ポスター会場（２日目） | 緊急セッション：S24. 2019年6月18日山形県沖の地震

2019年9月17日(火) 17:00 ~ 18:30 | P会場 時計台国際交流ホールII・III

S24P

緊急セッションであるS24のポスターは3日間掲示出来ます。

17:00 ~ 18:30

[S24P-01] AN-net でとらえた2019年6月10日の山形県沖の地震

*関根 秀太郎[1]、阿部 信太郎[1]、笠原 敬司[1]、田澤 芳博[1] (1. 公益財団法人　地震予知総合研究振興会)

17:00 ~ 18:30

[S24P-02] 2019年6月18日山形県沖の地震震源域付近の地殻構造

*野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、佐藤 比呂志[2]、佐藤 壮[3]、三浦 亮[1]、下村 典生[4]、藤江 剛[1]、尾鼻 浩一郎[1] (1. 海洋研究開発機構、2. 東京大学地震研究所、3. 気象庁札幌管区気象台、4. 日本海洋事業)

17:00 ~ 18:30

[S24P-03] 2019年山形県沖地震の震源域周辺のトモグラフィー

*片山 悠[1]、趙 大鵬[1]、豊国 源知[1] (1. 東北大学大学院理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター)

17:00 ~ 18:30

[S24P-04] 震源断層モデル推定の不確実性リアルタイム評価手法の開発-2019年山形県沖の地震への適用-

*大野 圭太郎[1]、太田 雄策[1]、村松 弘規[2]、阿部 聡[2] (1. 東北大学大学院理学研究科附属 地震・噴火予知研究観測センター、2. 国土交通省国土地理院)

17:00 ~ 18:30

[S24P-05] 2019年6月18日山形県沖の地震(Mw6.4)に伴う地殻変動と震源断層モデル

*小林 知勝[1]、矢来 博司[1]、黒石 裕樹[1]、本田 昌樹[1] (1. 国土地理院)

17:00 ~ 18:30

[S24P-06] 強震と測地データから推定した2019年山形県沖の地震の震源過程

*小林 広明[1]、元木 健太郎[1]、纐纈 一起[2] (1. 小堀鐸二研究所、2. 東京大学地震研究所)

17:00 ~ 18:30

[S24P-07] **2019年6月18日山形県沖の地震(M_j6.7)の震源過程解析**

*引間 和人[1] (1. 東京電力ホールディングス(株))

17:00 ~ 18:30

[S24P-08] 強震波形記録を用いて推定された2019年6月18日山形県沖の地震の震源過程

*久保 久彦[1]、鈴木 亘[1]、青井 真[1]、関口 春子[2] (1. 防災科学技術研究所、2. 京都大学防災研究所)

17:00 ~ 18:30

[S24P-09] 強震動波形を用いた震源インバージョン解析による2019年山形県沖の地震（Mw6.4）の震源破壊過程

*倉橋 奨[1]、宮腰 研[2]、入倉 孝次郎[1] (1. 愛知工業大学、2. 地域地盤環境研究所)

17:00 ~ 18:30

[S24P-10] 経験的グリーン関数法による2019年山形県沖の地震の地震動シミュレーションと強震動生成域の推定

*染井 一寛[1]、宮腰 研[1]、郭 雨佳[1] (1. 一般財団法人地域地盤環境研究所)

17:00 ~ 18:30

[S24P-11] ソース・イメージング法を用いた2019年山形県沖の地震における初期段階の破壊過程の推定

*藤本 怜[1]、小割 啓史[1]、小松 正直[1]、竹中 博士[1] (1. 岡山大学大学院自然科学研究科)

17:00 ~ 18:30

[S24P-12] スペクトルインバージョンに基づく2019年山形県沖の地震に関する震源およびサイト特性の評価

*仲野 健一[1]、川瀬 博[2] (1. 安藤ハザマ、2. 京都大学)

AN-net でとらえた2019年6月10日の山形県沖の地震
Yamagata-oki Earthquake observed by AN-net

*関根 秀太郎[1]、阿部 信太郎[1]、笠原 敬司[1]、田澤 芳博[1]
*Shutaro Sekine[1], Shintaro Abe[1], Keiji Kasahara[1], Yoshihiro Tazawa[1]

1. 公益財団法人　地震予知総合研究振興会
1. Association for the Development of Earthquake Prediction

令和元年6月18日22時22分に山形県沖で発生した地震は近傍で最大震度6強を観測した．振興会では震源から100kmほど離れた長岡地域に40点の観測網（AN-net）を展開しており，この地震も観測することができた．そこで，本稿ではAN-netにおいてこの地震がどのように観測されていたかについて報告する．
AN-netの概要
東北日本のひずみ集中帯において大地震が連続して発生し，中越地震および中越沖地震の間にあり，ひずみ集中帯の上に位置する長岡平野西縁断層帯の地震活動性等の調査研究を行うために，（公財）地震予知総合研究振興会は長岡地域に，観測点間隔を5kmから10kmとする高密度の微小地震観測網40点を展開し，2010年11月より運用を行っている（関根・他，2010）．各観測点は地中約100mのボアホールにLennartzの速度計と日本航空電子のサーボ型加速度計を，地表に航空電子のサーボ型加速度計を設置しており，半数の20観測点にはGPSアンテナも設置してある．地震データは振興会本部，東大地震研を経由して，各大学や気象庁，防災科研に送信されており，2017年の12月からは，観測網のうちの4点が気象庁の一元化処理震源の観測点として読み取りに使用されている．（上野・他，2018）．また，GPSデータは名古屋大に送信されており，周囲のGPS観測点と共に解析に使用されている．（鷺谷・関根，2011）
今回の地震データ
今回の地震で得られたAN-net地表加速度計のデータに対してリアルタイム震度（功刀・他，2008）を計算した結果を図に示す．AN-netの観測点においては，震度相当値は飯田観測点と入軽井観測点において4.3が最高であったが，その他の観測点でも平野部の堆積層が比較的厚いと思われる場所で震度４相当を記録した．なお，地中でもリアルタイム震度を計算したところ，最大で震度２であり，これも平野部の方が大きい傾向であった．なお，今回の地震において，AN-net 観測点での電気および通信の切断はなかった．

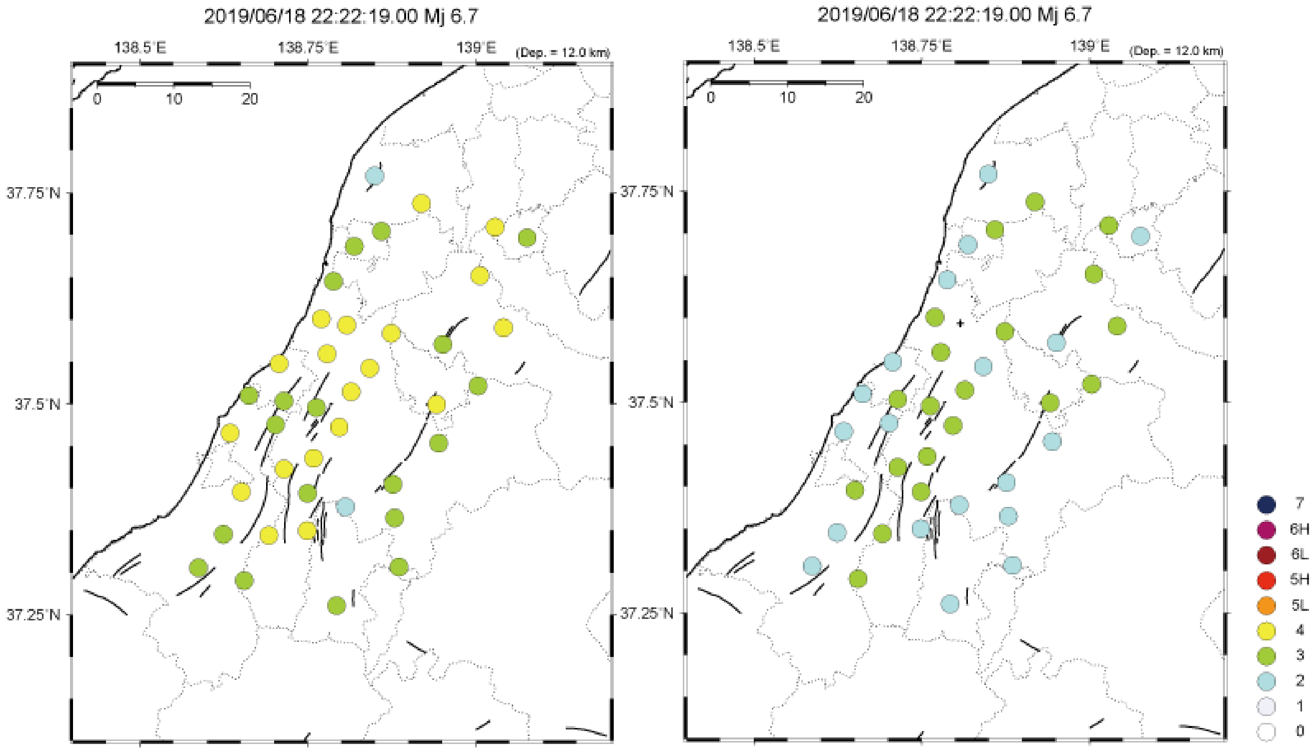
参考文献

上野寛，上田満治，森脇健，溜渕功史，最近の気象庁一元化震源の動向，日本地震学会秋季大会講演予稿集2018,S23-P5,2018

功刀卓，青井真，中村洋光，藤原広行，森川信之，地震2, 60, 243-252,2008

鷺谷威, 関根秀太郎,長岡盆地西縁断層帯周辺における稠密GPS観測(序報)，日本測地学会講演会要旨，116，95-96，2011

関根秀太郎，澤田義博，佐々木俊二，阿部信太郎，田澤芳博,土方勝一郎,西村功,植竹富一, 長岡平野西縁断層帯における微小地震観測網の構築，日本地震学会秋季大会講演予稿集2010，P.120，2010



図：本震の AN-net 観測点でのリアルタイム震度（左図）地表加速度計（右図）地中加速度計

© 日本地震学会

2019年6月18日山形県沖の地震震源域付近の地殻構造
Crustal structure around source area of the Earthquake offshore Yamagata Prefecture on June 18, 2019

*野 徹雄[1]、小平 秀一[1]、佐藤 比呂志[2]、佐藤 壮[3]、三浦 亮[1]、下村 典生[4]、藤江 剛[1]、尾鼻 浩一郎[1]
*Tetsuo No[1], Shuichi Kodaira[1], Hiroshi Sato[2], Takeshi Sato[3], Ryo Miura[1], Norio Shimomura[4], Gou Fujie[1], Koichiro Obana[1]

1. 海洋研究開発機構、2. 東京大学地震研究所、3. 気象庁札幌管区気象台、4. 日本海洋事業
1. JAMSTEC, 2. ERI, Univ. of Tokyo, 3. Sapporo Regional Headquarters, JMA, 4. Nippon Marine Enterprises

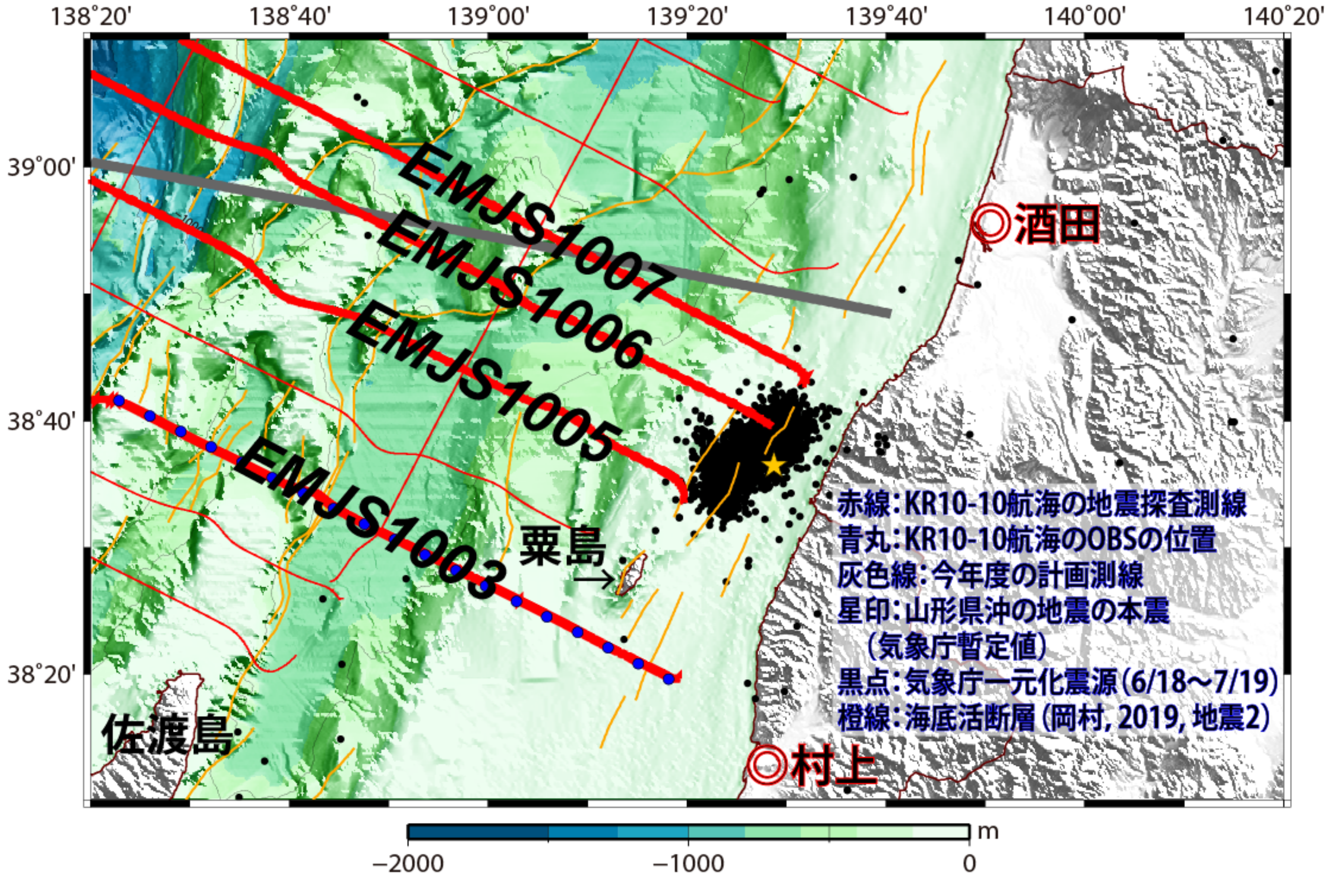
2019年6月18日に発生した山形県沖の地震（M_J6.7）はほとんどの余震が水深100 m以浅の大陸棚に位置している（e.g., 気象庁, 2019, 地震調査委）。この海域は漁業との兼ね合いによって地殻構造探査が難しい海域であるが、日本海においては沿岸域や海陸境界域に活断層が多く分布し、それらの活断層が作用した地震と津波によって、大きな被害が繰り返されている。一方で、地震の発生メカニズムを評価するためには日本海全体においてより深部までの地殻構造の調査を推進する必要性が指摘されており（日本海における大規模地震に関する調査検討会, 2014）、それは沿岸域や海陸境界域も例外ではない。しかし、日本海における沿岸域の深部構造探査や海陸統合探査はまだ事例が多くないため（e.g., 佐藤・他, 2007, 震研彙報; Ishiyama et al. 2017, Tectonophysics）、「日本海地震・津波調査プロジェクト」では今年度山形県沖の地震の北方に位置する酒田沖において海陸統合探査が地震前から計画されていた（e.g., 篠原, 2013, 地震本部ニュース）。

本発表では、山形県沖の地震の震源域近傍で2010年に「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト」の一環として実施されたマルチチャンネル反射法地震（MCS）探査と海底地震計（OBS）を用いた深部構造探査（Sato et al. 2014, JGR; 野・他, 2014, JAMSTEC-R）の結果から、震源域付近の地殻構造について報告する。この調査では、山形県沖の地震の余震分布を完全に横切っている測線はないものの、その近傍まで達しているMCS探査測線が3本（EMJS1005、EMJS1006、EMJS1007）ある（野・他, 2014）。また、震源域から40 km程度南にはOBS探査測線（EMJS1003）が位置している（Sato et al. 2014）。

まず、震源近傍まで達している3本のMCS探査測線の結果（野・他, 2014）をみると、海底地形と比べて堆積層の層厚や基盤形状が複雑に変化しているが、西傾斜の逆断層を伴った構造の形成が顕著である。また、短縮した構造は、EMJS1005とEMJS1006で顕著に確認できる一方で、EMJS1007ではEMJS1005やEMJS1006と比較するとあまり顕著に発達していない。6月30日までの余震分布の北端はEMJS1006とEMJS1007の間に位置しており、余震分布とMCS探査測線間の短縮構造の違いが対応している可能性があるが、EMJS1007は堆積層の層厚が他の測線より相対的に薄いので、慎重に検討する必要がある。

震源域付近の基盤下の地殻内のイメージについては、MCS探査の結果から明瞭な反射面を確認できていない。そのため、EMJS1003のOBS探査測線で得られているP波速度構造の結果から検討する。このOBS測線は、震源域から離れており、さらに今回の震源の位置を測線に投影すると、測線の端点に位置しており、上部地殻の一部までしか解けていない（Sato et al. 2014）。ただし、結果が得られている粟島沖大陸棚西側の構造は大陸地殻的な特徴を示しており、厚さ約10 〜 12 kmのP波速度約5.5 〜 6.4km/sの部分と厚さ約11 kmの約6.7 〜 7.0 km/sの部分に分けられる。堆積層を含めた地殻の厚さは約23 kmで、東北日本弧の地殻より薄いので、リフトした大陸地殻であることが推測されている（Sato et al. 2014）。7月20日までに公表されている現時点で得られている余震分布（e.g., 気象庁, 2019）と比較すると、その余震のほとんどがP波速度約5.5 〜 6.4km/sの部分に位置している。

© 日本地震学会


138°20'
138°40'
139°00'
139°20'
139°40'
140°00'
140°20'
39°00'
38°40'
38°20'
EMJS1007
EMJS1006
EMJS1005
EMJS1003
◎酒田
◎村上
粟島
佐渡島
赤線:KR10-10航海の地震探査測線
青丸:KR10-10航海のOBSの位置
灰色線:今年度の計画測線
星印:山形県沖の地震の本震
(気象庁暫定値)
黒点:気象庁一元化震源(6/18~7/19)
橙線:海底活断層(岡村, 2019, 地震2)
m
−2000
−1000
0

2019年山形県沖地震の震源域周辺のトモグラフィー
Tomography of the 2019 Yamagata-oki earthquake area

*片山 悠[1]、趙 大鵬[1]、豊国 源知[1]
*Yu Katayama[1], Dapeng Zhao[1], Genti Toyokuni[1]

1. 東北大学大学院理学研究科　地震・噴火予知研究観測センター
1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

2019年6月18日22時22分、山形県沖を震源とする深さ14km、M6.7の地殻内地震が発生した。新潟県村上市で震度6強、山形県鶴岡市で震度6弱を観測し、瓦が割れるなどの被害が出た。今回の地震は、過去に大きな被害を出した1964年新潟地震（M7.5）の震源域に隣接した場所で発生した。この地震はオホーツクプレートとアムールプレートがぶつかり合って歪がたまるために生じた逆断層型の地震と考えられており、そのようなM7.0クラスの地震は数年～10数年の間隔をもって日本海東縁部で発生している。

本研究で、我々は今回の地震の震源域周辺において、地殻と最上部マントルの3次元地震波速度構造を調べた。解析にはZhao et al. (1992, 1996)の地震波トモグラフィー法を用いた。使用した地震数は、深さ30 km以浅で発生した微小地震1764個であり、解析に用いたP波走時データは27,203個、S波走時データは24,250個である。これらの微小地震は気象庁で公開されている1997年11月～2017年12月の地震のうち、深さの標準偏差が3km以内、観測点数が10点以上のものから選びだした。また、研究領域内で震源分布が比較的均一になるように処理を施している。使用した観測点は66点である。3次元速度構造を推定するために、3次元グリッドを研究領域に設置した。グリッドの間隔は緯度と経度方向に0.25度、深さ方向に5kmである。計算はP波とS波で独立して行い、得られた3次元P波とS波速度モデルからポアソン比の3次元分布を推定した。

解像度テストとしてCheckerboard Resolution Test (CRT)を行った結果、深さ20㎞までは速度異常の戻りが良い一方、日本海下と深さ25 kmにおいては速度異常の戻りが悪くなる傾向が見られた。これは、日本海側の海底地震の震源決定精度が悪いこと、またインバージョンに使用した地震が深さ30 kmまでしかないことによる。マントル最上部においては速度異常の戻りがよくなるが、これはマントル最上部を伝播するPnとSn波線が多く存在することによる。一方、山形県沖地震の本震が起こった深さ15 km付近の速度構造は良く求まっている。

得られたトモグラフィーの結果から、2019年山形県沖地震の本震は、顕著な高速度・低ポアソン比の異常体の中で発生したことが分かった。それと対照的に、本震震源下の下部地殻と最上部マントルに顕著な低速度・高ポアソン比の異常体が見られた。これは、2019年山形県沖地震を引き起こした、流体で満たされた岩盤(fluid-filled, fractured rock matrix)を反映している可能性が高い。この低速度・高ポアソン比の異常体はより深部へ伸びていく形をしているため、太平洋スラブの脱水反応で生成された流体が上昇してきている可能性がある。このような速度とポアソン比の異常と震源域との位置関係は、1995年兵庫県南部地震 (M7.2)及び2007年新潟中越沖地震 (M6.8)の震源域の異常構造 (Zhao et al., 1996; Xia et al., 2008)とよく似ており、地殻大地震の発生メカニズムを考える上で重要だと思われる。

参考文献

Xia, S., D. Zhao, X. Qiu (2008). The 2007 Niigata earthquake: Effect of arc magma and fluids. *Phys. Earth Planet. Inter.* 166, 153-166.

Zhao, D., H. Kanamori, H. Negishi (1996). Tomography of the source area of the 1995 Kobe earthquake:

Evidence for fluids at the hypocenter? *Science* 274, 1891-1894.
Zhao, D., A. Hasegawa, S. Horiuchi (1992). Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res*. 97, 19909-19928.

© 日本地震学会

震源断層モデル推定の不確実性リアルタイム評価手法の開発-2019年山形県沖の地震への適用-

Real-time automatic uncertainty estimation of GNSS-based coseismic fault model: a case study of 2019 Yamagata-Oki earthquake

*大野 圭太郎[1]、太田 雄策[1]、村松 弘規[2]、阿部 聡[2]
*Keitaro Ohno[1], Yusaku Ohta[1], Hiroki Muramatsu[2], Satoshi Abe[2]

1. 東北大学大学院理学研究科附属 地震・噴火予知研究観測センター、2. 国土交通省国土地理院
1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Geospatial Information Authority of Japan

Rapid understanding of the magnitude of large earthquakes and their associated fault dimensions are extremely important. Since 2012, Geospatial Information Authority of Japan (GSI) and Tohoku University are jointly developing the GEONET real-time analysis system (REGARD). REGARD estimates two types of coseismic fault models in real time, which are slip distribution on the plate interface and single rectangular fault model, using permanent displacement data based on the real-time GNSS analysis. Currently, REGARD adopt the maximum likelihood approach to obtain the optimum model for both types of coseismic fault models. The system, however, has the problems to be solved in single rectangular fault model estimation. For the single rectangular fault model estimation, the problem is the non-linear. Thus, the obtained results strongly depend on the initial values of the fault parameters. Furthermore, it is difficult to estimate the quantitative estimation of the obtained fault parameters because the obtained result and its uncertainties also depend on the initial values of the parameters and assumed Green’s function.

Based on these backgrounds, we developed the method for the real-time uncertainty estimation of the single rectangular fault model using full Bayesian inversion approach. We adopted the MCMC (Markov Chain Monte Carlo methods) to obtain the posterior probability density function (PDF) of the unknown fault parameters. One of the advantages in the MCMC, dependency on the initial value is relatively small compared with current REGARD system.

One of the challenge issues for using MCMC in real time is how to assume the search settings, such as initial value, walk distance, variance of likelihood function, and Burn-in, which are generally decided by the try and error. We investigated the automatic determination of these parameters in real-time. Other challenging issue is calculation time. In generally, the calculation cost of MCMC is problem for the real-time purpose. To improve the performance of the MCMC we optimized the developed code and adopted the OpenMP for the parallelization for the calculation.

In this presentation, we applied the developed method to the 2019 Yamagata-Oki earthquake based on the actual time series from the REGARD and post-processed time series (Q3 solution). We used permanent displacement of 50 sites near the focal area. The length of the Markov chain is 1×10^7 samples and calculation time is approximately 108 seconds. To stabilize the solution, we introduced a prior information from the earthquake early warning (EEW) system. We gave a priori distribution for the fault location based on the EEW information. We also gave the constraint in the direction of the fault dipping based on the aftershock distribution in the case of the Q3 solution.

© 日本地震学会

The result from the REGARD, the developed method successfully obtains the fault model (Figure (a)) even though the value of the variance reduction is not high (~50%) because of the signal to noise ratio of the obtained displacement field was low. The obtained fault model (median value) clearly shows the east-dipping fault. This result basically consistent with the characteristic of the aftershock distribution. In contrast, the marginal PDF clearly shows the trade-off between the fault area and the slip amount. It suggests that the only onshore GNSS data cannot constraint these parameters. These result clearly suggest that our developed method can contribute to estimate the fault model and its uncertainties in real-time. The result from the Q3, the we gave the a prior information for the direction of the fault dipping. Both of the fault dipping direction (east and west dipping), obtained fault model can explain the data (Figure (b)). This result also suggest that the difficulty of the determination of the fault geometry only from the onshore GNSS data. In the presentation, we will discuss how to obtain the more reliable fault model in real time.

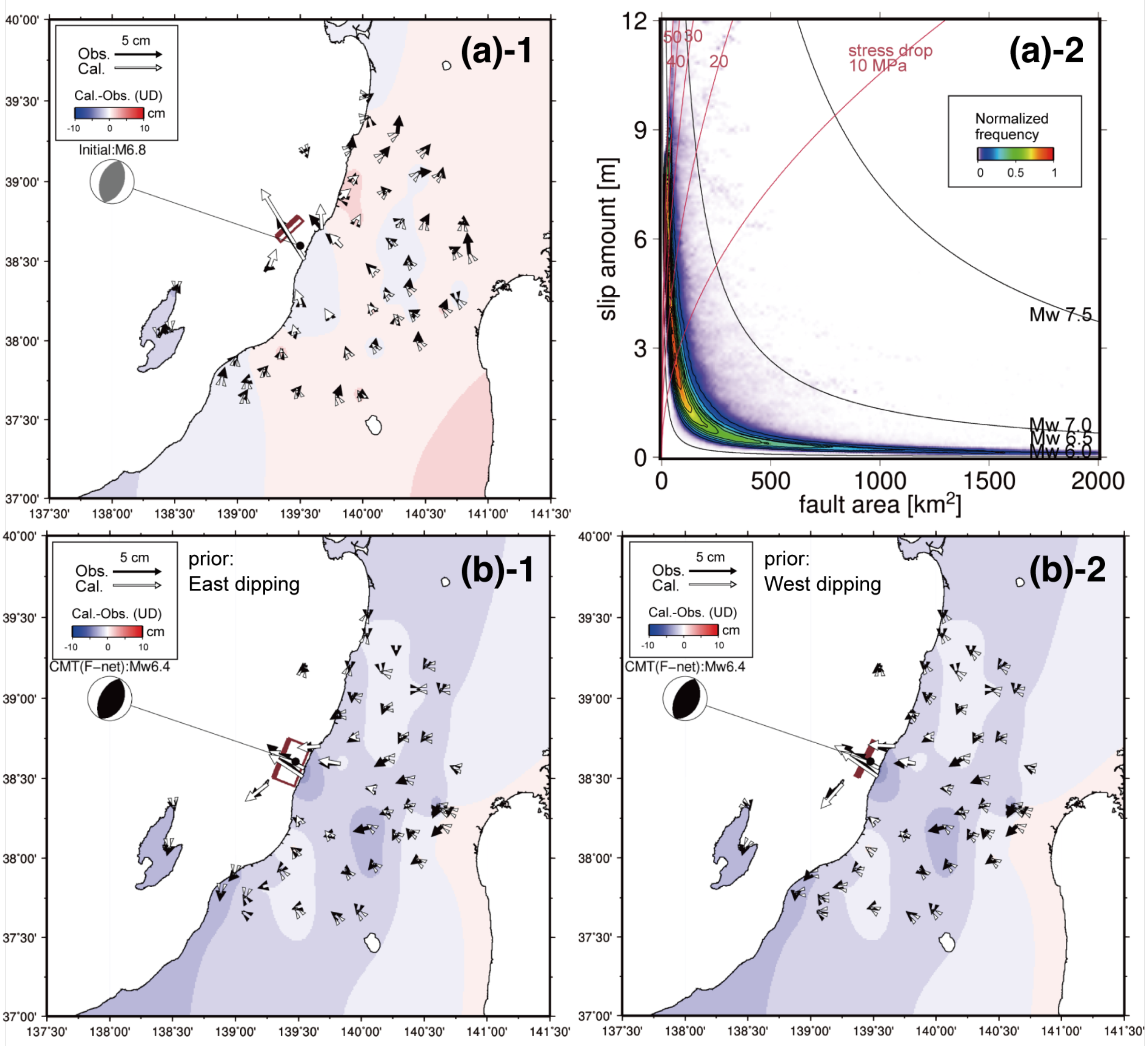


Figure (a) Results used the data from REGARD. 1: Estimated fault (median). 2: Marginal PDF between fault area and slip amount.
(b) Results used the data from Q3 solution. Estimated fault (median) with prior PDF of strike [1: east dipping, 2: west dipping].

© 日本地震学会

2019年6月18日山形県沖の地震(Mw6.4)に伴う地殻変動と震源断層モデル
Crustal deformation and fault model of the 2019 Mw 6.4 earthquake off Yamagata Prefecture

*小林 知勝[1]、矢来 博司[1]、黒石 裕樹[1]、本田 昌樹[1]
*Tomokazu Kobayashi[1], Hiroshi Yarai[1], Yuki Kuroishi[1], Masaki Honda[1]

1. 国土地理院
1. Geospatial Information Authority of Japan

１．はじめに
2019年（令和元年）6月18日22時22分に，山形県沖でマグニチュード6.7の地震が発生した．震源の深さは約15kmで，この地震により最大震度６強を観測した．本発表では，この地震に伴って観測された地殻変動とそれに基いて推定される震源断層モデルについて紹介する．

２．データと解析
GNSS連続観測（GEONET）により地震に伴う地殻変動を抽出した．ここでは，大潟（950241）を固定局として，6月11日から6月17日の座標値の平均値と6月19日から6月24日の平均値の差を地震時変動として扱う．なお，本稿ではR3解による地殻変動を示す（学会当日はF3解による結果を示す予定）．
本地震に関しては，ALOS-2衛星による3件の緊急観測が実施された．観測は，6月20日に南行軌道（左観測），6月21日に北行軌道（右観測），6月22日に南行軌道（右観測）がそれぞれ行われた．地殻変動の検出を目的に，これらのデータを用いてSAR干渉解析を実施した．SAR干渉解析では，数値気象モデルを用いた大気起因の誤差低減処理，周波数分割法による電離層起因の誤差低減処理をそれぞれ施した．
得られた地殻変動データを基に，震源断層モデルの推定を行った．モデリングでは一様滑りの矩形断層を仮定した．矩形断層モデルの各パラメータはSimulated Annealing法による解探索により推定した．解探索では，東に傾き下がる断層面と西に傾き下がる断層面の両方を仮定してそれぞれ最適解を求めた．なお，走向に関しては，震源分布を参考にして40°（220°）に固定した．なお，モデリングにはGEONETデータのみを用いた．

３．結果
３．１　地殻変動
GNSS観測の結果，地震に伴って有意な地殻変動が観測された．最大の変動は新潟県村上市の「新潟山北」観測点において観測された北西向きの約5cmであった（図１）．内陸部の電子基準点では，北西から西向きの変動が観測される一方，震源域の南西にある粟島の「粟島浦」観測点では，南西向きの変動が観測された．また，震源域周辺の沿岸部の電子基準点では，1cm程度の沈降が観測された．
SAR観測結果では，いずれも誤差レベルを超える有意な変動は観測されなかった．ただし，2015年11月28日と2019年6月22日の観測ペアの画像には，震源領域周辺の沿岸域に地表が衛星から遠ざかる位相変化が数cm程度見られた．

３．２　震源断層モデル
得られた断層モデルの特徴は，以下のとおりである．
１）北東ー南西走向の断層面上における逆断層運動が推定される．
２）推定された断層面の水平位置は，震源分布と整合している．
３）東に傾斜する断層を仮定した場合は低角の断層面，西に傾斜する断層を仮定した場合は高角の断層面が推定される．

© 日本地震学会

４）推定されたモーメントマグニチュードは6.4である．
モデル計算の結果得られた断層面のうち東に傾き下がる断層を仮定したモデルを図１に示す．得られたモデルはGNSSにより得られた地殻変動を概ね説明している．モデル計算には用いなかったものの，本断層モデルから予想される地表ー衛星視線方向の変位場には，震源域周辺沿岸域において衛星から遠ざかる数cmの変動が見られ，南行軌道（右観測）のSAR干渉の結果と調和的である．

謝辞： 本報告で使用したALOS-2データの所有権は，JAXAにあります．これらのデータは，国土地理院とJAXAの間の協定及び地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループの活動に基づいて，JAXAから提供されたものです．地震データは気象庁の一元化震源を用いました．ここに記して感謝いたします．

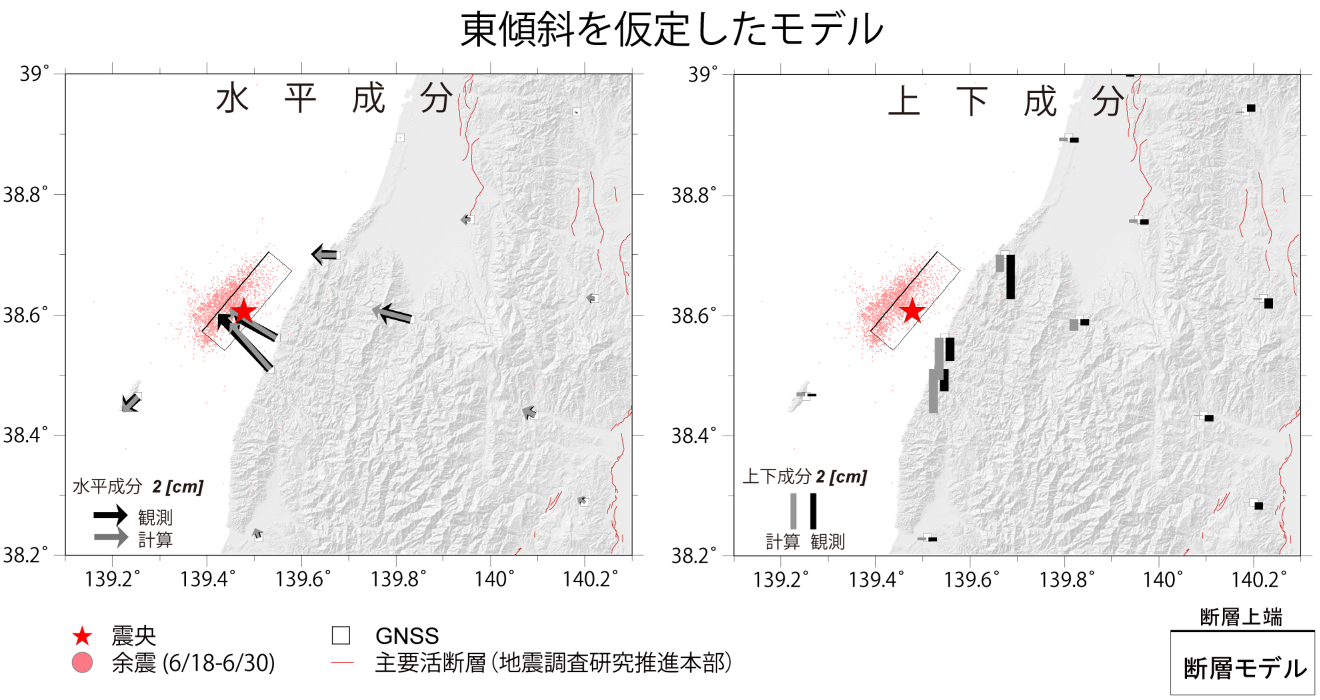


図１　東に傾き下がる断層面を仮定した場合の震源断層モデル及びGNSSデータの観測値と計算値．（左）水平成分，（右）上下成分．★印は震央，点は余震分布（気象庁一元化震源を使用）．矩形は震源断層モデルを地表に投影した位置で，太い実線が断層上端．

強震と測地データから推定した2019年山形県沖の地震の震源過程
Rupture process of the 2019 Yamagata-oki earthquake estimated from strong motion and geodetic data

*小林 広明[1]、元木 健太郎[1]、纐纈 一起[2]
*Hiroaki Kobayashi[1], Kentaro Motoki[1], Kazuki Koketsu[2]

1. 小堀鐸二研究所、2. 東京大学地震研究所
1. Kobori Research Complex Inc., 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

2019年6月18日に山形県沖でM_{JMA} 6.7の地震が発生した．この地震では，新潟県村上市府屋で震度6強が観測され，新潟県と山形県で計33棟の住家が半壊するなどの被害が出た．本研究では，強震と測地データを用いたジョイントインバージョンによる震源過程解析を行った．
強震データはK-NET、KiK-net、気象庁の観測点より11点33成分を選択した．解析は0.05-0.4 Hzのバンドパスフィルターをかけた速度波形を用いた．測地データは国土地理院のGEONETより10点の水平成分を用いた．地震による変位はF3解を用い，950282を固定点とした後に地震前後2-6日間の平均位置の差を取ることにより推定した．インバージョン手法にはマルチタイムウィンドウ線形インバージョン法(Yoshida et al. 1996; Hikima and Koketsu, 2005)を用いた．強震波形の理論的グリーン関数はKohketsu (1985)の手法を用いて計算した．計算の際の速度構造モデルは，全国一次地下構造モデル(JIVSM)より各観測点の直下の1次元速度構造を抽出した構造を用いた．測地の理論的グリーン関数はZhu and Rivera (2002)の方法を用い，JIVSMよりYMT004の直下の構造を抽出して，すべての観測点に対して適用した．
断層モデルはHypoDD法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)により再決定した震源分布および各機関で求められたメカニズム解を参考にし，長さ22km, 幅12km, 走向25度, 傾斜30度の面を仮定した．断層面は2km四方の小断層に分割した．小断層の震源時間関数はライズタイム0.75秒の箱型関数を5つ置くことで表現した．各小断層の第1タイムウィンドウのすべり開始時刻を決める破壊伝播速度は1.5-4.5 km/sで計算を行い，データの残差から1.9km/sとした．
解析の結果，震源から北側および西側にそれぞれ3.1mと2.2mのピークを持つ大すべり域が得られた．破壊はまず震源付近で始まり，北側と西側に破壊が伝播し，破壊継続時間は5~6秒程度となった．推定された地震モーメントは6.5×10^{18} Nm (M_w 6.5)となった．これはGCMT(6.7×10^{18} Nm)やJMACMT(6.4×10^{18} Nm)の推定値と整合的である．

© 日本地震学会

2019年6月18日山形県沖の地震(M_j 6.7)の震源過程解析
Source Process of the Off Yamagata Earthquake of June 18, 2019

*引間 和人[1]
*Kazuhito Hikima[1]

1. 東京電力ホールディングス(株)
1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

【はじめに】
2019年6月18日22:22に新潟-山形県境沖でM 6.7の地震が発生した．震央は海域であったが，震源近傍の新潟県村上市では震度6強，山形県鶴岡市では震度6弱となるなど強い揺れが観測された．さらに，弱いながらも津波が観測されており，これらの要因を考える上で詳細な震源過程を知ることが必要である．また，日本海東縁部ではこれまでも大地震が多く発生しており，近年も2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震など，今回の地震と同規模の地震が発生している．今回の地震の震源過程とこれらの地震との相違について検討することは，この地域の地震テクトニクスを考える上で重要である．そこで，本検討では震源近傍で観測された強震記録を用いて震源過程解析を行った．

【解析手順・条件】
震源インバージョン解析に先立ち，本震を含めて一連の地震の震源再決定を行った．地震発生後2週間以内に発生した地震について，防災科研のWebサイトで公開されている気象庁一元化処理による検測値を用いて，DD法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)により震源決定を行った．以下の解析に用いた本震の震源位置は(38.6147°N, 139.4758°E, 13.97km)である．
震源解析には，震源から60 km程度以内に位置するK-NETおよびKiK-netの波形記録を使用した．さらに，気象庁の粟島観測点の震度計波形についても，海域の観測点として解析に加えた．なお，KiK-net観測点では，浅部地盤による影響を軽減するために地中記録を使用した．
グリーン関数の計算はKohketsu (1985)により行った．計算に用いる１元水平成層構造は，全国１次地下構造モデル（暫定版）の各観測点直下の速度構造を抜き出したものを初期値とし，震源付近で発生した小地震(2019年6月21日5:33, Mw3.8)の観測波形でチューニングを行ったモデルを使用した．予稿で示す暫定解は粟島観測点を除いて，速度構造のチューニングを実施できた観測点を用いており，合計14観測点を使用したものである．
本震の震源解析では，加速度波形に0.03～1.0 Hz をフラットレベルとするバンドパスフィルタをかけて積分した速度波形を用い，インバージョンはマルチタイムウィンドウ法(Yoshida et al., 1996; 引間, 2012)により行った．解析の際の断層面は，F-netによるメカニズム解(23°, 36°, 86°)をもとに，余震分布を参考に東傾斜の断層面を設定した上で，波形の一致度などを参考に修正を行った．小断層サイズは2 km ×2 km とした．

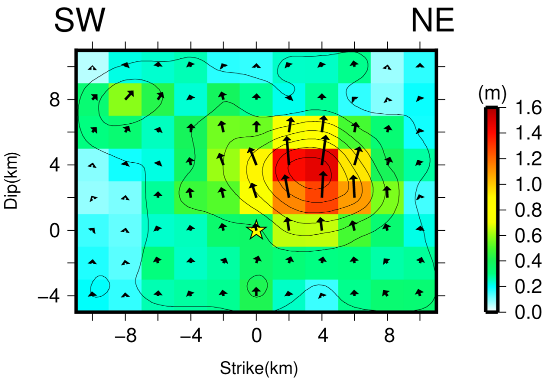
【解析結果（暫定）】
暫定的な結果では，断層面は走向:32°,傾斜:30°長さ22 km ×幅16 km 程度となった．求まった地震規模はM_w 6.36程度，最大すべり量は約1.5 m のほぼ純粋な逆断層型の結果が得られた．最大すべりの位置は破壊開始点の北側に位置しているが，そこを含めて，やや大きなすべりが求まった領域の付近で多くの余震が発生している．

【考察・まとめ】
この地震では建物被害が比較的小さかったが，その要因として観測された地震動は短周期成分に富み，周期1～2秒程度の成分が少なかったことが指摘されている．破壊開始点と主要なすべり域との位置関係からは，破壊は主に沖合に進展したと推定され，陸域に対してはディレクティビティ効果が現れにくくかったものと考えられる．過去の地殻内地震ではディレクティビティ効果よるパルス的な波と建物被害との関係が注目されてき

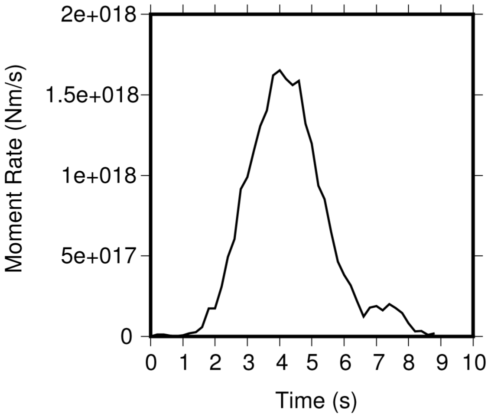
© 日本地震学会

たが，今回の地震では陸域に対してはそのような波が生じにくかった可能性がある．
また，地震規模と断層サイズの関係は，過去に日本海東縁部で発生した地震によるものと概ね対応している．

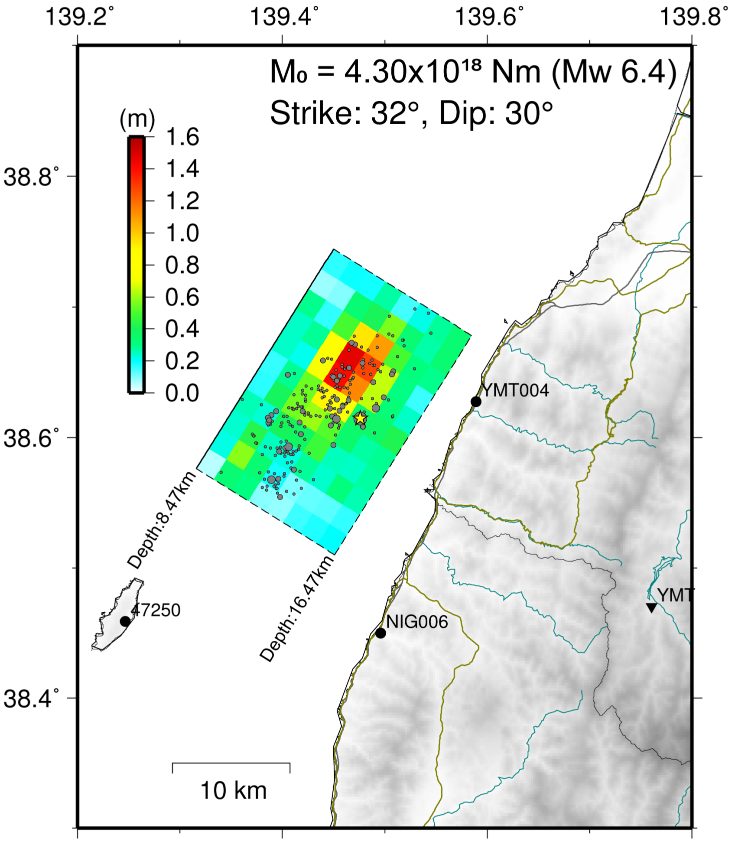
＜謝辞：解析には，防災科学技術研究所K-NET, KiK-netの観測記録，F-netメカニズム解，気象庁一元化震源，震度計データ等を使用させて頂きました．記して感謝致します．＞



断層上のすべり分布
☆は破壊開始点



モーメントレイト関数



地表面への投影図
●は本震発生後 2 週間以内の M2 以上の地震

2019 年 6 月 18 日山形県沖の地震のすべり分布（暫定）

© 日本地震学会

強震波形記録を用いて推定された2019年6月18日山形県沖の地震の震源過程

Source process of the 2019 off Yamagata earthquake derived from strong motion data

*久保 久彦[1]、鈴木 亘[1]、青井 真[1]、関口 春子[2]
*Hisahiko Kubo[1], Wataru Suzuki[1], Shin Aoi[1], Haruko Sekiguchi[2]

1. 防災科学技術研究所、2. 京都大学防災研究所
1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

１．はじめに
本研究では、2019年6月18日22時22分に山形県沖で発生した地震（M 6.7、気象庁）を対象として、強震波形記録を用いた震源過程解析を行った。

２．記録および手法
震源過程解析手法としてマルチタイムウィンドウ線型波形インバージョン法（Olson and Apsel 1982; Hartzell and Heaton 1983）に基づく手法を用いた。
余震分布とF-netのモーメントテンソル逆解析の結果から、走向23度・傾斜36度で、22 km（走向方向）×14 km（傾斜方向）の大きさを持つ、南東傾斜の断層面を設定した。その際、破壊開始点は気象庁震源の位置（深さ14km）に設定した。この断層面は2 km×2 kmの小断層を用いて離散化した。各小断層でのすべり時間関数は、0.8秒幅のスムーズドランプ関数を0.4秒ずらして、9個並べることによって表現した。第一タイムウィンドウのトリガー速度は、残差の合い具合から、3.0 km/sとした。
記録には、K-NET・KiK-net・F-netの計15観測点での、S波到達1秒前から15秒間の速度波形記録（周期1.0ー10秒、5 Hzサンプリング）を用いた。
Green関数は、一次元地下構造モデルを仮定し、離散化波数積分法（Bouchon 1981）と反射・透過係数行列法（Kennett and Kerry 1979）により点震源の波形を計算した。地下構造モデルは、藤原・他（2009）による三次元地下構造モデルにおける観測点直下の情報を用いて、観測点ごとに設定した。KiK-net観測点については速度検層の情報も利用した。また、Green関数の計算時に25個の点震源（走向方向、傾斜方向それぞれ5列）を小断層内に分布させることによって小断層内部の破壊伝播の効果を付加した。
各小断層の各タイムウィンドウでのすべり量は、観測波形と合成波形の差を最小とするように、最小二乗法を用いて求めた。不等式拘束条件をつけた最小二乗法（Lawson and Hanson 1974）を用いて、各小断層でのすべり方向の変化を、中心すべり角の±45度以内に収めた。中心すべり角は、F-netメカニズム解のすべり角を参照して、86度とした。また時空間的に近接するすべりを平滑化する拘束条件（Sekiguchi et al. 2000）を付加した。平滑化の強さは赤池ベイズ情報量基準（Akaike 1980）に基づいて決定した。

３．結果
解析の結果、震源よりup-dip側に大きなすべりの領域（最大すべり量1.0m）が存在する震源モデルが推定された。断層面全体での地震モーメントは4.7×10^{18}Nm（Mw 6.4）である。地震発生直後は顕著なすべりを伴った破壊は見られず、地震発生から1.5-4.5秒後に大すべり領域において主たる破壊が生じていたことも分かった。この地震では震源のup-dip側において活発な余震活動が発生しており、その領域は上記の大すべり領域とオーバーラップする。

© 日本地震学会

強震動波形を用いた震源インバージョン解析による2019年山形県沖の地震（Mw6.4）の震源破壊過程

Source rupture process of the 2019 Yamagata-ken oki earthquake estimated by waveform inversion using strong motion data

*倉橋 奨[1]、宮腰 研[2]、入倉 孝次郎[1]
*Susumu Kurahashi[1], Ken Miyakoshi[2], Kojiro Irikura[1]

1. 愛知工業大学、2. 地域地盤環境研究所
1. Aichi Institute of Technology, 2. Geo-Research Institute

1.はじめに
2019年6月18日22時22分に山形県沖を震源（深さ14.0㎞）とするMw6.4の地震が発生した。震源近傍の観測点であるYMT004（K-NET温海：震源距離17.1km）と気象庁の震度観測点J47241（鶴岡市温海川：震源距離24.6km）ではそれぞれ最大加速度（フィルターなし：3成分合成）653gal、750gal、最大速度（フィルター0.1-10Hz：3成分合成）20cm/s、59cm/sが観測された。本研究ではこの強震動を含めた震源に近い観測点で得られた強震動の生成メカニズムの解明を目的として、震源インバージョン解析により震源破壊過程の推定を試みた。

２．観測記録の特徴と空間分布
最大速度（フィルター0.1-10Hz）では、震源より北部に位置する観測点で距離減衰式よりも大きな値を示しており、震源より北部に振幅の大きな領域が広がる空間分布であった。この要因としては、観測点の地盤特性の影響、強震動を放出した領域が震源よりも北側に存在、破壊の進行方向にあたることによるディレクティビティ効果などの可能性が考えられる。このため，地下構造モデルのチューニングや特性化震源モデルに基づいた破壊伝播様式を変えた強震動評価が必要と考える。

３．波形インバージョンによる震源破壊過程
本研究では、マルチタイムウインドウ線形波形インバージョン法（Hartzell and Heaton, 1983）に基づき震源破壊過程について時空間的にすべり量分布を計算した。解析に用いるデータは、速度波形のS波部分（S波到着前の1.5秒から12秒間）とし、震央距離約50km以内の11観測点（K-NET、KiK-net、気象庁）の記録を用いた。グリーン関数は、全国1次地下構造モデル（Koketsu et al., 2012）を用いて離散化波数法（Bouchon, 1981）および反射・透過係数行列法(Keneett and Lerry,1979)により計算した。断層モデルは、DD法を用いた震源再決定（郭、2019私信）による余震分布と整合的であった気象庁のCMT解（走向26度、傾斜角27度（南東傾斜））とした。
本解析ではまず大局的な震源破壊過程を確認するために解析周期帯域を2～20秒として，主に破壊領域の推定に注目して解析を行った。解析の断層面の長さと幅は余震分布を参考にして24kmと18km、小断層サイズは2.0km四方に設定した。すべり速度の基底関数は、ライズタイム1.0秒のsmoothed ramp関数を0.5秒間隔で4個配置した。
計算波形は、明瞭なパルスが見られる震源近傍の観測点YMT004やJ47241の観測波形も含めて観測波形をよく再現している。解析の結果、震源付近ではすべりが小さく、震源よりも北西側でかつ震源よりも深いところから浅いところにかけて大きなすべりが推定された。断層破壊領域の算出のためSomerville et.al.(1999)の規範に基づくトリミング操作を試みた結果、断層端に現れるすべり量の影響で断層面積は設定断層から変わらなかった。現在の結果では、最大すべり量は2.3m、平均すべり量は0.5m、地震モーメントは7.88×10^{18}Nmとなっているが，F-netと比べて約2倍大きく今後の検討課題である。最終的には、周期1.0秒以上と解析周期帯域を広げた震源モデルを目指す。

© 日本地震学会

謝辞：この研究の一部は原子力規制庁による平成31年度原子力施設等防災対策等委託費（内陸型地震による地震動の評価手法の検討）業務として実施されました。地域地盤環境研究所の郭博士にはDD法を用いた震源再決定結果を提供いただきました。

© 日本地震学会

経験的グリーン関数法による2019年山形県沖の地震の地震動シミュレーションと強震動生成域の推定
Strong Motion Generation Area for the 2019 Off Yamagata prefecture, Japan, earthquake estimated by the empirical Green's function method

*染井 一寛[1]、宮腰 研[1]、郭 雨佳[1]
*Kazuhiro Somei[1], Ken Miyakoshi[1], Yujia Guo[1]

1. 一般財団法人地域地盤環境研究所
1. Geo-Research Institute

2019年6月18日22時22分（日本時間）に山形県沖でM_{JMA} 6.7（M_w 6.4）の内陸地殻内地震（以降，2019年山形県沖の地震とする）が発生し，新潟県村上市で震度6強，山形県鶴岡市で震度6弱の地震動が観測された．また，国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網K-NET，KiK-netのうち震源に近い（震源距離17 km）K-NET温海（YMT004）でも最大加速度633 cm/s^2（3成分最大値）が観測され，このような大きな強震動記録の生成要因を調べることは重要である．そこで本研究では，2019年山形県沖の地震による強震動生成について主として震源の観点から実態を把握するために，震源近傍を含む周辺の観測点での地震動シミュレーションを行い，観測記録を広帯域に再現し得る震源モデルの推定を試みた．

本研究では，経験的グリーン関数法（Irikura, 1986）を用いた広帯域地震動シミュレーション（0.2ー10 Hz）を実施した．経験的グリーン関数（要素地震）は，2019年7月11日16時4分に発生したM_w 4.1の余震を採用した．本研究の震源モデルは，できる限り単純なモデルで広帯域地震動を再現するために，正方形の強震動生成域（SMGA; Miyake et al., 2003）を1枚仮定し，背景領域からの寄与は無いものとした．また，F-netから公開されているモーメントテンソル（MT）解の幾何形状とDouble-Difference法（Waldhauser and Ellsworth, 2000）によって再決定した余震分布を参考にして，南東傾斜の逆断層面を設定し，SMGAの破壊開始点は再決定された本震震源位置（深さ13.38 km）に固定した．経験的グリーン関数法による波形合成に必要な要素地震の重ね合わせ数Nと，本震と要素地震の応力降下量比Cの値は，本震と要素地震のコーナー周波数をSource Spectral Ratio Fitting Method（三宅・他, 1999）によって推定した．SMGA内の相対的な破壊開始点，破壊速度，SMGAの大きさ，ライズタイムといった未知パラメタは，震源に近いKiK-net（地中記録）の4地点3成分の記録を用いて，加速度エンベロープと変位波形について，観測と合成の残差が最小となる組み合わせをグリッドサーチによって決定した．

推定されたSMGAは面積が64 km^2，ライズタイムは0.4秒，応力降下量は10.7 MPaとなり，過去の内陸地殻内地震と比べた場合，平均的な値となった．SMGA内の破壊伝播方向は，主として北東側に向かって進行し，破壊速度は2.6 km/sと推定された． SMGAの地震モーメントは2.24×10^{18} Nm（M_w6.2）で，これはF-netのMT解で公開されている地震モーメント4.41×10^{18} Nm（M_w6.3）の54.5 %となった．得られたSMGAモデルを用いて，震源域周辺（震央距離約60 km以内）のK-NET，KiK-netの強震観測点，及び国立研究開発法人防災科学技術研究所広帯域地震観測網F-net（強震記録）の観測点の計18地点の強震記録3成分を対象としてフォワード地震動シミュレーション（0.2ー10 Hz）を行った．その結果，推定されたSMGAモデルから生成される合成地震動記録は観測地震動記録を概ね再現することができた．一方で，震源に近い一部の観測点（例えば，YMT004）に注目すると，観測速度波形や観測変位波形にパルス状の波形パケットが2回見えるのに対して，合成波形は1回のパルスのみを再現している．ここでは1枚のSMGAが震源から破壊開始する仮定でモデリングを行ったが，他地点の観測波形の特徴を精査し，複数のSMGAの必要性やそれらの破壊開始点位置について今後検討する予定である．

謝辞：国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網K-NET，KiK-net，広帯域地震観測網F-netの強震記録，F-netのMT解，及び気象庁一元化震源カタログの震源情報，一元化処理検測値をそれぞれ使用しました．記して感謝いたします．

© 日本地震学会

ソース・イメージング法を用いた2019年山形県沖の地震における初期段階の破壊過程の推定

Initial rupture process of the 18-June-2019 off Yamagata earthquake inferred from source imaging

*藤本 怜[1]、小割 啓史[1]、小松 正直[1]、竹中 博士[1]
*Ryo Fujimoto[1], Hirofumi Kowari[1], Masanao Komatsu[1], Hiroshi Takenaka[1]

1. 岡山大学大学院自然科学研究科
1. Graduate school of natural science and tecnology OKAYAMA UNIVERSITY

2019年6月18日22時22分、山形県沖でM_{JMA}6.7の地震が発生した。本研究の目的は、この地震の発震後初期の破壊過程を推定することであり、ソース・イメージング法 (Takenaka *et al*, 2009, EPS)を用い、初期破壊過程における地震波の放射強度の時空間変化の推定を行う。
解析には震央距離62 km以内の防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net観測点で記録された波形データを用いた。ソース・イメージング法では、加速度波形を積分した速度波形の上下動成分のP波部分を用いる。震源は気象庁一元化震源 (北緯38.608 ˚,東経139.479 ˚,深さ14.0 km) を採用し、断層面は気象庁CMT解の、走向26 ˚、傾斜27 ˚の南東傾斜の面と、走向210 ˚、傾斜64 ˚の北西傾斜の面の二つを仮定する。
イメージングの結果、仮定した二つの断層面どちらにおいても、発震後約2.5秒までは震源の北東方向に放射強度が比較的大きな領域が見られた。また、発震から2.5秒以降に、震源とほぼ同じ深さの南西方向10 km付近で、それまでの放射強度と比べて著しく放射強度の大きな領域が見られた。これらの結果より、震源から広がった破壊が、発震後2.5秒付近までは震源の北東方向で比較的大きなすべりを引き起こし、さらに、発震後約3秒後に、震源の南西方向でそれまでよりも非常に大きなすべりが開始したと推定される。設定した二つの断層面においては、放射強度の大きな領域の3次元的な位置は、両者でほぼ一致している。また、震源の南西方向の放射強度が大きな領域の位置は、防災科学技術研究所による震源インバージョン解析で見られる、すべりの大きな領域とも調和的である。

謝辞：本研究は防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの観測波形データを使用しました。

© 日本地震学会

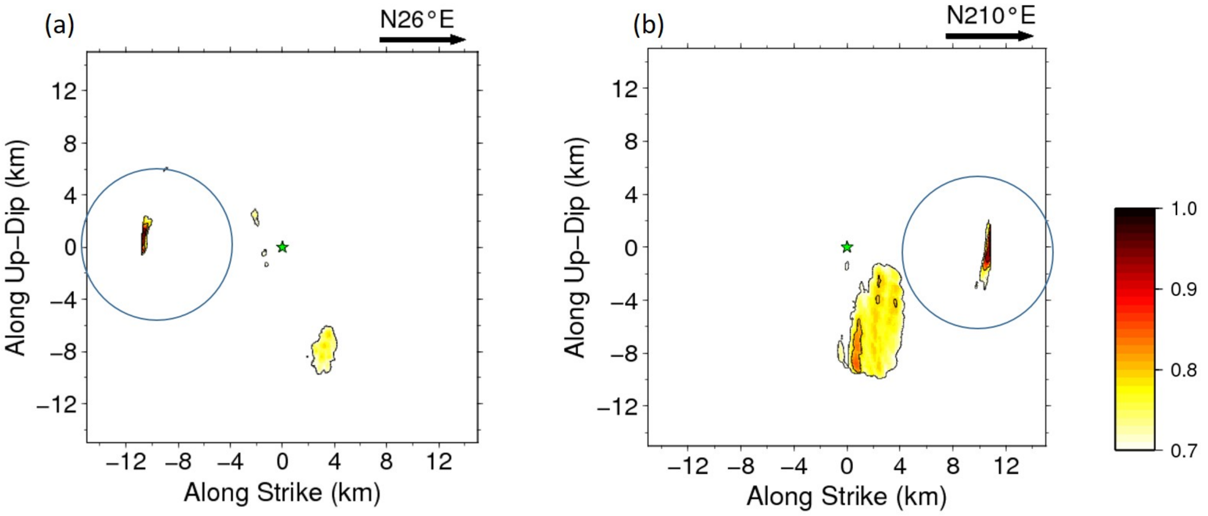


図　発震後3秒間のイメージング結果。 それぞれ(a)走向26°, 傾斜27°　(b)走向210°,傾斜64°の断層面を仮定。共に放射強度の最大値で規格化。どちらも震源から南西方向に放射強度の大きな領域(青色丸)が見られる。

スペクトルインバージョンに基づく2019年山形県沖の地震に関する震源およびサイト特性の評価

Evaluations for source parameters and site amplifications based on generalized inversion technique

*仲野 健一[1]、川瀬 博[2]
*Kenichi Nakano[1], Hiroshi Kawase[2]

1. 安藤ハザマ、2. 京都大学
1. HAZAMA ANDO CORPORATION, 2. Kyoto university

2019年6月18日22時22分に、山形県沖において、M_{JMA}6.7の地震が発生した。このイベントの震源深さは約14kmとされている。本地震については、同地震の余震域を震源とする被害地震はほとんど知られておらず、不明な点が多い。本震においては、震央周辺の気象庁、K-NET、KiK-netで大振幅記録が観測された。震央近傍で震度6弱が計測された鶴岡市温海川観測点47241（CA9）の応答スペクトルと過去に発生した大地震の応答スペクトルのそれを比較すると、今回の地震では約2Hzが卓越しており、主要構造体に被害が生じるような周期帯にはエネルギーを有していないことが確認できる。しかし、震央周辺地域では、瓦屋根やブロック塀などの非構造材の被害が報告されており（e.g. 三辻, 2019；高橋, 2019）、2018年大阪府北部の地震と同様の被害傾向であると考えられる。

上記の観測記録や被害の状況だけからは、地震動の生成メカニズムを明らかにすることはできない。そこで、地震動の生成メカニズムを把握することを目的に、スペクトルインバージョン（以下、GIT）によって震源とサイト特性を推定することを試みる。まず、2019年山形県沖の地震における本震と余震を対象として、K-NET及びKiK-netで公開された地震波形を、気象庁のWebページから気象庁が設置した震度計で記録された波形をそれぞれ収集し、Nakano and Kawase (2019)のデータセットにそれらを追加した上で、GITを実施した。表1に、本研究で追加したイベントについて示す（No.7-No.11）。比較用に国内で発生したいくつかの地殻内地震のイベントを併記している（No.1-No.6）。また、詳細は後述するが、本研究で評価したコーナー振動数、応力降下量、短周期レベルについても示している。

具体的な解析条件はNakano et al. (2015)もしくはNakano and Kawase (2019)を参照されたいが、ここではM_{JMA}4.5以上、震源距離200km以下、震源深さ60km以浅、最小加速度は0.2 cm/s^2、最大加速度は200cm/s^{2}を満足する地震および波形を用いた。ただし、M_{JMA} 4.0前後のイベントも含めている点に注意されたい。表1のNo.7とNo.11の地震モーメントはF-net（http://www.fnet.bosai.go.jp）を参照したが、No.8からNo.10のイベントでは、武村（1990）を用いてM_{JMA}からM_0を概算的に推定した。震源情報については、気象庁の一元化処理リスト（https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/JMA/）を参照した。

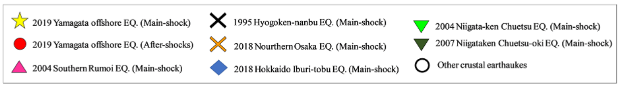
図1に応力降下量の比較を示す。今回の本震の応力降下量は、過去のイベントのそれと調和的であるが、同様の地震規模と震源深さに対してやや高めのグループに属していることがわかる。一方余震の応力降下量については過去の地震に比べ低めとなっているが、これについては、余震記録は地震規模が小さいため、長周期ノイズの含まれた記録が混入している可能性が考えられる。その結果、仮定した地震モーメントは過大評価となり、コーナー振動数fcが過小評価されている可能性がある。周波数範囲を限定し、地震モーメントを経験値ではなく観測値で決めれば、平均的な値に再評価される可能性がある。図2に短周期レベルの比較を示す。ここでは、Nakano and Kawase (2019)で評価した回帰式（全体に対するものとMw6以上に対するもの）も併せて示す。これをみれば明らかなように、今回の地震の本震の短周期レベルは、Nakano and Kawase (2019)のどちらの回帰式による推定値より大きいことがわかる。

図3に、Nakano and Kawase (2019)で評価したS波サイト特性と全波サイト特性を示す。図中の黒色の実線はGITで直接評価したS波サイト特性、灰色の実線は、仲野ら（2019）の手順で、個々のイベント毎に評価した全継続時間のサイト特性、赤色の実線は灰色の実線の平均値、すなわち全波サイト特性を、赤色の点線はその平均値±σ（標準偏差）を示している。この図を見れば明らかであるが、山形県酒田市のサイト（YMT001およびSAK）では、S波サイト特性に比べて、全波サイト特性の振幅が2Hz以下の低振動数域で大きく、NIGH02（朝日）より南の新潟県の平野部（具体的にはNIGH02、NIG007、52E、NIGH03、NIGH04、NIG008、90C）においても同様の傾向がみられる。これらの地点では0.2-0.4Hz付近に卓越振動数がみられ、それは各地点が存在する堆積盆地の卓越振動数と考えられる。一方、震央に近いYMT004、NIG006、47241（CA9）の３つのサイトでは、S波サイト特性に対する全波サイト特性の増幅は比較的小さく、CA9では約1Hz～8Hzにかけて振幅が大きくなっているが、他の２地点では数Hz以上に明瞭なピークを有していることが確認できる。

以上のことから、今回の地震では震源近傍観測点のサイト特性が高振動数域にピークがある盆地外部のものであったため、最大加速度は大きく気象庁震度も大きかったが、構造体の被害に直結する周期1秒前後のやや短周期レベルは小さかったため、被害は最小限に留まったものと推察される。

表1　イベントリスト

No.	Date	Hypocenter location			M_{JMA}	M_0 (N*m)	fc (Hz)	fmax (Hz)	Stress drop (MPa)	Short-period level A (N*m/s^2)
		Lat.	Lon.	Depth (km)						
1	199501170546	34.598	135.035	16	7.3	2.43E+19	0.111	10.7	6.152	1.18E+19
2	200410231756	37.29	138.87	13	6.8	7.53E+18	0.123	14.9	2.594	4.50E+18
3	200412141456	44.074	141.703	9	6.1	4.44E+17	0.339	7.8	3.202	2.01E+18
4	200707161013	37.557	138.61	17	6.8	9.30E+18	0.118	12.2	2.829	5.11E+18
5	201806180758	34.844	135.622	13	6.1	2.32E+17	0.483	15.1	4.839	2.14E+18
6	201809060308	42.691	142.007	37	6.7	1.00E+19	0.172	18.0	9.420	1.17E+19
7	201906182222	38.608	139.479	14	6.7	4.11E+18	0.189	15.5	5.137	5.80E+18
8	201906182237	38.621	139.448	12	3.8	7.94E+14	1.303	50.0	0.325	5.32E+16
9	201906182241	38.586	139.409	12	4.1	2.24E+15	0.847	50.0	0.252	6.34E+16
10	201906190057	38.561	139.395	12	4.2	3.16E+15	0.986	22.5	0.561	1.21E+17
11	201906210533	38.607	139.453	13	4.0	5.46E+14	2.551	23.9	1.678	1.40E+17



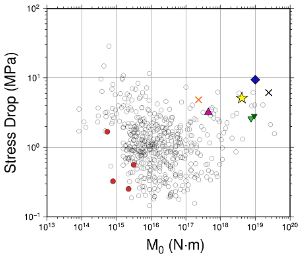


図1　応力降下量の比較

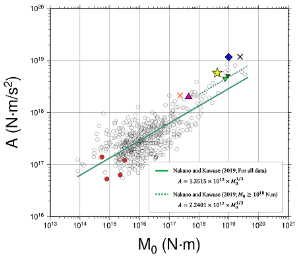


図2　短周期レベルの比較

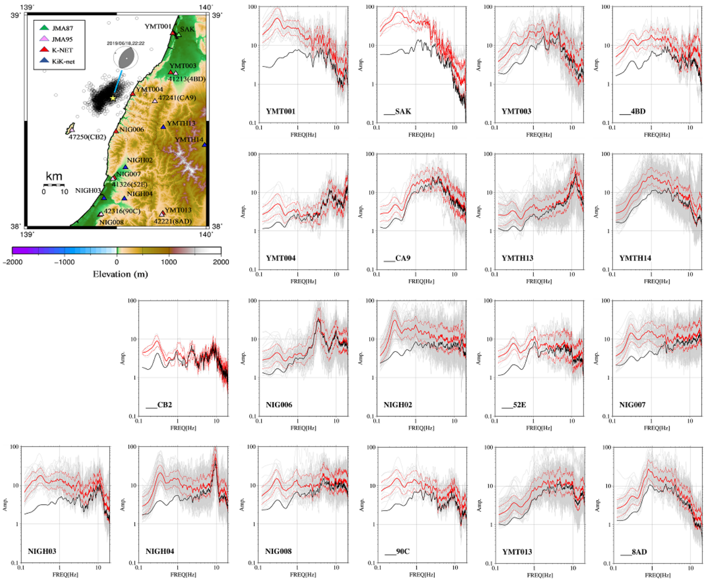


図3　サイト特性の比較