

第 352 回地震調査委員会資料

青森県東方沖におけるウェーブライダーを用いた
海底地殻変動の緊急観測

令和 3 年 (2021 年) 1 月 12 日

国立研究開発法人 海洋研究開発機構

東北大学 理学研究科・災害科学国際研究所

東京大学地震研究所

青森県東方沖におけるウェーブグライダーを用いた海底地殻変動の緊急観測（2020/11/30-2020/12/12）

1. 緊急観測実施の背景

1968 年十勝沖地震（Mw8.2）破壊開始点やすべり域の付近でもあり、1994 年三陸はるか沖地震（Mw7.7）のすべり域の付近でもある青森県沖で、2020 年 11 月 6 日から 7 日にかけて M5 クラスの地震が続発し、前震の可能性が懸念された（図 1）。また、2011 年東北地方太平洋沖地震での観測事実も併せて考えると、今回の活動が次の M8 クラスの地震につながるかどうかを議論するには、震源域近傍での断層すべり・固着状態を把握・評価する必要があるため、ゆっくりすべりを含んだ地殻変動の推移を、できる限り時間および空間分解能を上げて取得する必要があると考えた。このため、海底地殻変動観測用のウェーブグライダーを展開して、既存観測点におけるデータを取得するとともに、海底地殻変動観測点の新設をできるだけ早く行うため、11 月末から予定されていた別目的の航海への相乗りの形で緊急観測を実施した。

2. 観測概要・結果

● 新規海底地殻変動観測点の設置

MR20-E02 航海（「みらい」）において、2020 年 11 月 30 日に新規 GNSS 音響結合方式（GNSS-A）海底地殻変動観測点（G25: 40°41.61'N、143°31.15'E、水深 2289.3 m）を設置した（図 1）。

● ウェーブグライダーを用いた海底地殻変動観測の実施

従来、海底地殻変動観測は観測装置を予め装備した研究船を用いて実施されていたが、1 観測点につき半日以上の観測時間を要する GNSS-A 観測を実施するには研究船は運用コストが高く、乗船研究者の人的コストも高い。JAMSTEC と東北大学が共同して開発に取り組んでいるウェーブグライダー（図 2）を用いた GNSS-A 観測システムは、ウェーブグライダーの投入・回収時に船舶を用いる以外は、全て陸上からの衛星通信で観測を実施することが可能である。ウェーブグライダーは波力によって航行し、観測機材は搭載したバッテリーと太陽光発電によって賄われるため、長期自律的な運用が可能である。そのため、多観測点の網羅的な観測に対しても緊急観測に対しても効果的に運用することができる。2019 年以降に実海域での観測データの取得を試み、その測位精度は船舶で取得した観測データと同等であることが既に示されている（Iinuma et al., 2019）。

緊急観測では、MR20-E02 航海において 2020 年 11 月 30 日にウェーブグライダーを G25 観測点にて投入・観測を実施した後、陸上からのリモート操作により G02・G03 観測点へ航行・観測を実施し、2020 年 12 月 11 日に G03 観測点にてウェーブグライダーを回収した（ウェーブグライダー動静：表 1、ウェーブグライダー航跡：図 3）。観測データは Thuraya 衛星通信機器により準リアルタイムで陸上に送信され、陸上にてそのデータ解析の実施を今回初めて試みた。陸上の解析環境の整備が不十分であったため緊急観測実施中における迅速なデータ解析はできなかったものの、海底地殻変動の検出に必要なデータの準リアルタイム取得には成功した。陸上の解析環境を整えば、観測データを取得後に準リアルタイムで海底地殻変動の検出が可能であると見込まれる。

図4にG02・G03観測点での海底地殻変動の暫定の解析結果を示した。2020年11月以前の観測データから、G02では顕著な変動がなく、G03では2015年2月に発生したスロースリップイベントの影響(Honsho et al., 2019)以外は顕著な変動が見られていなかった。今回の観測結果は、両観測点とも2020年6月の測位結果から大きな変動(特に、断層すべりに伴うような東向きの変位)は見られず、2020年11-12月の地震活動に伴う顕著な非地震性すべり等は三陸沖北部海溝付近のプレート境界では発生していないと考えられる。

● 今後の観測・解析について

上記のG02・G03観測点では、2020年10月にもGNSS-A観測を実施しており、その観測結果との比較を実施する(2020年10月ではリアルタイムのデータ取得を実施していなかったため、今回の緊急観測よりも解析が遅れている)。G25観測点では今回の緊急観測が観測点設置後の初回の観測であるため地殻変動の検出はできていないが、2021年2月に備船航海によって実施予定の観測により、観測間の地殻変動量を検出する見込みである。この間には、2020年12月21日にG25の西(1994年三陸はるか沖地震時すべり域の北端)でM6.5の地震が発生しており、これに伴う余効すべりによる地殻変動が生じている可能性もある。また、今後の観測に備え、陸上でのリアルタイム解析環境の整備を進める計画である。さらに、2021年2月の観測では、図1に示した3点に広帯域海底地震計(観測期間1年)も設置する予定である。なお、図1で赤点線丸で示した領域は、過去のM8クラスの地震時すべりとその余震、1930年以降の地震活動(M5以上)、相似地震のいずれもほとんど起きていない領域である。ここがどのような動きをしているか(固着かすべりか)を明らかにすることも、G25観測点ならびに3つの広帯域海底地震計での観測の重要な課題と考えている。

参考文献：

- Honsho, C., M. Kido, F. Tomita, & N. Uchida (2019). Offshore Postseismic Deformation of the 2011 Tohoku Earthquake Revisited: Application of an Improved GPS-Acoustic Positioning Method Considering Horizontal Gradient of Sound Speed Structure. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124. doi:10.1029/2018JB017135
- Inuma, T., M. Kido, Y. Ohta, T. Fukuda, F. Tomita, R. Hino, & I. Ueki, GNSS-Acoustic Observation Using the Wave Glider to Detect the Seafloor Crustal Deformation Associated with the Temporal Change in the Interplate Locking State, *2019 AGU Fall Meeting*, T51H-0390, San Francisco, Dec. 2019.
- Nagai, R., M. Kikuchi, & Y. Yamanaka (2001), Comparative study on the source process of recurrent large earthquakes in Sanriku-Oki region: The 1968 Tokachi-Oki earthquake and the 1994 Sanriku-oki earthquake (in Japanese with English abstract), *J. Seismol. Soc. Jpn.*, 52, 267–289.
- Yamanaka, Y., & M. Kikuchi (2004). Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 109(7). doi:10.1029/2003JB002683

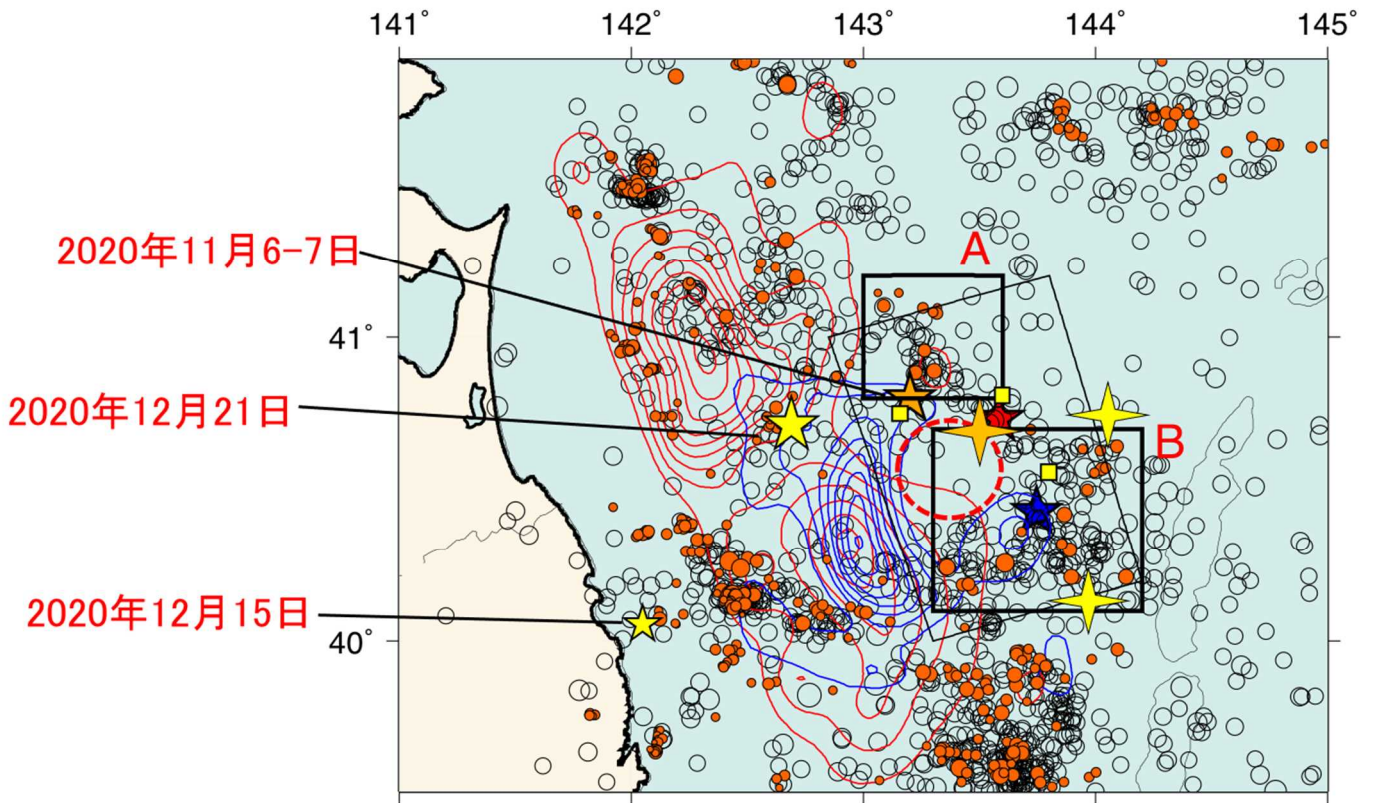


図1 三陸沖北部における地震活動

赤コンターは1968年十勝沖地震 (Yamanaka & Kikuchi, 2004)、青コンターは1994年三陸はるか沖地震 (Nagai et al., 2001) の地震時すべり分布を示す。黒丸は1930年から2020年11月までのM5以上の地震の震央 (気象庁)、橙丸は1984年から2011年までの繰り返し地震を示す。赤星は1968年十勝沖地震の震央、青星は1994年三陸はるか沖地震の震央、橙星は2020年11月・黄星は2020年12月に発生したM5-6クラス地震の震央を示す。黄十字星は既設のGNSS-A観測点 (G02・G03)、橙十字星は新設のGNSS-A観測点 (G25) を示す。黄四角は2021年2月に設置予定の広帯域海底地震計観測点を示す。赤点線丸は過去の地震時すべり・地震活動・相似地震のほとんどない領域を示す。



図2 MR20-E02 航海にて投入直前のウェーブグライダーの全景

ウェーブグライダー位置・姿勢の取得のため、船首・船尾に GNSS アンテナを設置している。船首側の太陽光パネル下に GNSS-A 観測機材（GNSS 受信機・MEMS ジャイロ・音響船上装置等）を収納し、船尾側の太陽光パネル下にウェーブグライダー本体の航行システム・バッテリーを搭載。船尾側の船底に音響トランスデューサーを設置している。中央のポールにフラッシャー・衛星通信アンテナ・Thuraya 衛星通信機材等を設置している。

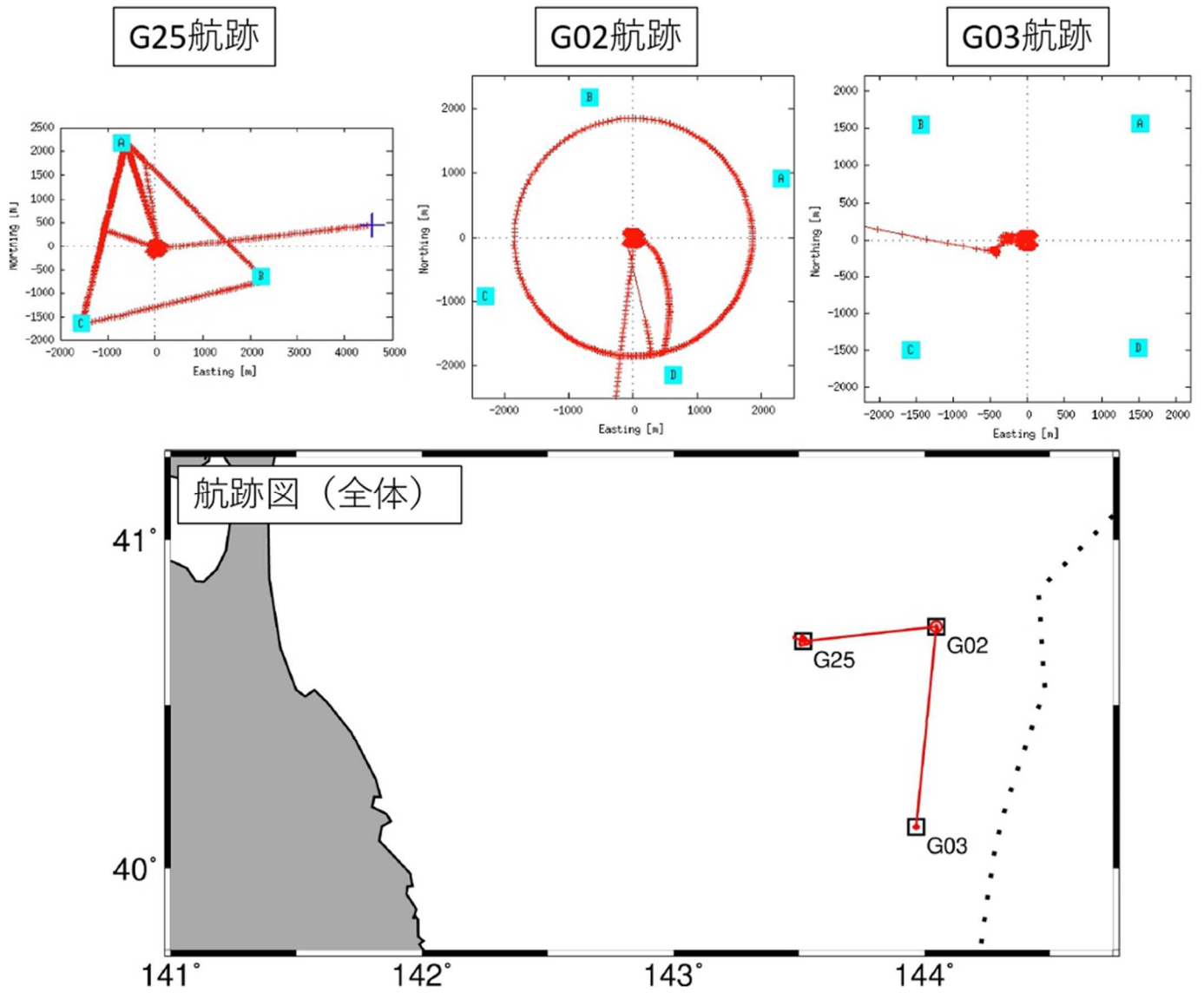


図3 緊急観測におけるウェーブグライダーの航跡
 赤線がウェーブグライダーの航跡、四角が海底地殻変動観測点位置、点線が海溝を示す。

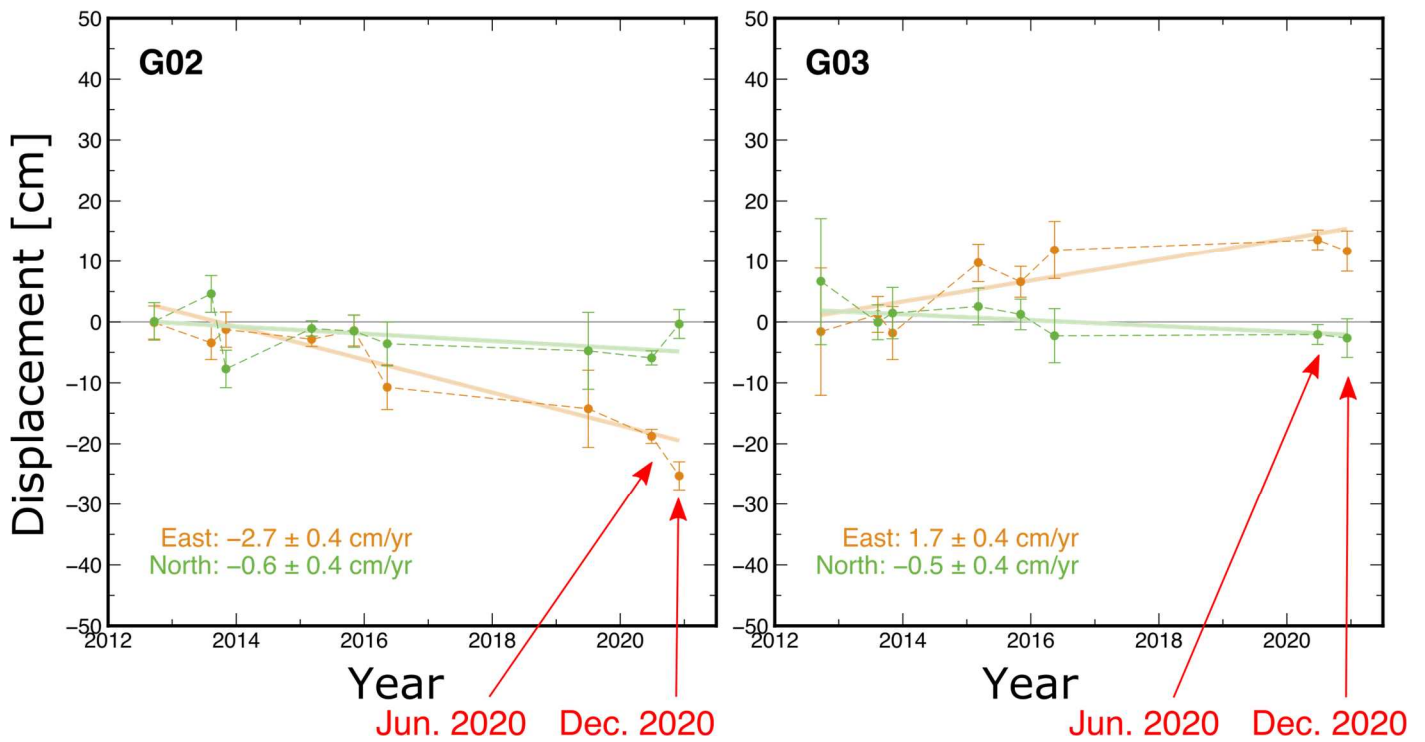


図4 2012年以降のG02・G03観測点の変位（IGS08基準）時系列

橙・緑の時系列がそれぞれ東西・南北成分の変位を示す。エラーバーは、推定誤差の 10σ に相当する。数値上の推定誤差は極めて小さくなるため、経験的に 10σ を用いている（キャンペーン間の相対的な推定誤差の評価には有用である）。各色の実線は、2012–2020年における回帰直線を示す。G03観測点では、2015年2月に発生したスロースリップイベントの影響が含まれる。なお、観測点の真下で固着していれば西北西の変位が観測されることが期待される。

時刻 (JST)	状態	イベント
2020/11/30 6:50		G25 点にてウェーブグライダーの投入
2020/11/30 7:50	G25 での	海底局（海底観測装置）起動作業開始
2020/11/30 8:13	観測	精密音響測距開始
2020/12/2 9:08		G02 点に向けて航行開始
2020/12/2 11:01	観測点間	音響測距システムの電源オフ
2020/12/2 21:00	航行	G02 点着
2020/12/3 8:15	G02 での	海底局起動作業開始
2020/12/3 8:43	観測	精密音響測距開始
2020/12/4 12:00		G03 点に向けて航行開始
2020/12/4 14:35	観測点間	音響測距システムの電源オフ
2020/12/5 6:00	航行	G03 点着
2020/12/7 9:12	待機	ウェーブグライダー内バッテリー回復のため待機 バッテリー消費を抑えるため対水速度計の電源オフ
2020/12/11 8:24	G03 での	海底局起動作業開始
2020/12/11 9:13	観測	精密音響測距開始
2020/12/11 12:17		AIS 搭載船に対する自動避航機能オフ

2020/12/11

13:26

G25 点にてウェーブライダーの回収

表1 緊急観測におけるウェーブライダー動静