanic crust and slow earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 37, L14310, 2010
DOI:10.1029/2010GL043723
- Sibson, R. H., Implications of fault-valve behavior for rupture nucleation and recurrence, *Tectonophysics*, Vol. 211, 283-293, 1992
- Tanaka, Y., A. Kato, T. Sugano, G. Fu, X., Zhang, M. Furuya, W. Sun, S. Okubo,

S. Matsumoto, M. Honda, Y. Sugawara, I. Ueda, M. Kusaka and M. Ishihara, Gravity changes observed between 2004 and 2009 near the Tokai slow-slip area and prospects for detecting fluid flow during future slow-slip events, Earth Planets Space, Vol. 62, 905-913, 2010
Kazama, T., S. Okubo, T. Sugano, S. Matsumoto, W. Sun, Y. Tanaka and E. Koyama, Absolute gravity change associated with magma mass movement in the conduit of Asama Volcano (Central Japan), revealed by physical modeling of hydrological gravity disturbances, J. Geophys. Res. Solid Earth, Vol. 120, 1263-1287, 2015
DOI:10.1002/2014JB011563

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

IDE Satoshi and TANAKA Yoshiyuki, Controls on plate motion by oscillating tidal stress: Evidence from deep tremors in western Japan, Geophysical Research Letters, 査読有, Vol. 41, 3842-3850, 2014

TANAKA Yoshiyuki, An approximately 9-yr-period variation in seismicity and crustal deformation near the Japan Trench and a consideration of its origin, Geophysical Journal International, 査読有, Vol. 196, 760-787, 2014
DOI: 10.1093/gji/ggt424

大滝壽樹、名和一成、重力データの地下水擾乱補正に向けた国立天文台石垣島観測局下堆積層内の P 波速度解析、測地学会誌、査読有、Vol. 59、2013、pp. 147-156
池田博、名和一成、今西祐二、超伝導重力計 CT-36 の改修作業とその特性評価、測地学会誌、査読有、Vol. 59、2013、pp. 25-36

[学会発表](計 11 件)

井出哲、田中愛幸、整流潮汐載荷：微動が明らかにする地震発生メカニズム、日本地球惑星科学連合 2014 年度連合大会、2014/4/28、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

TANAKA Yoshiyuki, IMANISHI Yuichi, OKUBO Shuhei, NAWA Kazunari, TAMURA Yoshiaki, MIYAJI Takeshi, IKEDA Hiroshi, OKAMURA Seiji, MIYAZAKI Takayuki, NAKAMURA Mamoru, Gravity changes observed during the long-term slow slip events along the Ryukyu Trench in May 2012 and December 2012,

American Geophysical Union Fall Meeting, 2013/12/12, San Francisco, USA

伊藤忍、名和一成、大滝壽樹、宮川歩夢、山谷祐介、VERA 石垣島観測局における地震波干渉法の予備実験、日本地震学会 2013 年度秋季大会、2013/10/8、神奈川県民ホール(神奈川県横浜市)

今西祐二、名和一成、田村良明、池田博、宮地竹史、田中愛幸、石垣島における超伝導重力計観測(その2)、日本地球惑星科学連合 2013 年度連合大会、2013/5/22、幕張メッセ(千葉県千葉市)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 愛幸 (TANAKA, Yoshiyuki)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：90508350

(2) 研究分担者

名和 一成 (NAWA, Kazunari)
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長
研究者番号：20262082

今西 祐一 (IMANISHI, Yuichi)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号：30260516

田村 良明 (TAMURA, Yoshiaki)
国立天文台・水沢 VLBI 観測所・助教

研究者番号：90150002

(3)連携研究者

大久保 修平 (OKUBO, Shuhei)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：30152078

加藤 愛太郎 (KATO, Aitaro)

名古屋大学・地環境学研究科・准教授

研究者番号：20359201

伊藤 武男 (ITO, Takeo)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：40377982