

C会場 | 一般セッション：S03. 地殻変動・GNSS・重力

📅 2022年10月25日(火) 15:45 ~ 16:45 | 🏢 C会場 8階 (820研修室)

[S03] PM-2

座長: 町田 祐弥(海洋研究開発機構)、木下 陽平(筑波大学)

15:45 ~ 16:00

[S03-01] 重錘形圧力天びんを使った圧力計のドリフト特性の室内実験

*松本 浩幸¹、梶川 宏明²、有吉 慶介¹、荒木 英一郎¹ (1. 海洋研究開発機構、2. 産業技術総合研究所)

16:00 ~ 16:15

[S03-02] 南海トラフ地震発生帯に展開されたDONET水圧計による長期海底地殻変動計測

*町田 祐弥¹、西田 周平¹、松本 浩幸¹、荒木 英一郎¹ (1. 海洋研究開発機構 海域地震火山部門)

16:15 ~ 16:30

[S03-03] 海底光ファイバー歪計で観測した南海トラフの浅部ゆっくり滑りとそれに伴う超低周波地震活動について

*荒木 英一郎¹、横引 貴史¹、馬場 慧¹、山本 揚二郎¹、Zumberge Mark²、西田 周平¹、町田 祐弥¹、松本 浩幸¹ (1. 海洋研究開発機構 海域地震火山部門、2. スクリプス海洋研究所)

16:30 ~ 16:45

[S03-04] 能登半島北部で2020年末から活発化した地震活動に伴う地殻変動のSentinel-1 SAR時系列解析による検出

*木下 陽平¹ (1. 筑波大学)

重錘形圧力天びんを使った圧力計のドリフト特性の室内実験

Experimental characterization of sensor drift of pressure gauges using a pressure standard

*松本 浩幸¹、梶川 宏明²、有吉 慶介¹、荒木 英一郎¹

*Hiroyuki MATSUMOTO¹, Hiroaki KAJIKAWA², Keisuke ARIYOSHI¹, Eiichiro ARAKI¹

1. 海洋研究開発機構、2. 産業技術総合研究所

1. JAMSTEC, 2. AIST

DONETやS-netの圧力計は圧力変化を高分解能で計測できるため、巨大地震発生の準備過程で発生する鉛直方向の地殻変動を計測できることが期待されている。しかしながら、圧力計はドリフト（校正値の経時変化）が発生することが知られており、地殻変動を計測するためには圧力校正が必要である。このドリフトによる誤差を補正するために、加圧－大気圧開放（ゼロ）－加圧のパターンを繰り返し、ゼロ点でのドリフトで加圧時のドリフトを補正する手法（A－0－A方式）があり、すでに海域での試験報告がある（太田ほか、2021）。

本研究では、複数タイプの圧力計に重錘形圧力天びんから一定圧力を連続印加して、ドリフト特性について考察する。室内実験ではDONETやS-netで採用されている水晶振動子を受圧部にもつ「水晶振動式圧力計」と主に産業分野で採用されてきたシリコン単結晶の半導体素子を受圧部にもつ「シリコン振動式圧力計」を計測した。水晶振動式圧力計は3式の8B7000-2-005（Paroscientific社）を、シリコン振動式圧力計は4式のEJX610A（横河電機社）ならびに3式のMT300（横河計測社）を準備して、合計10式の圧力計に重錘形圧力天びんから同時に加圧した（図1）。圧力計はすべて室温環境に設置して計測を行った。8B7000-I-005とEJX610Aは絶対圧力計であるのに対し、MT300はシールドゲージ圧計である。室内実験では、A－0－A方式の加圧パターンで印加した。具体的には、水深2,000 mに相当する20 MPaを約1ヶ月間連続印加して、1日1回約15分間だけ大気圧（ゼロ点）に開放する（図2）。20 MPaを連続印加しているときは重錘形圧力天びんによる基準圧力と圧力計の出力値との偏差を計算し、ゼロ点に開放したときは約10分間待機した後、4分間計測し重錘形圧力天びん内の大気圧計による基準圧力との偏差を計算する。

それぞれの圧力計について、加圧時とゼロ点の基準圧力との偏差の時系列変化の一例を図3に示す。黒点は加圧時の計測データ、赤線は加圧2日目からの指数項と線形項を組み合わせた近似曲線である（Watts & Kontoyiannis, 1990）。薄い黒点はゼロ点の計測データ、青線はその近似曲線である。シリコン振動式圧力計はゼロ点に開放することで、再加圧の直後には一時的にヒステリシスが観測されるが、間もなく元のドリフト曲線に漸近することがわかる。図3は圧力計の種類にかかわらず、一時的にゼロ点に開放しても連続印加の特性は保持されることを示唆する。約1ヶ月間の計測でそれぞれの圧力計のドリフト特性が認識できる。図4に圧力計の雰囲気温度を示すが、8B7000-I-005とEJX610Aの圧力偏差は温度変化に相関していることがわかる。MT300に長周期のゆらぎが観測されているが、雰囲気温度との明瞭な相関は見られない。図3の赤線の線形項の係数がドリフトの特性を表すが、20 MPaを連続印加したときの圧力計の係数は、(a) -0.09 hPa/日、(b) -0.12 hPa/日、(c) -0.10 hPa/日となっている。なおこれらは代表値ではなく、圧力計により個体差がある。

次に、ゼロ点の偏差の時系列変化について考察する。図3に青線で示した近似曲線の線形項の係数は、(a) -0.10 hPa/日、(b) -0.19 hPa/日、(c) -0.09 hPa/日となった。これは上述の20 MPa印加時の係数と調和的である。室内実験でA－0－A方式により、水晶振動式圧力計のドリフト特性を評価した研究はある（Kajikawa & Kobata, 2019）が、シリコン振動式圧力計でも加圧時とゼロ点のドリフト特性が一致することを確認できた。実験室の温度環境で温度特性が計測データに重畳されたが、本研究の室内実験の結果はシリコン振動式圧力計でもA－0－A方式が適用可能なことを示唆する。

謝辞： 本研究の一部は、JSPS科研費（JP19H02411）の支援を受けている。

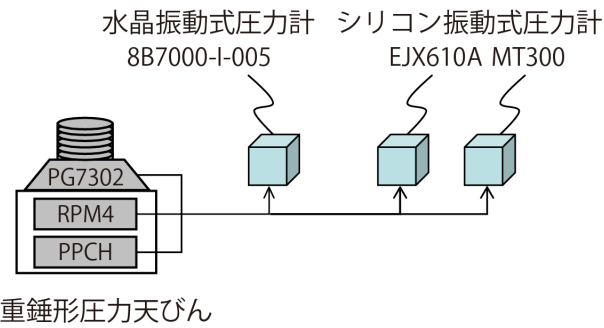


図 1：室内実験のダイアグラム図

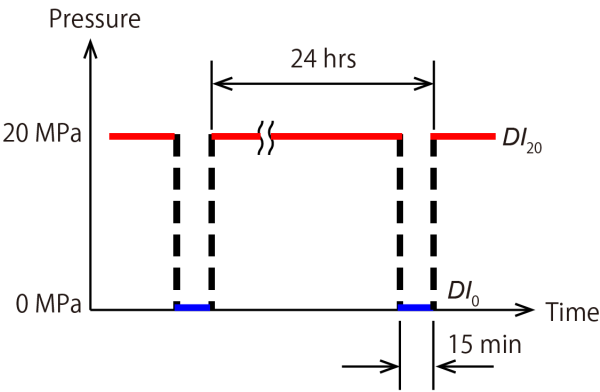


図 2：重錘形圧力天びんの加圧パターン

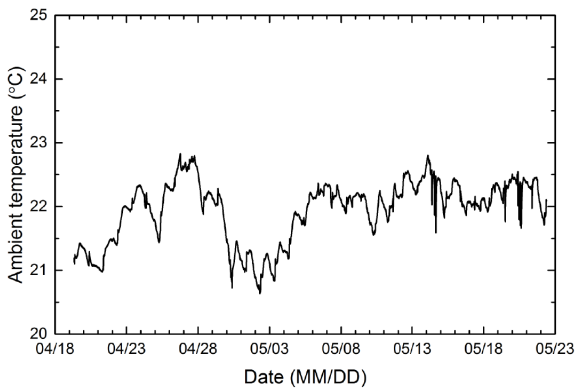
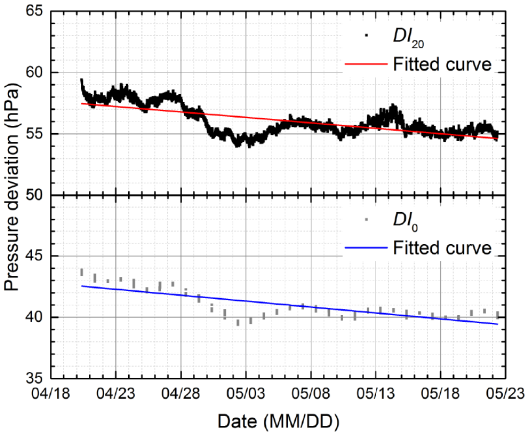
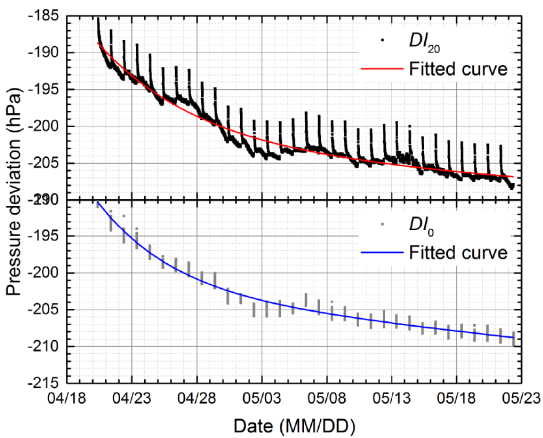


図 4：室内実験中の環境温度変化

(a) 8B7000-I-005/Paroscientific, Inc.



(b) EJX610A/Yokogawa Electric Corporation



(c) MT300/Yokogawa Test & Measurement Corporation

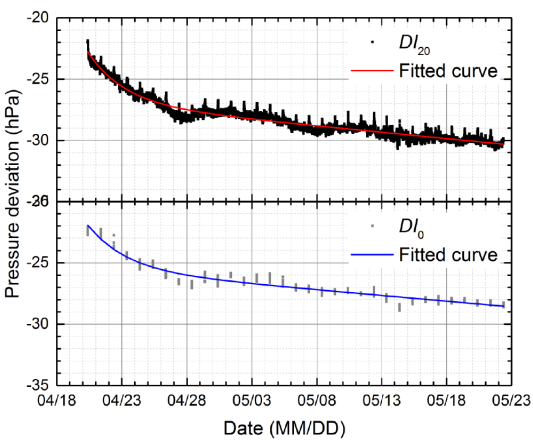


図 3：重錘形圧力天びんからの基準圧力との偏差。
(a) 水晶振動式圧力計、(b) シリコン振動式圧力計
(絶対圧タイプ)、(c) シリコン振動式圧力計（シー
ルドゲージ圧タイプ）

南海トラフ地震発生帯に展開されたDONET水圧計による長期海底地殻変動計測

Seafloor geodetic observation using the pressure gauges without inherent drift components in the Nankai trough seismogenic zone

*町田 祐弥¹、西田 周平¹、松本 浩幸¹、荒木 英一郎¹

*Yuya MACHIDA¹, Shuhei Nishida¹, Hiroyuki Matsumoto¹, Araki Eiichiro¹

1. 海洋研究開発機構 海域地震火山部門

1. JAMSTEC / IMG

海洋研究開発機構では南海トラフに展開されている地震・津波観測監視システム（DONET: Dence Oceanfloor Network system for Earthquake and Tsunamis）に接続された水圧計の校正を繰り返し実施し、水圧計に特有な機器ドリフト成分を水圧記録から切り分けることで長期的な海底地殻変動を捉える試みを行ってきた。DONET水圧計の校正には、絶対的な精度を持った水圧計とDONET水圧計が示す圧力を現場で比較する必要があるが、南海トラフでは年間1cm程度の地殻変動が期待されるため、校正作業を行うためには1cm以下の精度を持った高精度な水圧計が必要である。このため水圧計の計測の不確かさの主要因である圧力ヒステリシス、温度特性、姿勢の影響を最小にすることで高精度な計測を実現する移動式水圧構成装置を開発することで、現場での比較校正作業を実現した（Machida et al., 2019）。さらに現場における校正時にはDONET水圧計との水準差を計測することができ、その水頭差を把握することでDONET水圧計に対して絶対圧力を値付けすることができる。これまでDONET1, DONET2においてそれぞれ1観測点ずつ（MRC10, KMB08）のDONET水圧計の校正を重点的に繰り返し行ってきた。

校正の結果、DONET2海域に設置されたMRC10観測点では1.9cm/year（ ± 0.6 cm）の沈降、DONET1海域に設置されたKMB08観測点では1.2cm/yearの沈降を示した（1hPa = 1 cm）。南海トラフにおいては海上保安庁によるGNSS-A観測により海底地殻変動が繰り返し行われてきており（Yokota et al., 2018）、その中でMRC10観測点、KMB08観測点に近傍なSIOW観測点、KUM3観測点における長期地殻変動成分を比較したところ、KMB08観測点では整合的な変動成分が示された一方で、MRC10観測点においては水圧計による変動成分がやや大きく見られている。より定量的な沈降速度を評価するためには、沈降速度の短期的な変化の可能性や、DONET水圧計が測器の初期ドリフトのような影響を含んでいる可能性があるなど、より慎重な検討が必要である。

海底光ファイバー歪計で観測した南海トラフの浅部ゆっくり滑りとそれに伴う超低周波地震活動について

Shallow slow slip and associated VLFE activity observed by seafloor fiber optic strainmeter in the Nankai Trough.

*荒木 英一郎¹、横引 貴史¹、馬場 慧¹、山本 揚二郎¹、Zumberge Mark²、西田 周平¹、町田 祐弥¹、松本 浩幸¹

*Eiichiro ARAKI¹, Takashi Yokobiki¹, Satoru Baba¹, Yojiro Yamamoto¹, Mark Zumberge², Shuhei Nishida¹, Yuya Machida¹, Hiroyuki Matsumoto¹

1. 海洋研究開発機構 海域地震火山部門、2. スクリプス海洋研究所

1. JAMSTEC Institute for Marine Geodynamics, 2. Scripps Institution of Oceanography

南海トラフでのプレート沈み込み境界域の浅部では、繰り返しゆっくり滑りが発生することが掘削孔内の観測で明らかにされている(Araki et al., 2017). 広域でのゆっくり滑りの時空間的発生を検討するために、これまでの掘削孔の観測網の西側の南海地震震源域の沖合の、ゆっくり滑りの発生が想定される地域の近傍で海底ケーブル観測網(DONET)に接続することで長期間連続観測が行える海底光ファイバー歪計(Zumberge et al., 2018)を開発し、観測を行ってきた。2022年1月12日~2月5日にかけて、海底光ファイバー歪計の観測データはゆっくりとした変化を示し、3週間ほどかけて0.7 μ 歪程度伸長を示した。また、この期間近傍で超低周波地震(VLFE)が観測されており、光ファイバー歪計の接続されているDONET-2Fノード近傍およびDONET-2Gノード近傍で活発なVLFE活動がみられた。さらに光ファイバー歪計では、近傍のDONET-2Fノード付近で発生したVLFEの多くについて、歪観測記録にゆっくりとしたステップ状の変化を観測した。うち、例えばDONETで地震波形インバージョンにより決定されたMw 4.4のVLFEについて光ファイバー歪計によって観測された海底面歪変化量は20n strain程度であった。これは、微小な変化ではあるが、VLFEの断層運動に伴う海底面変動を観測出来ているものと考えられる。また、観測されたVLFEにともなう歪変化は、VLFEの位置・メカニズムと光ファイバー歪計の位置によく関連した極性と推移を示しており、VLFEの断層近傍での歪計測によって、個別の超低周波地震における断層の滑り過程を議論することが可能であると考えられる。一方、3週間の間に観測されたゆっくりとした変化量は、これらのVLFEでの断層運動で説明することは困難であった。従って、観測されたゆっくりとした歪変動は、VLFEがみられたDONET-2Fおよび2Gの広域を跨ぐ可能性のある浅部ゆっくり滑りであって、その滑りによって個別のVLFE断層をローディングし浅部ゆっくり滑りと同時期のVLFEのバースト的なクラスターとなったのではないかと考えられる。VLFEの活動期間は観測された浅部ゆっくり滑りより少し遅れていることも、このようなVLFEの発生メカニズムをサポートするものとする。

能登半島北部で2020年末から活発化した地震活動に伴う地殻変動の Sentinel-1 SAR時系列解析による検出

Sentinel-1 SAR observation at the northern Noto peninsula associated with active seismicity since the end of 2020

*木下 陽平¹

*Yohei Kinoshita¹

1. 筑波大学

1. University of Tsukuba

2020年末頃より、能登半島北部の珠洲市近郊にて地震活動の活発化が確認されている。また、地震活動の活発化と同時期より、国土地理院のGNSS連続観測網GEONETによって地震発生域周辺の観測点で局所的な地表面変位が始まったことが報告されている。西村ほか（2022, 日本地球惑星科学連合大会）はこれらGEONET観測データに加え臨時GNSS観測データを解析し、球状圧力源の膨張により地表面変位を説明できるとしている。しかしながら、GNSS観測は検出精度および時間分解能に優れているものの空間分解能は観測点密度に依存しており、本事例における地表面変位の空間的な詳細は明らかではない。本研究では高空間分解能に地表面変位を検出可能なSAR時系列解析を実施し、能登半島北部での地表面変位の空間的詳細を明らかにするとともに、その結果に基づいて地表面変位の変動源について推定も行なったので、それら結果を報告する。

SAR時系列解析には、C-バンドSARのSentinel-1データを用い、ISCE ver.2ソフトウェアにより干渉解析を実施、得られたSAR干渉画像から時系列解析ソフトウェアLiCSBASにより面的地表面変位の時系列を推定した。C-バンドSARは植生等の影響による干渉性の低下が著しいため、マルチルッキング処理およびスペクトルフィルターを適用して干渉性を向上させている。上記SAR時系列解析を2つの異なる観測方向データに適用することで、2方向について地表面変位速度を求めた。なおSAR時系列解析で用いたSentinel-1Aおよび1BのうちSentinel-1Bについては2021年12月の観測を最後にセンサートラブルにより観測が停止しているため、本研究では2つの観測方向情報が利用可能な2021年12月までのSARデータで時系列解析を実施した。地表面変位画像を解釈しやすくするため、SAR時系列解析で得られた推定変位速度は2.5次元解析により準東西成分と準上下成分に投影した。SAR時系列解析で得られた変位速度の妥当性を検証するため、GEONETのF5解日座標値データを用いた。その際、変位の基準点として珠洲市より西方に位置し本事例による地殻変動の直接的影響が無いとみられる穴水（020972）を設定した。地表面変位の変動源推定には、Fukuda and Johnson（2008, GJI）のFully Bayesian Inversionを用い、SAR時系列解析の変位速度およびGEONETの変位速度を入力としたJoint inversionを実施した。変動源の候補として、本研究では反無限弾性体矩形断層モデルおよび球状圧力源モデルの2つを用いた。

SAR時系列解析および2.5次元解析の結果、珠洲市近郊で顕著な隆起およびその周辺で東西方向に拡大するパターンの変位空間分布が得られた。衛星SAR観測は南北方向の変位に感度が無いものの、東西方向および鉛直方向の推定変位速度については、GEONETで得られた変位速度と時間・空間ともに調和的なパターンが得られている。このSAR変位速度とGNSSの変位速度に対しInversion解析を実施した結果、矩形断層モデルと球状圧力源モデルのいずれでも同程度に地表面変位を説明できるモデルパラメータが推定された。観測変位とモデル変位のRMSEを比較したところ、球状圧力源モデルの方がわずかに良い結果が得られ、西村ほか（2022）の結果を支持する結果となった。ただし矩形断層モデルと球状圧力源モデルのいずれにおいても、SAR変位速度に対して4, 5mm程度のRMSE推定残差が見られていること、またGNSS観測点能都（960574）での1cm程度の南向きの変位を全く説明できていないことから、単一の矩形断層および単一の球状圧力源のみでは、InSAR観測とGNSS観測の両方を十分に説明することはできていないことが示唆される。

本研究はJSPS科研費JP22K19949の助成を受けたものです。