

令和元年山形県沖の地震

— なぜ日本海東縁で大地震が発生するのか —

東北大学災害科学国際研究所災害理学研究部門教授

遠田 晋次

1. はじめに

令和元年（2019年）6月18日に発生した山形県沖の地震は、酒田市の南西50km、深さ14kmを震源とするマグニチュード（M）6.7の地震であった（図-1）。この地震で、村上市府屋で震度6強、鶴岡市温海川で震度6弱を記録するなど、新潟県と山形県の県境付近で強いゆれに見舞われた。日本海沿岸地域としては、2007年の新潟県中越沖地震（M6.8）以来の大規模地震となった。令和元年のなかでは、唯一の顕著な被害地震でもあった。ただし、M6.7で浅い地震にも関わらず被害は軽微で、津波注意報も発令されたが、鶴岡市鼠ヶ関で最大11cmの津波を観測するにとどまった。以下、本稿では、同地震の被害が軽微であった理由を地震学的・地質学的特徴から説明するとともに、日本海東縁の過去の大地震を振り返りつつ、同地域で地震が多発する理由について概説する。

2. 令和元年山形県沖の地震

令和元年7月11日付け総務省消防庁発表では、山形県沖の地震による人的被害は重軽傷者41名、家屋被害は半壊・

一部破損が788棟となっている。ライフラインも最大停電戸数こそ一時的に9,100戸であったものの、断水もわずか21戸で、都市ガスに至っては供給には全く支障が生じなかった。直後に頻繁に報道されたJR鶴岡駅前の液状化による駐車車両の沈み込みは、大型商業施設の跡地を砂で埋め戻した場所で、他の地域では顕著な液状化は認められなかった。現地調査報告を行った柴山（2019）²⁾によると、震度6強を観測した村上市府屋地区では瓦屋根被害や外壁の剥落、盛土の地すべり、ブロック塀被害（写真-1）が点々と認められたが、震度6弱を観測した鶴岡市温海川では一見して被害を見つけることができなかつたと報告している。村上市や鶴岡市では、仙台市に比べて1971年の建築基準法施行令改正以前の建物が多く、瓦釘打ちや緊結がなされていなかったためと考察している。同規模で日本海沿岸域を襲った2007年中越沖地震（M6.8、直接死15名、負傷者2,346名）に比較して、被害はきわめて限定的であった。

このように被害が最小限にとどまった理由は、まず、震央から人口集中域までの距離があげられる。震央から海岸部ま

での最短距離は約8kmで、地下の震源断層はほぼ海岸線と同じ北東-南西走向であるので、震源断層が陸地直下にないことが幸いした。また、村上市中心部、鶴岡市中心部までは約40km、約25kmとそれぞれ離れている。一般に内陸地殻内地震（直下地震）の場合、震源が浅いため、強震動の距離減衰が顕著である。

一方で、実際に計測震度6弱・5強を観測している鶴岡市温海川と温海の記録を見てみると、最大加速度は600ガルを超えるものの（重力加速度は981ガル）、兵庫県南部地震や熊本地震など大規模被害地震と比べると0.5秒程度の短周期の波が卓越し、木造家屋に被害を与える1秒前後の周期の波は弱い（図-2）。これは2018年大阪府北部地震の地震記録に類似し、木造家屋よりもブロック塀などの低い構造物や瓦屋根に影響する震動だったことがわかる。

卓越周期にも関連するが、震源地周辺の地形が岩石海岸で、堅固な岩盤だったことも被害が最小限だったことの原因である。図-3には、地形から推定されている表層地盤における地震波増幅率と地

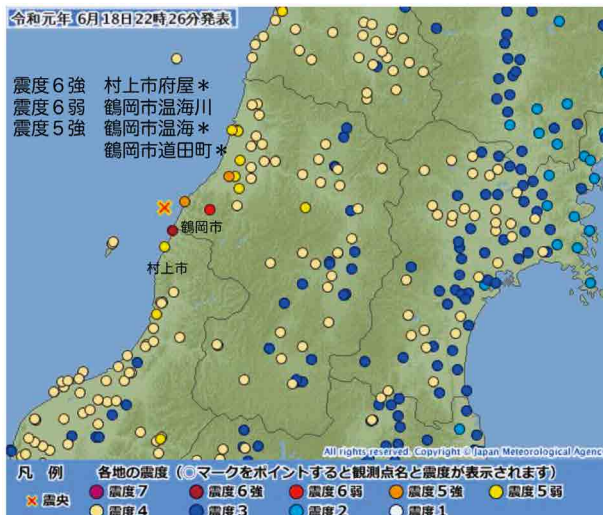


図-1 山形県沖の地震の震度分布（気象庁，2019）¹⁾



写真-1 被害の状況（上：外壁の剥落、下：ブロック塀の転倒、柴山，2019²⁾）

質図を示した。震源地ごく近傍では火山岩からなる丘陵地が海岸線までせり出している。増幅率も1以下、すなわち地震波が地表近傍で減衰する地域である。軟弱な沖積平野にある柏崎市を襲った2007年中越沖地震とは対照的である。

3. 日本海東縁で発生した過去の大地震

山形県沖の地震や中越沖地震に代表されるように、日本海沿岸から沖合地域は地震多発地域である。地震学的には、「日

本海東縁」地域と称される。20世紀に入ってから、日本海東縁地域で発生したM7を超える大地震は、1940年8月2日の神威岬沖地震（M7.5）、1964年6月16日新潟地震（M7.5）、1983年5月26日日本海中部地震（M7.7）、1993年7月12日北海道南西沖地震（M7.8）がある（図-4）。古くは1833年庄内沖地震（推定M7.5）もある。いずれも、地震動による構造物被害よりも、津波被害が顕著なことが特徴である（図-5、6）。また、新潟地震では液状化被害が特徴的で、県営アパートが液状化によ

て傾き横倒しになる状況がテレビで映し出されるなど、新潟市内では1,500棟の鉄筋コンクリート建物の310棟が被害を受けた。なお、余談にはなるが、これらの地震発生時期はすべて初夏～夏であり（図-4）、今回の山形県沖の地震も新潟地震と2日しか違わない。地震発生の地域的な季節選択性については古くから指摘され、偶然初夏～夏となる確率はきわめて低い、理由は不明のままである。

4. 内陸地殻内地震（活断層型地震）としての山形県沖の地震

多大な津波被害を生じた1983年の日本海中部地震を契機として、日本海東縁の海域地形・地質の調査が進み、日本海東縁がユーラシアプレートと北米プレートのプレート境界とする説が提唱された（例えば、中村、1983⁸⁾）。南海トラフや日本海溝沿いと同じように、プレート境界でまんべんなく大地震が発生すると考えると、歴史記録のない地域が「空白域」として、近い将来に大地震が発生する地域になる（図-7、大竹、2002⁹⁾）。その意味では、秋田県沖や佐渡沖が空白域とみられてきた。

しかし、日本海東縁の地形・地質をみると、単純に一つのプレート境界線を引けるものではない。むしろ、多数の断層

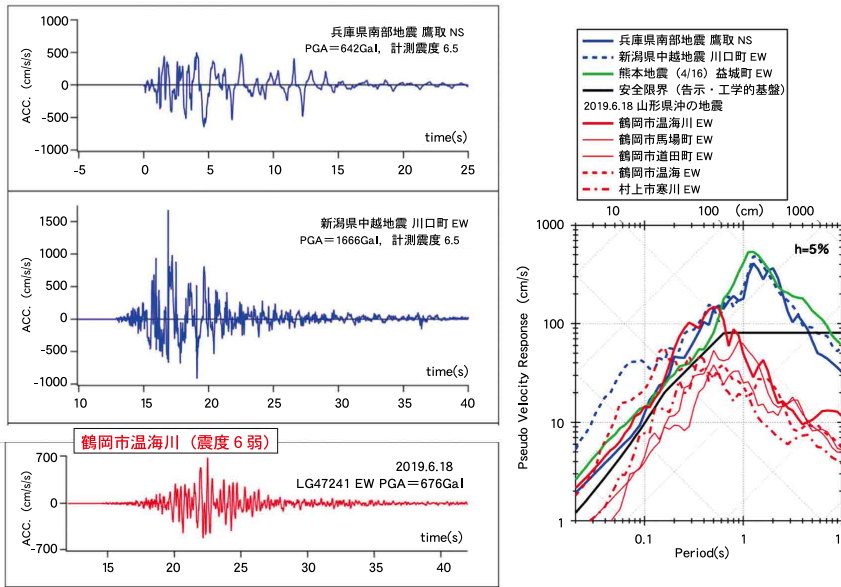


図-2 過去の被害地震との地震波形とスペクトルの比較（大野，2019）³⁾

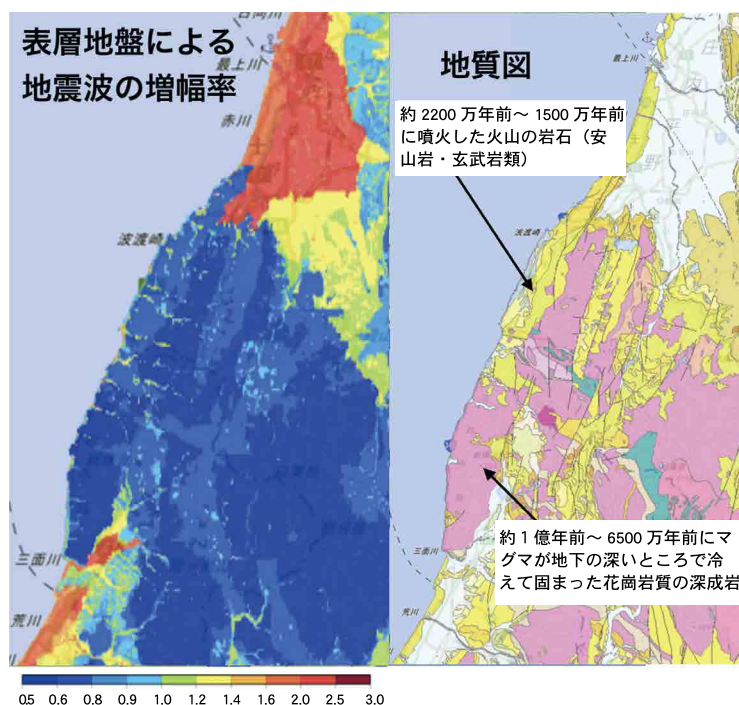


図-3 地表地盤増幅率と地質（左：防災科学技術研究所J-SHIS⁴⁾，右：産総研シームレス地質図⁵⁾に加筆）

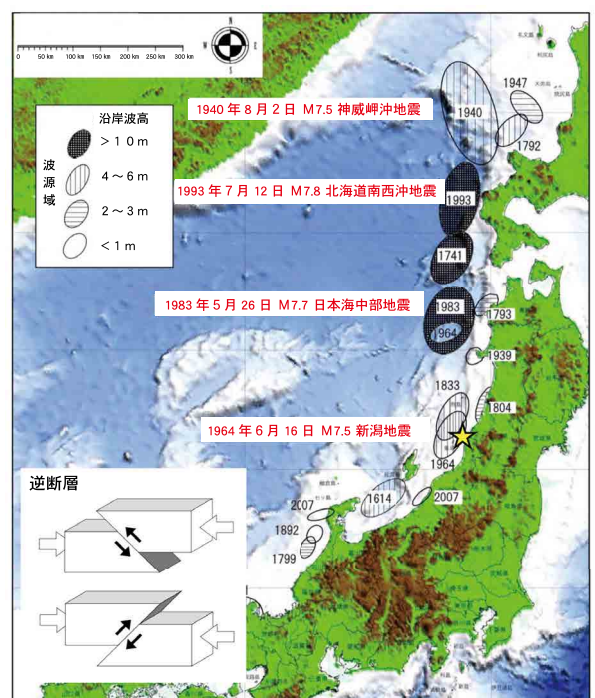


図-4 日本海東縁で発生した大規模地震（国土交通省2014⁶⁾に加筆）・黄色星は山形県沖の地震の震央

が並走して幅 100～200km 程度の帯状の断層帯を形成しており、プレート境界とは単純に言い難い。また、東北地方の陸地と同じく、ほぼすべてが南北走向の

逆断層（東西圧縮場において、断層が上下に動き、地殻を東西に短縮する断層）で、陸域と同様の構造である。つまり、プレート境界という認識よりも活断層密

集域と考えた方がよい。

活断層とは短的に言うとプレート内部に存在するズレを伴った亀裂（断層）で、プレート内に徐々に蓄積された歪みを解消する役割がある。現在も含めた第四紀（260 万年前以降）に活動して、将来も大きな地震を起こす可能性がある断層である。活断層が引き起こす内陸地殻内地震（直下地震）の発生する深さは約 15km 以内である。日本列島では、平均地温勾配が 3℃/km（地下を 1km 掘削すると岩石の温度が 3℃ 上昇する）であり、450℃ 前後になると石英や長石が延性的性質を示すようになるため、内陸直下で岩石が脆性破壊を起こす深さは 15km 前後までとなる。大地震を起こす断層面は長さが 15km を超えるため、M7 程度以上の地震では断層が地表に顔を出す（図-8）。これを地表地震断層という。このような活動を数千年～数万年間隔で繰り返すとズレが累積して地形に表れ、活断層と認識される。東北内陸では、このように地表が上下に動く活動によって南北に長い山地や盆地、海岸平野が形作られている（奥羽脊梁山脈、山形盆地、仙台平野、福島盆地など）。

同様な視点で日本海東縁をみると、南北に延びた海嶺と小海盆が密集することがわかる。数多くの海底音波探査の結果、これらは約 300 万年前頃から活動を繰り返してきた逆断層であることがわかっている。

5. 日本海の起源と歪み集中帯としての日本海東縁

一方で、日本海は広大なのに、なぜ日本海東縁だけに活断層が集中して大地震が発生するのか、という疑問が湧く。このことを理解するには日本海の形成史まで遡る必要がある。実は日本列島は約 3,000 万年前までは中国大陸の一部だったことが、地質学的に明らかにされている。その後、約 3,000 万年～約 1,000 万年前にかけてリフトといわれる大地溝帯（地面の裂け目）が形成され、大陸の一部が引き剥がされ、太平洋側に移動した。それが日本列島で、その時、東日本は反時計回りに、西日本は時計回りに回転して、今の日本海にあたる地域が新しく生まれた（図-9）。その日本海形成期（日本海拡大期）に、日本海には玄武岩やかんらん岩という有色鉱物からなる新たな地殻（海洋性地殻）が形成された。この海洋性地殻は、前述の石英や長石が

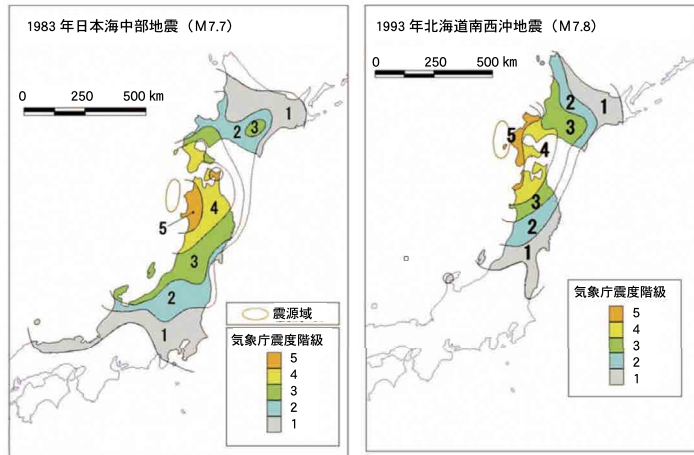


図-5 日本海中部地震、北海道南西沖地震の震度分布（「日本の地震活動」地震調査研究推進本部（2009）⁷⁾より）

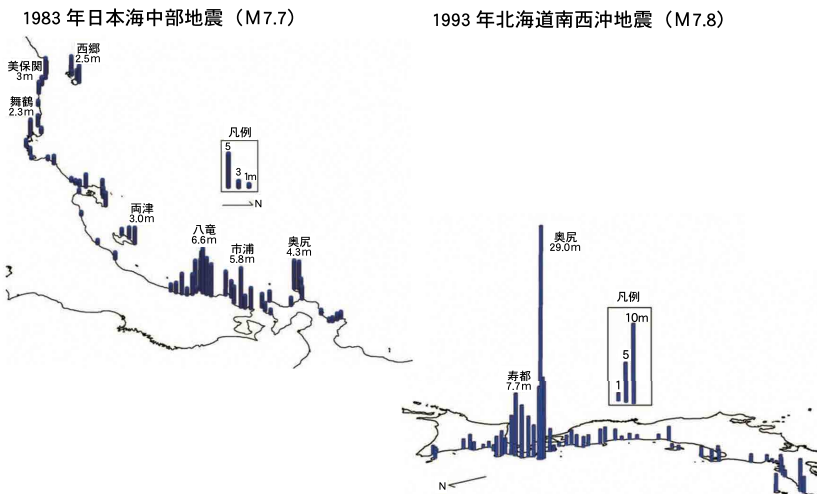


図-6 日本海中部地震、北海道南西沖地震の津波遡上高分布（「日本の地震活動」地震調査研究推進本部（2009）⁷⁾より）

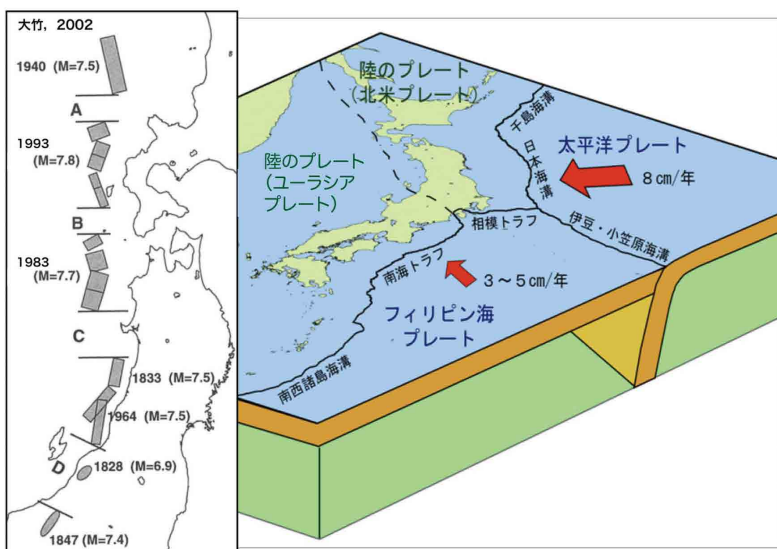


図-7 日本列島とその周辺のプレート（右：気象庁原図）と日本海東縁プレート境界における地震空白域（A-D、大竹、2002⁸⁾）

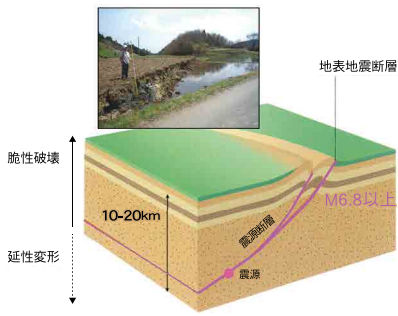


図-8 内陸地殻内地震の発生深度と地表地震断層

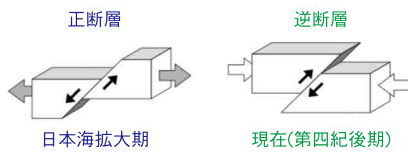


図-10 日本海拡大期に形成された正断層が現在は逆断層として再活動

ほとんど含まれない。そのため、高温でも延性にならず強度が高く、同じ歪みを受けても、大陸地殻を構成する花崗岩のように容易に破壊されない。そのため日本海の大部分では地震が発生しない。一方で、日本海東縁は日本列島内陸の延長部で、地下には花崗岩も分布しており、断層が容易に形成される。また、日本海東縁から東北地方内陸は、この日本海拡大期に東西引張場に多数の正断層が形成されていて、そもそも地殻内は脆弱な状態であった。これが、第四紀になって東西の圧縮場で、今度は逆断層として再活動している (図-10)。このことが、日本海東縁で活断層が密に分布する理由でもある。さらに、日本海東縁の断層が活動してきた歴史は東北地方内陸よりも古く、活断層の成長が著しい。そのため長い断層が多い傾向にある。断層が長いということは、Mの大きな地震を引き起こすということでもある。そのため、M7後半の大地震が頻発するのである。

日本海東縁の主要な活断層には、日本海における大規模地震に関する調査検討会 (2014) ⁶⁾ によって断層記号が付されている (図-11)。この多数の想定震源断層は、2011年の東日本大震災を受けて実施されてきた日本海に面する都道府県の津波浸水想定・被害想定に用いられてきた。例えば、山形県ではF28, F30, F34断層などが津波波源として計算に用いられ、F34断層によって鶴岡市沿岸で最大16mの津波が予想されている (山形県、

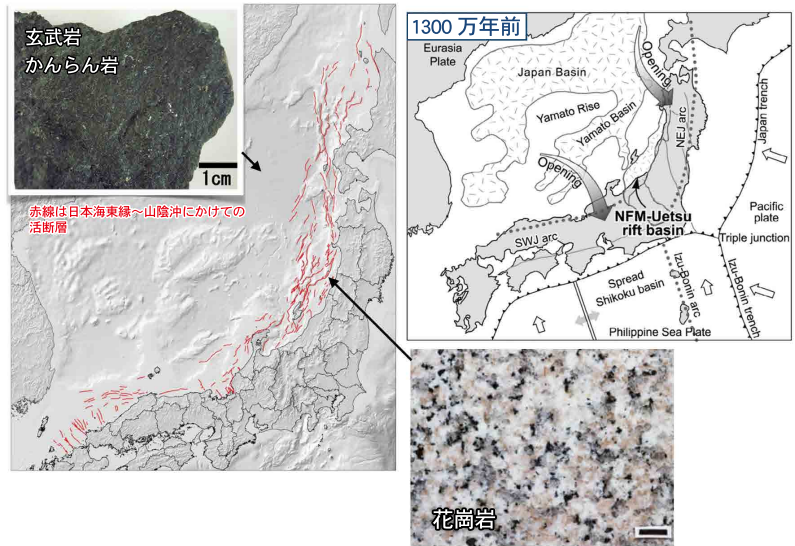


図-9 日本海東縁の活断層分布(左) ⁶⁾ と日本海拡大直後の状況(右) ¹²⁾

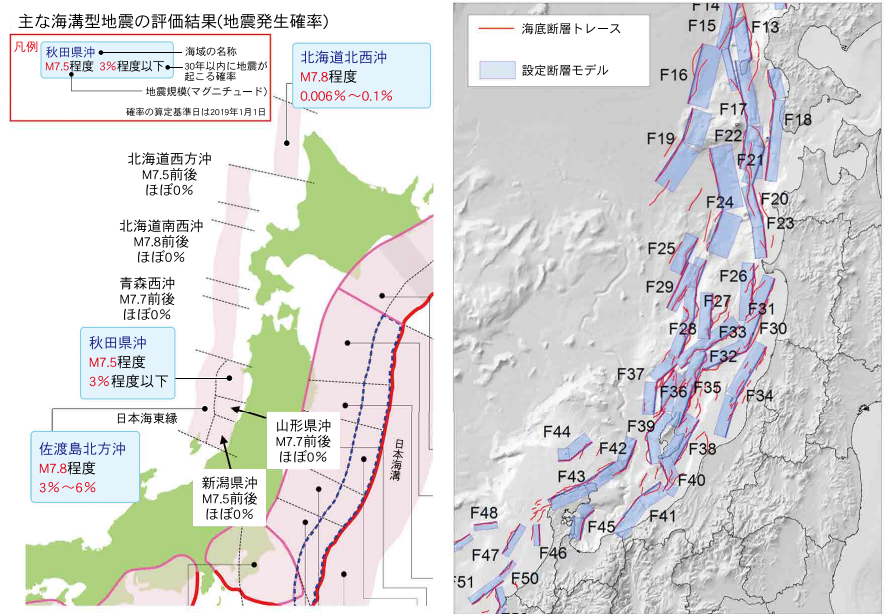


図-11 地震調査研究推進本部 ¹¹⁾ の長期評価 (左) と国土交通省 ⁶⁾ による海底断層 (右)

2016) ¹⁰⁾。意外なことに、山陰地方の鳥取県や島根県の津波浸水想定でも、近傍の沿岸活断層よりも、F28断層の影響が大きい地域もある。

一方、政府の地震調査研究推進本部 (2019) ¹¹⁾ では、日本海東縁で発生する大地震は海溝型地震の扱いになっている。そのため、日本海溝型と同様に発生区域区分を行い、最大地震の規模 (M) とその30年発生確率を示している。近年大地震が発生した区域は発生確率がほぼ0%で、前述のような大地震の空白域的考えに基づいて、秋田県沖と佐渡島北方沖はそれぞれ3%程度と3~6%程度のやや高い確率が算定されている (図-11)。

6. 山形県沖の地震と1964年新潟地震との関係

予測という観点から、今回の山形県沖の地震 (M6.7) を検討すると、1964年の新潟地震と無関係ではないことがわかる。図-12には山形県沖の地震発生前までの約20年間の震央分布と新潟地震直後の余震の分布を同じスケールで並べた。新潟地震から約55年経ったにもかかわらず、最近の小地震が多い地域が新潟地震の余震域とほぼ一致している。赤点で示した山形県沖の地震の余震域は、その中でも新潟地震の余震域の中の空白域を埋めているようにもみえる。

最近20年程度の余震研究において、

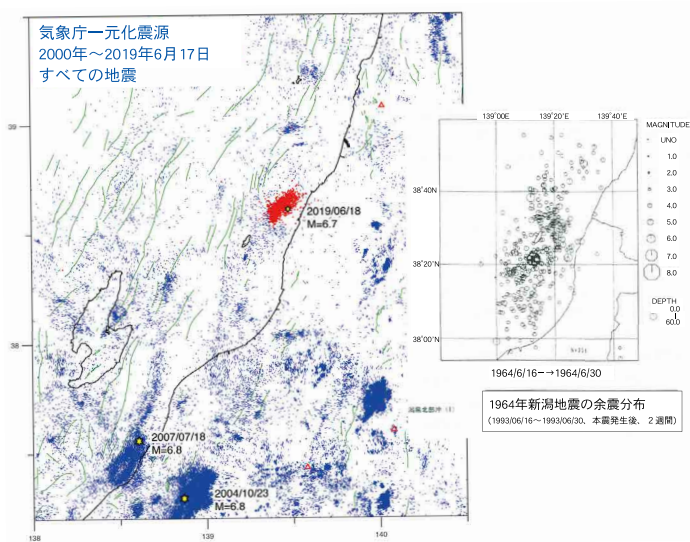


図-12 最近の地震活動と1964年新潟地震の余震域¹³⁾

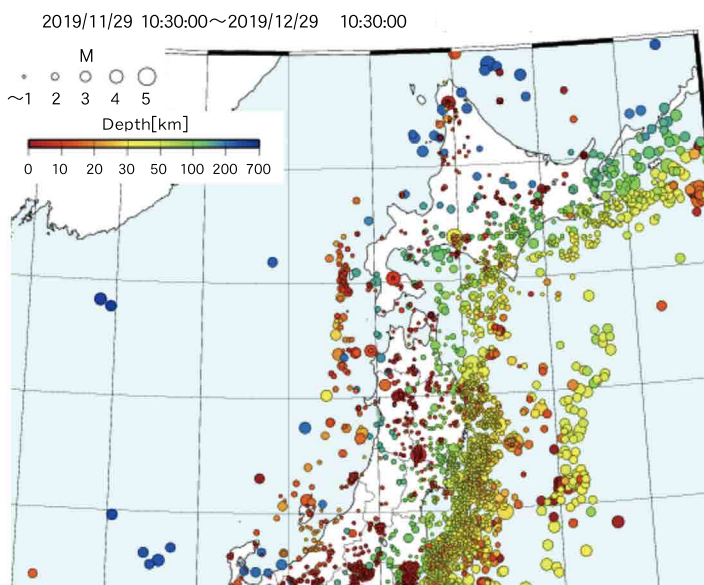


図-13 最近一ヶ月の地震活動（防災科学技術研究所Hi-net自動処理震源マップより）

日本列島の内陸大地震の余震活動は数十年、長い場合は百年以上継続することがわかってきた（この場合の余震は、無感地震も含める）。例えば、最近一ヶ月の地震活動をみると、日本海中部地震、北海道南西沖地震の震源域で未だに小地震が多いことを確認できる（図-13、防災科学技術研究所のHi-netのサイトより）。既に本震発生から36年、26年経過しているにも関わらず無感の余震は未だに発生している。地震統計の観点からは、小中地震が多いほど大規模な地震も発生しやすい。すなわち、これらの日本海東縁の過去の大地震発生域では、M7以上の確率は下がっても、M6程度の被害地震は余震の一つとして発生しやすい

状況が続いている。

7. おわりに

令和元年6月18日の山形県沖の地震は、M6.7で震度6強を記録した割には、全体として被害がきわめて軽微であった。震央から人口密集域まで距離があり、震源近傍の地質状況が良く地震波の増幅が限定的であったこと、また地震波の卓越周期が短く、低層構造物に影響をもたらすものではなかったことが幸いした。日本海東縁の大地震はM8弱まで大きくなるものの、基本的に内陸活断層型であり、断層が密集する理由は日本海形成にも関係する。震源は沖合から沿岸域なので、陸域で震度7になることは考えにくい

基本的には海底の上下変動が大きな逆断層型であり到達時間の短い大津波を伴うことが特徴である。Mも大きいことからゆれの継続時間も長く、海岸平野では新潟地震のように大規模な液状化も懸念される。また、内陸活断層型であるがゆえに、余震活動が長期で継続し、余震域では長期間M6規模が起りやすい。今回の地震も新潟地震の余震とみる見方でもできる。今後はM7-8級の大地震だけではなく、M7弱程度の地震にも注意が必要である。

【参考文献】

- 1) 気象庁 (2019) 令和元年6月18日22時22分頃の山形県沖の地震について, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1906/19a/201906190030.html>
- 2) 柴山明寛 (2019) 令和元年6月18日山形県沖の地震建物被害について, 令和元年(2019年)山形県沖の地震に関する緊急報告会資料, http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/earthquake/eq/20190618_yamagata_eq/20190624_shibayama4.pdf
- 3) 大野晋 (2019) 令和元年6月18日山形県沖の地震動特性について, 令和元年(2019年)山形県沖の地震に関する緊急報告会資料, http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/earthquake/eq/20190618_yamagata_eq/20190624_ohno.pdf
- 4) 防災科学技術研究所 (2019), J-SHIS 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
- 5) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2019) 20万分の1日本シームレス地質図, <https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/>
- 6) 国土交通省 (2014) 日本海における大規模地震に関する調査検討会最終報告, http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
- 7) 地震調査研究推進本部 (2009) 日本の地震活動一被害地震からみた地域別の特徴一, https://www.jishin.go.jp/resource/seismicity_japan/
- 8) 中村一明 (1983) 日本海東縁新生海溝の可能性, 地震研究所彙報, 58, 711-722.
- 9) 大竹政和 (2002) 日本海東縁の地震発生ポテンシャル, 「日本海東縁の活断層とテクトニクス」, 東京大学出版, 175-185.
- 10) 山形県 (2016) 山形県津波浸水想定・被害想定調査結果の公表について(平成28年3月), <https://www.pref.yamagata.jp/ou/bosai/020072/kochibou/tsunamisinsuih28.html>
- 11) 地震調査研究推進本部 (2019) 海溝型地震の長期評価, https://www.jishin.go.jp/evaluation/evaluation_summary/#kaiko_rank
- 12) Okada, S. and Y. Ikeda (2012) Quantifying crustal extension and shortening in the back-arc region of Northeast Japan, Journal of Geophysical Research, 117, B01404, doi:10.1029/2011JB008355.
- 13) 草野富二雄・浜田信生 (1991) 1964年新潟地震の余震分布再調査結果について, 地震, 44, 305-313.