

## 2019年山形県沖地震とその石造鳥居を中心とした被害\*

元山形大学地域教育文化学部 川辺 孝幸

### 1. はじめに

2019年6月18日22時22分過ぎに、山形県沖の日本海沿岸を震源とするMj6.7の地震が発生した。この地震によって、深奥に隣接する新潟県村上市府屋で震度6強をはじめ、山形県鶴岡市南部～新潟県村上市北部の海岸沿いの地域で震度6弱～震度5強を観測した。この地震の発震機構解では、とともに北北東-南南西走行で南東にゆるく傾く節面と西北西にやや急な角度で傾く節面とが示されたが（防災科研, 2019a, 気象庁, 2019a），その後の余震活動の震源分布を考えると、地震を引き起こした断層は、西北西にゆるく傾く面に相当すると考えられる。

筆者は、この地震による詳細な震度分布および強振動の方向を推定するために、地震によって被害を受けたと想定される神社の石造鳥居の損傷の有無と程度。および損傷をもたらした地面の動きの方向を復元するために、135の神社について現地調査をおこなった。

本報告では、石造鳥居の調査結果について報告し、調査結果をもとに推定される個々の震度と強振動の方向について述べる。

### 2. 2019年山形県沖地震について

2019年山形県沖地震は、2019年6月18日22時22分に、山形県-新潟県境に近い山形県沖約8kmの深さ12kmで発生したMj6.7の地震である。この地震によって、新潟県村上市府屋では、震度6強を観測し、山形県鶴岡市南部から新潟県村上市北部にかけて震度5弱以上の強振動がもたらされた（図1）。防災科学技術研究所（以下、防災科研）のK-NetおよびHi-Netによるこの地域内の5地点の速度粒子軌跡を図2に示す。

この地震の節面は、気象庁および防災科研のいずれも、北北東-南南西走向で西北西にやや急傾斜な面と同じく北北東-南南西走向で東南東に緩く傾く面の2つが求められたが（図3），本震および本震以降3時間までの余震の分布からは、北北東-南南西走向で東南東に緩く傾く面が地震を引き起こした断層面に相当すると考えられる（図4）。

2019年山形県沖地震の起きた場所は、海底地質構造図では、栗島を含む北北東-南南西方

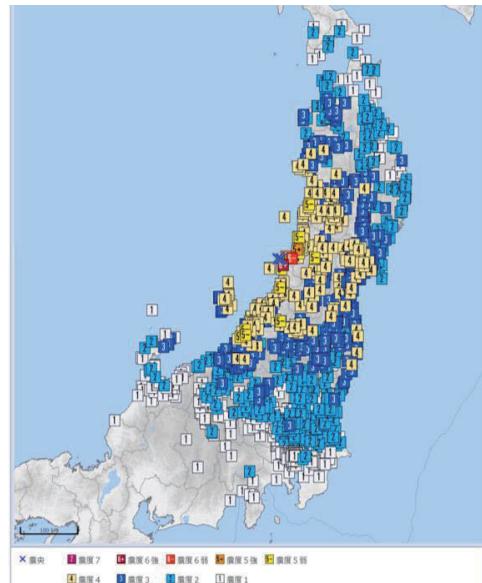


図1 2019年山形県沖地震の計測震度分布（気象庁, 2019b）

\*Off-Yamagata Prefecture Earthquake in 2019 and its damage of stone torii gates by Takayuki Kawabe

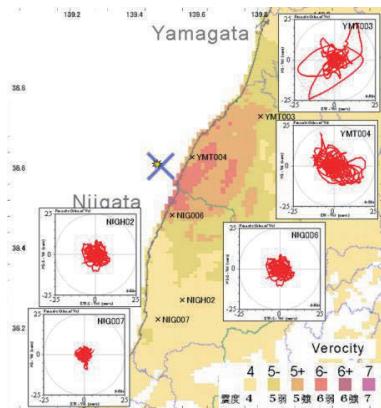


図2 K-NET およびKiK-NET 観測地点における速度粒子軌跡 (View-Wave) により防災科研 (2019b) の共振データから作図)。背景は気象庁 (2019c)による推計震度分布図。

	走向	傾斜	すべり角	方位	P軸	T軸	N軸
断層面解1	26	27	86	方位	299	125	30
断層面解2	210	64	92	傾斜	19	71	2

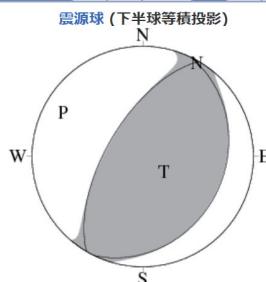
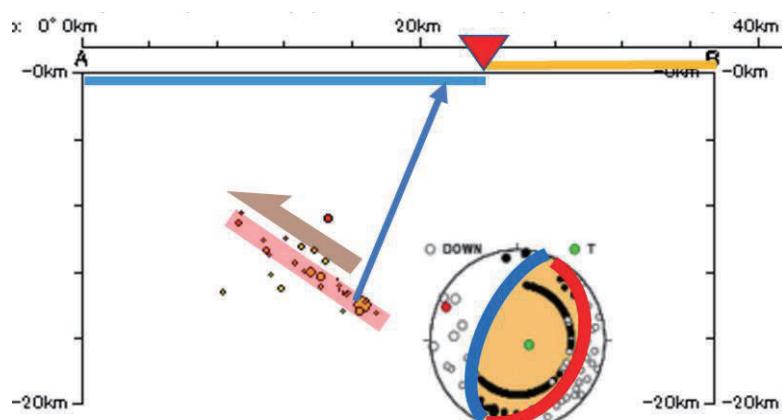


図3 2019年山形県沖地震の発震機構解(CMT解)(気象庁, 2019a)



断面線:N65.0° W  
2019/06/07 23:29:00 – 2019/06/18 23:59:59.

図5 本震発生後約2時間40分間の北西-南東方向の震源分布断面図と解釈。▼は海岸線の位置を示す。発震機構解は防災科研 (2019a) による初動解。

ト拉斯X5上にあわせて記入しておいた。

調査をおこなった135の個々の神社では、記載漏れの無いように川辺(2007)の調査票を使用して、鳥居の有無と鳥居の向きおよび素材を調べ、石造鳥居の場合には、損傷痕の有無と損傷痕の場所からの損傷をもたらした力学の推定をおこなった。なお、川辺(2007)の調査票では鳥居を制作した石工名および制作年についての記入欄が無いので、確認できるものについては、

向に伸びるリッジおよび1964年新潟地震の余震域の北東縁に位置し、余震分布から推定される断層面は、このリッジを西北西方向に押し上げるような関係になる(図5)。

### 3. 石造鳥居被害調査の方法

山形県鶴岡市南部から新潟県村上市北部にかけての地域には、国土地理院の地理院地図、株式会社クレオのプロアトラスX5、株式会社晶文社スマートマップルデジタル18およびGoogle Mapによると、183の神社がある。

筆者は、事前に、上記の地図類をもとに神社の位置と名前を可能な限り調べ、プロアトラスX5上に記入した。また、Google Street Viewおよび同空中写真3DViewにおいて可能な限り神社へのアクセス方法を確認し、鳥居の有無、鳥居の外形、素材の推定などを事前に行い、プロア

空いたスペースに記入した。個々の神社では、同時に、灯籠や狛犬などの構造物の変位や損傷痕の有無などの調査も。また、プロアトラス X5 の記入データおよび調査票、写真のそれぞれの関連を確実にするために、カメラとパソコンの時刻を合わせた上で、入力データおよび調査票の双方に、調査の開始時間を記入した。また、個々の写真の撮影場所が確認できるように、画像ファイル中に GPS の位置情報も保存されるようにカメラの設定をおこなった。

調査後には、プロアトラス X5 の XML データ中に含まれる記入データおよび緯度・経度、住所などを自作プログラムによって CSV ファイルに変換し、Microsoft Excel に読み込んで、調査票に記入したデータを入力した。入力した磁北方位のデータは自動で真北補正をおこなった。

#### 4. 石造鳥居の被害と被害をもたらした強震動の方向と相対的強さの関係

石造鳥居の被害は、基本的には加速度の急変時の、一撃のような強震動によって生ずると考えられる。

石造鳥居の被害と被害をもたらした強震動の方向と相対的強さの関係に関しては、2007 年能登半島地震の際に石造鳥居の損傷痕の調査をおこなった川辺（2007）によって、損傷の部位ごとに設定した被害ポイントの合計である被害度と気象庁の推計震度分布図に示される推計震度との関係をもとに、被害度と推計震度との関係を導き出した（表 1、表 2）。これによって求められた震度を換算震度と呼ぶ。

また、川辺（2007）および川辺（2010）では、部位ごとの損傷痕の位置および損傷痕の形態と損傷をもたらした力の方向との関係を明らかにし、変形をもたらした力の方向＝強震動の方向を推定することが可能になった（図 6）。なお、現場においては、地面を固定して鳥居が変形した方向を考える方が容易であるので、その方向を記録し、後で地面の移動方向に変換して地震動の方向を求めている。

■外力による鳥居の変形と破壊

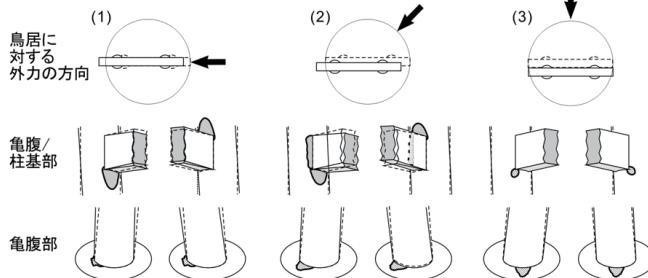


図 6 鳥居の外力と鳥居の変形および損傷との関係（川辺, 2007）

表 1 鳥居の部位ごとの損傷ポイント（川辺, 2007）

土台のヒビ:	1点
貫部のヒビ:	1点
貫の落下:	3点
亀腹のヒビ:	2点
亀腹の割れ:	3点
笠木の落下:	4点
柱の破断:	6点
柱の倒壊:	10 点

表 2 鳥居の被害度と推計震度との関係（川辺, 2007）

地震名	地域	石造鳥居の おもな岩石の種類	被害度と計測震度の関係				
			被害度0	被害度1～3	被害度4～9	被害度10～12	被害度13～
能登半島地震	能登半島西部	花崗岩	震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強

## 5. 石造鳥居被害調査の結果

調査をおこなった全 135 の神社の鳥居のうち、石造鳥居は 71 基であり、そのほとんどは花崗岩製であった（表 3）。非石造鳥居は 64 基で、木製が 24、コンクリート製が 39 で、コンクリート製の割合が高い。コンクリート製の割合の高い理由は、おそらく 1964 年新潟地震によって倒壊した石造鳥居の再建の際に、より耐震強度の高いコンクリートを選択したためである可能性が高い。素材ごとの分布を図 7 に示す。また、それぞれの石造鳥居における各部位の損傷痕の被害ポイントを合計した被害度/換算震度と強震動の方向を図 7 に示す。

表 3 調査をおこなった鶴岡市南部～村上市北部の鳥居の素材と被害度

鳥居材質	被害	無被害	不明	合計	割合 (%)	割合(%)除未調査
石造	29	42		71	38.8	52.6
花崗岩	26	38		64	35.0	47.4
安山岩	2	1		3	1.6	2.2
凝灰岩	1	2		3	0.0	2.2
結晶片岩		1		1	0.0	0.7
非石造	2	39	23	64	35.0	47.4
木	1		23	24	13.1	17.8
コンクリート	1	38		39	21.3	28.9
鉄		1		1	0.5	0.7
未調査				48	26.2	—
総計	31	81	71	183	100.0	100.0

## 6. 結果と考察

調査の結果、被害度の最大は、山形県鶴岡市鼠ヶ関の巖島神社の大鳥居と新潟県村上市岩崎の諏訪神社の鳥居の 10 で、換算震度は 6 弱になる。次いで村上市府屋の神明神社の鳥居の 7、鶴岡市小波渡の皇大神社の鳥居の 4、村上市杉平の伊須流岐神社と村上市馬下の八幡神社の鳥居の 3 で、いずれも換算震度は 5 強になる。さらに鶴岡市小岩川の住吉神社の上側の鳥居の 2、村上市塩谷の石堂神社の 2、その他はいずれも 1 であり、これらは換算震度が 5 強になる。

このように、強震動は震央の南東方向の山形県と新潟県の県境付近の海岸付近のみに集中して見られるだけで、そこから急激に離れるにつれて震動は小さくなる。換算震度の分布は、大まかには気象庁の推計震度分布と調和的な傾向を示しているということができる（図 7）。

鳥居の損傷痕から推定される強震動の方向については、鶴岡市

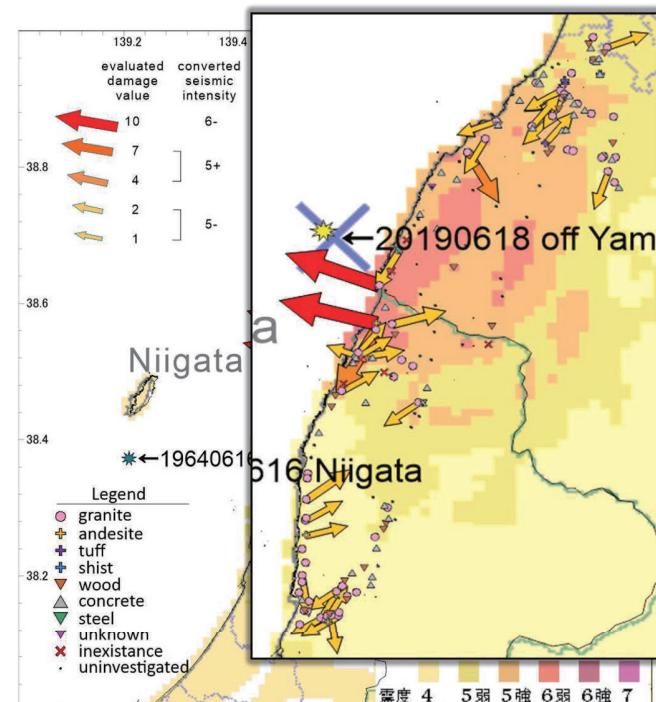


図 6 山形県鶴岡市南部～新潟県村上市北部の鳥居の素材と石造鳥居の損傷痕から求めた被害度（換算震度）と地面の最大加速度の方向。背景の図は気象庁(2019)による推計震度分布図。

鼠ヶ関の嚴島神社の大鳥居と新潟県村上市岩崎の諏訪神社の鳥居では、いずれも西北西方向を示している（図7）。ここで震央の方向は北西方向であり、30度ほど斜交している。鶴岡市の西部では鳥居の損傷痕から推定される強振動の方向はほぼ北東もしくは南西方向を向いており、震央の方向に一致するかその逆方向である。一方村上市の笛川流れ沿いでは北東方向を向くものが多く、南部の村上市の市街地周辺では、北東方向のものと南南東方向を向くものの2方向が見られる。震央の方向はほぼ真北であり、前者は45度程度斜交した方向で、後者は震央方向にやや斜交した反対方向を向くものが多い。このような鳥居の損傷痕から推定される強震動の方向からは、強震動は、おもに表面波によるものと考えられるが、今後さらに検討を行う必要がある。

## 7. 神社の一時避難所としての課題

神社は高台にあることが多く、調査に際して高台への上り下りを多く経験した。神社が高台にある理由は、おそらく過去に幾度となく発生した地震の津波によって、神様をより安全な高台に設置するようになったからであると考えられる。その意味で、今後起こりうる地震の際に、神社は津波被害から逃れることのできる安全な場所であるということができる。このようなことから、鶴岡市や村上市では、神社は、地震が起きた時の一時避難所として指定されている（図8）。

今回、鳥居の損傷痕の調査において、くしくも各神社の一時避難所までの経路の往復を繰り返した。筆者は、諸事情で後期高齢者の方々の体力に近い状況にある。

筆者の場合、神社のある集落の駐車可能な場所から集落の路地や参道を通って神社に上がるのに、多くの場所で5分～8分程度の時間がかかった。場合によって10分以上かかるところもあった。歩きにくいと感じたところは、参道の石段が傾いていたり段差の高さや幅がまちまちなために一定のリズムで登れないところがあつたり、基本的に手すりが途切れている部分があるとそこでは不安定になり不安を覚えるためにペースが落ちることがある。さらに、幅が横に

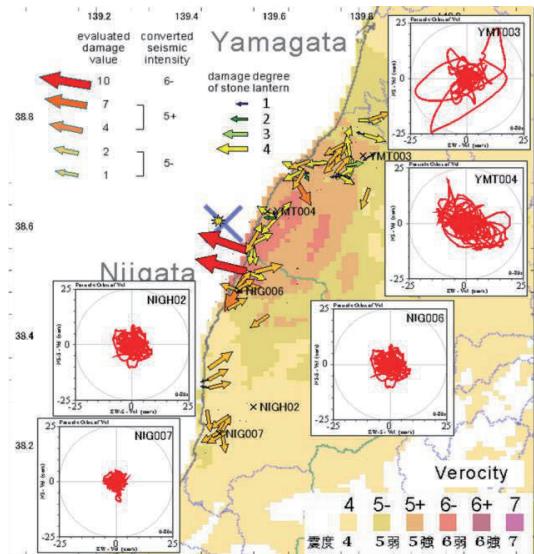


図7 山形県鶴岡市南部～新潟県村上市北部の石造鳥居の被害度・地面の加速度の方向とK-NET・KiK-NETの観測地点の速度粒子軌跡。背景は気象庁(2019)の推計震度分布図



図8 鶴岡市由良の急な斜面の上にある一時避難所（電柱の上部の左にあるのが鳥居）

二人並ぶと、もう一人通ることはできない場所も多いが、このことは介助の必要な方と介助者が並んで登るとそこで渋滞が発生してしまう可能性があり、最低限3人が並んで通れる幅が確保されるのが望ましいと感じた。地域住民の方々の避難行動の最適化のご努力は貴重であるが、さらに1分1秒を争う避難の時間を短縮するために、インフラの整備は必要ではないかと感じた。

## 8. おわりに

今回の調査では、調査地域内における石造鳥居ごとの損傷痕の状態からもとめた被害度とそれから換算した換算震度の分布は、気象庁の推計震度分布図に類似した傾向を示した。このことから、現地での揺れの強さを示す尺度として石造鳥居の損傷痕の調査は有効であることが確認できた。一方で、損傷をもたらした強震動の方向の持つ意味については、実態波と表面波との関係でさらに検討が必要である。

## 謝 辞

震源分布図の作成にあたっては、気象庁一元化震源カタログのデータを使用した。一元化震源は、国立大学、防災科学技術研究所等の地震観測データを気象庁が収集し、一元的に処理して得られた結果である。また、速度粒子軌跡の描画には、鹿島。俊英氏作のViewWaveを使用させて頂いた。調査にあたっては、川辺篤子氏に多大な協力を得た。これらの関係機関および方々に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 防災科学研究所 (2019a) 2018年6月18日山形県沖の地震の震源分布と初動解.<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/yamagata190618/?LANG=ja> (2020年1月13日閲覧).
- 防災科学研究所 (2019b) 防災科研 K-NET, KiK-net (NIED K-NET, KiK-net)  
<https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004>.
- 川辺孝幸 (2007) 2007年能登半島地震における石造鳥居の被害調査から推定される地震動－方法論－. 地球科学, 61, 5, 379-388.
- 川辺孝幸 (2010) 山形盆地に分布する鳥居の既往地震による被害状況について. 山形応用地質, 30, 45-50.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2019) 2019年6月18日山形県沖の地震の評価.  
[https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2019/20190618\\_yamagata\\_1.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2019/20190618_yamagata_1.pdf), 10p. (2020年1月13日閲覧).
- 気象庁 (2019a) 発震機構解(精査後)CMT解—2019年06月18日22時22分山形県沖M 6.7.  
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/cmt/fig/cmt20190618222219.html> (2020年1月13日閲覧).
- 気象庁 (2019b) 震度データベース. <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2020年1月13日閲覧).
- 気象庁 (2019c) 推計震度分布図—2019年06月18日22時22分山形県沖M 6.8.  
[https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/201906182222\\_281/201906182222\\_281\\_1.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/201906182222_281/201906182222_281_1.html) (2020年1月13日閲覧).