
調査報告

2007 (平成 19) 年能登半島地震と和倉温泉

大山正雄¹⁾

(平成 20 年 2 月 22 日受付, 平成 20 年 5 月 7 日受理)

Noto Peninsula Earthquake in 2007 and Wakura Hot Spring

Masao OHYAMA¹⁾

Abstract

On Mar. 25, 2007, an earthquake with a magnitude of 6.9 and an epicenter depth of 11 km occurred off the west coast of the Noto peninsula. It was reported that the seismic intensity observed at the towns of Wajima, Anamizu and Nanao was 6 or larger. One person was killed, 297 persons were wounded, and 580 houses were intensively damaged.

In and around the Noto peninsula, many active faults were developed. The Noto Peninsula Earthquake in 2007 came from one of them.

Hot spring waters discharged in Wakura are high temperature waters dissolved considerable amounts of sodium-calcium chloride (Na-Ca-Cl) type which is extremely rich in calcium, but poor in magnesium compared with sea water. The properties of Wakura hot spring water suggest that the sea water percolated through fractures in rocks generated by fault movements turns out to be the geothermal water characterized by Na-Ca-Cl type through hydrothermal reactions with high temperature rocks in depth.

When the Noto Peninsula Earthquake occurred, the discharge of Wakura hot spring water increased suddenly. The deep thermal water may reflect the change of the stress in the crust. We may be able to predict earthquakes by the observation of hot spring water.

Key words : Noto peninsula, Noto Peninsula Earthquake in 2007, Active fault, Wakura hot spring

要 旨

2007 年 3 月 25 日, マグニチュード 6.9, 深さ 11 km に震源をもつ地震が能登半島西岸沖で発生した。輪島, 穴水, 七尾で震度 6 強が観測され, 死者 1 名, 負傷者 297 名, 家屋全壊 580 軒の被害が報じられている。

能登半島とその周辺には多くの活断層が発達している。2007 年能登半島地震の活断層はその

¹⁾ 昭和女子大学 〒154-8533 東京都世田谷区太子堂 1-7. ¹⁾ Showa Women's University, 1-7 Taishido, Setagaya-ku, Tokyo, 154-8533, Japan.

一つである。

和倉温泉は溶存量の多い Na-Ca-Cl タイプの高温泉で、海水に比べると著しく Ca に富み、Mg に乏しい。和倉温泉の特性は、断層運動に形成された岩石の割れ目を通して浸透した海水が地下深部の高温岩体との作用によって Na-Ca-Cl タイプの熱水になったことを示唆している。

能登半島地震が起きた時、和倉温泉の湧出量は急激に増加している。深部熱水は地殻内の応力変化を反映すると考えられる。温泉の観測は地震予知が期待できる。

キーワード：能登半島，2007 年能登半島地震，活断層，和倉温泉

1. はじめに

2007 (平成 19) 年 3 月 25 日 9 時 41 分頃に能登半島西岸付近の深さ約 11 km を震源とするマグニチュード (M) 6.9 の地震が発生した。この地震で震源地に近い輪島市とその周辺地域で震度 6 強が観測され、北海道から中国・四国地方まで揺れを感じた。震源地から南東約 30 km に位置する半島東岸の七尾市でも震度 6 強が観測され、近くの和倉温泉にも被害が出た。和倉温泉は周囲に火山がないにもかかわらず沸点に近い高温泉を湧出し、その発祥は地震に関係していると伝承されている。そこで能登半島の地震と和倉温泉の被害状況について現地視察を行い、あわせて和倉温泉の成因について考えてみた。

2. 能登半島の地形と断層

2-1. 地形

能登半島 (図 1) は本州中央の日本海側に面する石川県の北半分を占め、かほく市北方の宝達山付近を基部として日本海に南北方向に幅約 20 km、長さ約 100 km の細長く突き出ている日本海側最大の半島で、一般的に能登地方、その南部を加賀地方と呼んでいる。能登地方はさらに富来 (とき)、能登島を結ぶ線を境に、南側を口能登、北側を奥能登に区分される。

口能登には南端の半島最高峰の宝達山 (637 m) から北端の石動山 (556 m) にかけて南西～北東に宝達山地が走っている。奥能登には大きく弧を描いて南西～北東に標高 300～400 m の定高性をもつ奥能登丘陵が分布している。丘陵には最高峰の高洲 (こうのす) 山 (567 m) や宝立 (ほうりゅう) 山 (469 m) などの残丘がそびえている。

能登半島の北岸と西岸の日本海側は外浦、東岸の富山湾側は内浦と呼んでいる。外浦は海蝕崖や波蝕台の見られる海岸段丘が発達している。これに対して内浦は能登一の美しい入江といわれる九十九 (くつも) 湾や七尾湾など溺れ谷の沈水性海岸が続いている。山地の地形は概して西岸 (外浦) で高く、東岸 (内浦) に向かって低くなる。半島の北と西側は隆起、東側は沈降の運動が顕著で、第四紀において傾動地塊が成長していると考えられている (太田, 2006)。北端部の最大平均隆起速度は 1 m/1000 年である (太田・平川, 1979)。

能登半島の地形はおおよそ南西～北東に山地と丘陵の峰、低地の長軸がほぼ平行している。宝達山地と奥能登丘陵の間には南西端の羽咋市から北東端の七尾市にかけては半島を分断するように幅約 5 km、長さ約 25 km の邑知潟 (おうちがた) 低地帯が走り、能登半島最大の平野部を形成している (斉藤, 1985)。

2-2. 断層

半島中央部の邑知潟低地帯は沖積低地で、その両側を直線的な急崖で境されている。その北端に近い場所では第四紀層の厚さが最大 90 m 以上にも達している (太田・平川, 1979)。邑知潟低地帯の両側の急崖は逆断層によるもので、北側は眉丈山 (びじょうざん) 断層、南側は石動山断層と呼

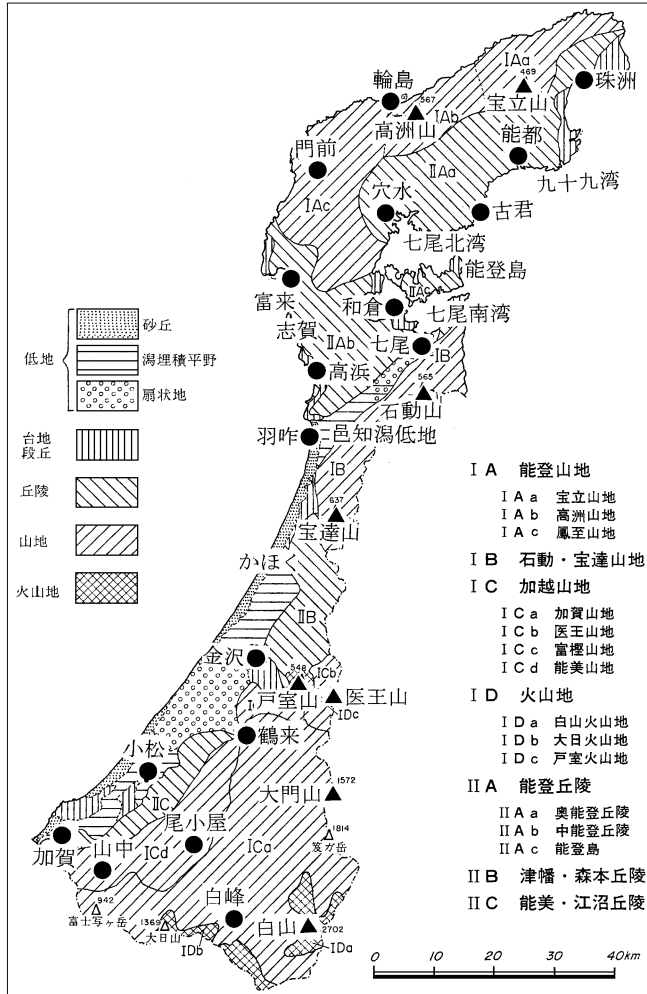


Fig. 1 Topographical map of Noto Peninsula (after Kaseno, 1977)
 図 1 能登半島の地形図 (粕野, 1977 に加筆)

ばれる (図 2)。最新活動期は、眉丈山断層が 5.6 万年以前、石動山断層が 3000 年前である (太田, 2006)。これらの断層の活動度は B 級とされている (総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編, 1996)。石動山断層は金沢付近の北北東-南南西方向に走向をもつ森本断層の方向に延びている (図 3)。能登半島の活断層はおおむね北東-南西に走る逆断層である (太田, 2006)。

3. 能登半島の 1700 年以降の主な地震

能登半島とその周辺に被害を及ぼす地震は、主に陸域の浅い地震である。1700 年以降の M 6 以上の地震は図 3、地震被害は表 1 に示す。

1729 年の地震は能登半島先端、1799 年には半島下端の金沢で起きた。1799 年の地震は現在の金沢市で城の石垣破損や家屋損壊 4200 棟、周辺地域で 2000 棟と被害が大きく、「寛政の金沢地震」とも呼ばれている。この地震は森本断層で発生したと考えられている (総理府地震調査研究推進本部

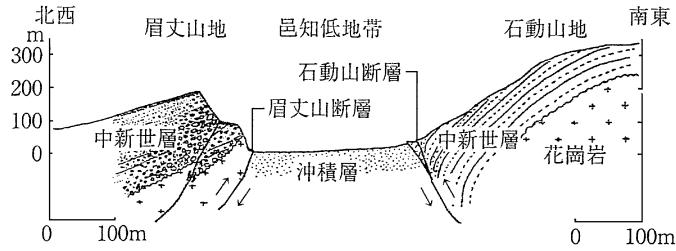


Fig. 2 Cross section across Ouchigata lowlands (after Ota, 2006)

図 2 邑知低地帯を横切る模式断面図 (太田, 2006 に加筆)

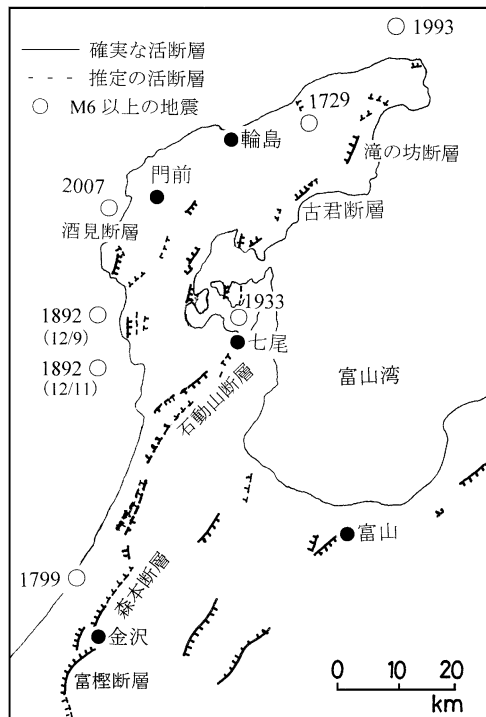


Fig. 3 Active faults of the Noto peninsula and earthquakes of M 6 or greater after 1700 (after Active Fault Society, 1991 and Usami, 1996)

図 3 能登半島の活断層と 1700 年以降の M 6 以上の地震 (活断層研究会, 1991 ; 宇佐見, 1996 を参考に作成)

地震調査委員会編, 1996). 1892 年の地震は半島中央の西岸沖で 12 月 9 日に M 6.4, その 2 日後の 11 日に M 6.3 が南で起きている. 1933 年の地震は七尾南湾を震源とし, 沿岸部に大きな被害が生じた (図 4). 特に石崎では特にひどく死者 2 人, 世帯数に対する建物被害率が 34% に達した. 建物被害率は田鶴浜で 18.7% であるが, 和倉は 8% であった.

今回の地震の前には, 1993 年に能登半島の北岸沖で M 6.6 の地震が発生し, 輪島の検潮場などで最大波高 26 cm の津波が観測された. この地震は“能登半島沖地震”と呼ばれている.

Table 1 Earthquakes of M 6 or greater after 1700 in and around Noto peninsula (after Usami, 1996 and Fire and Disaster Management Agency, 2007)

表 1 能登半島とその周辺の 1700 年以降の M 6 以上の被害地震 (宇佐見, 1996 ; 消防庁, 2007)

	地震発生時	地震規模 M (震源の深さ)	主な被害
1	1729 年 8 月 1 日 (享保 14 年)	6.6~7.0	死者 5 人, 家屋全・損壊 905 棟, 山崩 31 箇所
2	1799 年 6 月 29 日 (寛政 11 年)	6.0	死者 21 人, 金沢城下の家屋全壊 26 棟, 損壊 4169 棟, 周辺地域の家屋全壊 964 棟, 損壊 1003 棟
3	1892 年 12 月 9/11 日 (明治 25 年)	6.4 (9 日) 6.3 (11 日)	死者 1 人, 負傷者 5 人, 家屋全壊 2 棟
4	1933 年 9 月 21 日 (昭和 8 年)	6.0 (15 km)	死者 3 人, 負傷者 55 人, 家屋全壊 2 棟, 損壊 143 棟
5	1993 年 2 月 7 日 (平成 5 年)	6.6 (25 km)	重傷者 1 人, 軽傷者 29 人, 家屋全壊 1 棟, 半壊 20 棟
6	2007 年 3 月 25 日 (平成 19 年)	6.9 (11 km)	死者 1 人, 負傷者 356 人, 家屋全壊 684 棟, 半壊 1733 棟

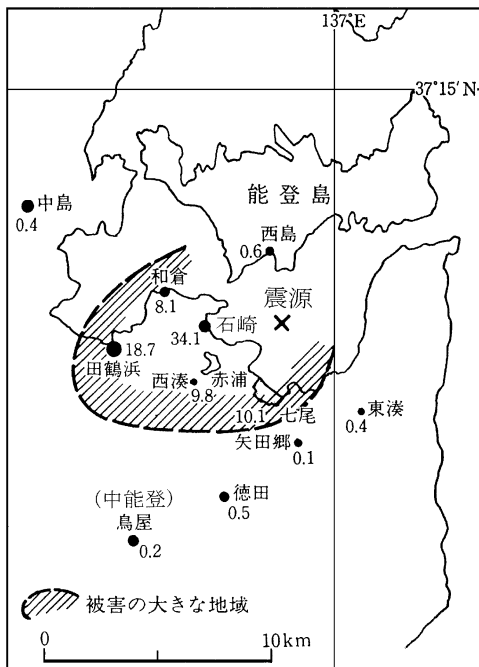


Fig. 4 Ratio of house damage due to the 1933 Earthquake (after Usami, 1996)

図 4 1933 年能登半島地震の建物被害率 (宇佐見, 1996)

4. 2007 (平成 19) 年能登半島地震

2007 (平成 19) 年 3 月 25 日 9 時 41 分頃, 能登半島中部の西岸付近に深さ 8.6 km でマグニチュード (M) 6.9 の地震が発生した (図 3)。この地震により, 石川県七尾市田鶴浜町, 輪島市門前町・鳳至町, 穴水町で最大震度 6 強, 志賀町, 中能都町, 能都町で震度 6 弱を観測し, 約 360 km 離れた東京や大阪でも震度 2 の揺れを生じた。また, 石川県に津波情報が 9 時 43 分に発表され, 11 時 30 分に解除された。津波の最大の高さは珠洲市で 22 cm, 金沢市で 18 cm を記録した。消防庁による 4 月 18 日現在の被害状況は死者 1 人, 負傷者 336 人, 住家全半壊 1643 棟となっている。死者の 1 人は輪島市の自宅内の灯籠の下敷きによる。気象庁はこの地震を「平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震 (英語名: The Noto Hanto Earthquake in 2007)」と命名した。

今回の地震はこれまで記載されていない活断層で発生し, しかも能登半島周辺で 1600 年以降の最大級の規模であった。

この地震は, 前震がみられず本震-余震型である。余震の回数は時間とともに減少している (図 5)。

最大余震は 3 月 25 日 18 時 11 分と 3 月 26 日 7 時 16 分に発生した M 5.3 の地震である。余震のほとんどは本震を挟んで南西-北東方向に約 50 km, 北西-南東方向に約 20 km の範囲内に発生している (図 6)。最大余震はそれぞれ余震域の北東端と南西端に分布している。余震はほぼ南西-北東方向に並び, 南東方向に傾斜する面状分布をしている。

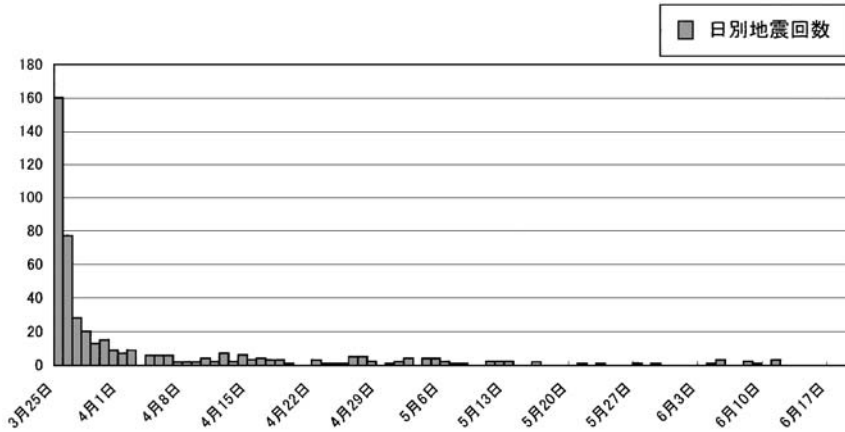


Fig. 5 Daily numbers of aftershocks of the seismic intensity 1 or larger for the Noto Peninsula Earthquake in 2007 (after Japan Meteorological Agency, 2007)
 図 5 2007 年能登半島地震の震度 1 以上を観測した地震の日別個数 (気象庁, 2007)

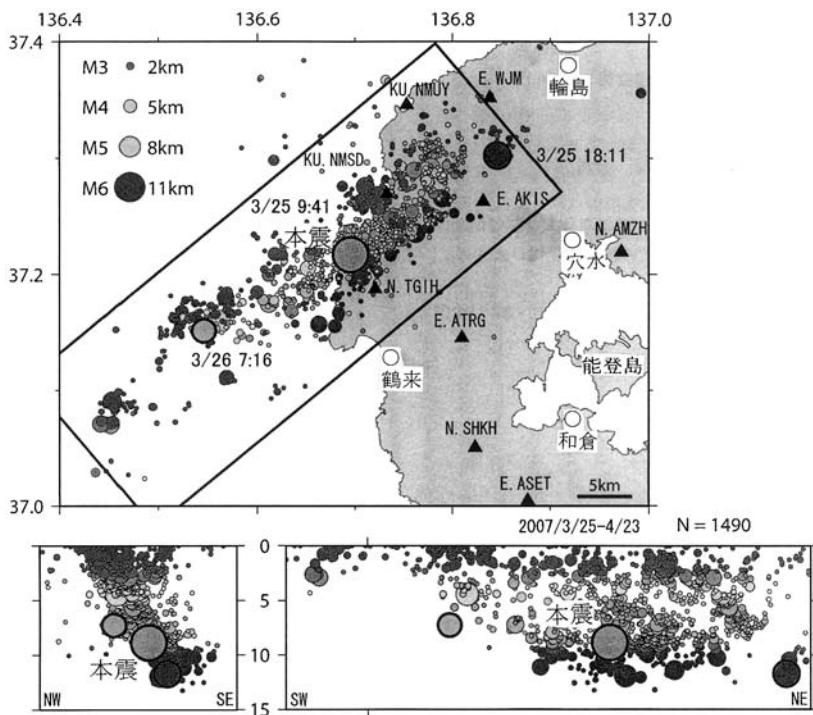


Fig. 6 Hypocentral distribution of the Noto Peninsula Earthquake in 2007 (after Sakai and Kato, 2007)
 図 6 2007 年能登半島地震の震源分布 (酒井・加藤, 2007)

GPS 観測によると、能登半島西の富来で南西方向へ約 21 cm の変動、約 7 cm の隆起に対して東の穴水で北西方向に約 12 cm の移動、約 2 cm の沈降が観測された (国土地理院, 2007)。陸上の現地調査によると、門前町から志賀町にかけて能登半島北西岸で最大隆起量約 40 cm、最大沈下量約

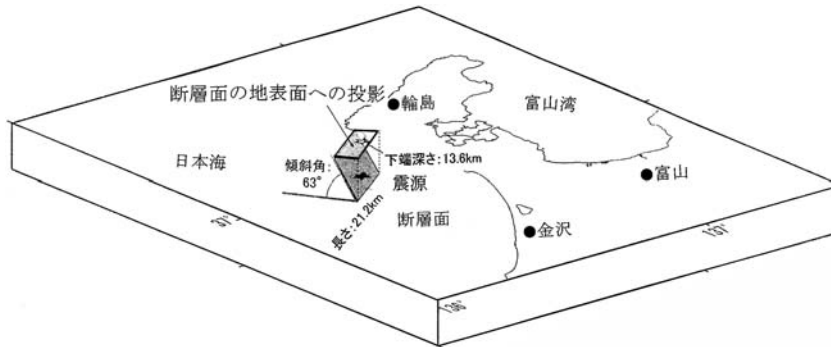


Fig. 7 Schematic source region of the Noto Peninsula Earthquake in 2007 (after Geographical Survey Institute, 2007)

図 7 2007 年能登半島地震の震源状況の概念図 (国土地理院, 2007, ホームページから, 一部補足)

10 cm の上下変位が確認されている。

国土地理院 (2007) によると, 本震の発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ成分を持つ逆断層型である。活断層 (すべり) 面はほぼ北東-南西方向, 大きさは長さ約 21 km, 幅約 14 km で, 北西から南東に傾き (傾斜角 63 度) 下がっている (図 7)。活断層面の深さは上端が 1.2 km, 下端が 13.6 km で, すべり量は約 1.7 m である。これは南東側の地塊が北西側に乗り上げるような断層運動によるものと考えられ, 余震の分布ともほぼ整合している。震源は海底下であり, 海底面が上下に揺すられたために津波も発生した。

能登半島北部は全体として北高南低の傾動にあるが, 今回の地震もその傾向を累積するものと考えられる。

西南日本の能登半島は東から太平洋プレートとフィリピン海プレートが下部に沈み込んでいるユーラシアプレートにあり, たえず東西方向に圧縮されている。この圧縮による地層の歪みは地層の褶曲や大地震をとまなう活断層の動き (変位) によって解消されている。一般的にプレート内の活断層の活動間隔は数百年から数千年と長いために植物や土砂に覆われていて, 調査しても見つからない場合が多い。それを前提にした防災対策が必要であることを今回の地震は示している。

5. 輪島と和倉の地震被害状況

2007 年能登半島地震の発生から 1 月後の 4 月 23 日と 24 日に輪島と和倉に赴いた。

5-1. 輪島の状況

輪島は金沢駅前からバスで向かった。バスは能登半島西岸の有料道路を北上していたが, 次第に道路の欠損部分や斜面崩壊跡が現れ始め, 穴水町の手前で通行止めとなって有料道路を離れて一般道路に入った。

輪島市街の被災家屋の場所はすでに整地されてなにも残っていなかった (写真 1) が, 輪島川 (河原田川) の河口に近い左岸側の鳳至 (ふげし) 町の住吉神社と右岸側の河井町の重蔵神社では鳥居や石の囲いなどが崩壊したままとっていた (写真 2)。重蔵神社の隣に市営の無料の輪島温泉足湯があり, 地震の影響があまり無かったようで賑わっていた。飲泉口の温泉は泉温 59.0°C (気温 18.8°C), 電気伝導度 43.7 ms/cm で, 口に含むと著しく塩辛い温泉であった。

輪島市内から約 16 km 南西に位置する大きな被害を受けた門前町は曹洞宗大本山総持寺祖院の



Photo 1 Site after clearing the damaged houses by the Noto Peninsula Earthquake in 2007, Wajima.
写真 1 輪島市内の地震被災家屋の整地跡 (2007年4月23日)



Photo 2 Damage to Juzo Sinto shrine by the 2007 Earthquake, Wajima.
写真 2 輪島市内重蔵神社 (2007年4月23日)



Photo 3 Crashed houses of Monzen Town, Wajima.
写真 3 門前町の家屋の崩壊 (2007年4月23日)

町である。当地は震源地に近いことと輪島市の中心地から離れていることもあってか崩壊した家屋がまだ残されており (写真3)、また、重機による崩壊家屋の取り除き (写真4) が盛んに行われていた。

地元の人の話によると、地震時には初めゴーという音がしたという。その時は近くに航空自衛隊小松基地があるのでジェット戦闘機の爆音かと思っていたら、その直後にドンドンと音がして激しい揺れに襲われ、生きた心地がしなかったそうである。

輪島市門前町は過疎化が進み、高齢者が住民人口の半数を占めている。その一つの大釜集落は人口が激減して極端な過疎化に悩む「限界集落」となっている。このため、家を再建する意欲が少なく、新たな家は生活や通勤に便利な輪島市中心部に求めるであろうとのことである。この話を聞いて最近訪れたレバノン、シリア、ヨルダン、トルコの最古の古代都市遺跡を思い出した。これら古代都市は死海地溝帯やその北のアナトリア断層の近くにあり、度々大地震に見舞われて崩壊した。しかし、崩壊しても栄えているときには再建をしていたが、時代とともに活動の中心が他の地域に移り、都市が次第に衰微していた時に大地震で崩壊すると見捨てられ、近年まで埋もれていた。都市消滅の最後の一撃は大地震といえる。門前町の過疎化は今回の地震によって一気に進行するのではないかと思った。これは3年前の新潟県中部地震による山古志村にもいえることである。

5-2. 和倉の状況

2007年能登半島地震は和倉温泉地 (写真5) を挟む穴水町と七尾市で震度6強を観測している。和倉では最初にドーンという音と共に縦揺れがあってから激しい横揺れとなったという。丸山東麓の青林寺 (標高約10m) では、石灯籠の倒壊 (写真6)、本堂の柱のずれなどが生じ、海に面する埋立地の和倉公園では液状化による噴砂や地割れ (写真7)、道路や岸壁に変形が生じていた。温泉旅館や



Photo 4 Clearing away the damaged house.
写真 4 損壊家屋の取り除き (2007 年 4 月 23 日)



Photo 5 Wakura spa and Maruyama hill
写真 5 和倉温泉街と遠景の丸山 (2007 年 4 月 24 日)



Photo 6 Damage to Seirinji temple, fallen stone lantern
etc. Wakura.
写真 6 青林寺の石灯籠の崩壊等 (2007 年 4 月 24 日)

ホテルの多くは海に面する埋立地に建てられているが、壁や屋根などの破損程度で、崩壊するような被害は起きなかった。

温泉管理者の話によると、温泉は地震直後に揚湯動力(エアリフト)が数秒の停電で、瞬間的に湧出が止まったが、動力を再開すると色が赤茶く濁っていた。第 10 号井の湧出量は約 2 倍になったと推定されている。こうした状態が 2 日間ほど続き、その後、次第に元の無色透明と湧出量の状態に戻った。また、4 ヶ月後の 7 月 15 日に起きた 2007 年中越地震では、小さな縦揺れ後、数十秒してから大きな揺れが長く続き、温泉が前より薄い茶色に 4 時間ほど濁ったとのことである。

3 月の能登半島地震では、温泉の配管が地震動によって 4 カ所で切断や屈曲したりした(写真 8)。これらは全て明治 15 (1882) 年以降の埋立の部分で起きている。温泉供給は完全な停止に至らなかったが配管の完全復旧に 4 日程要している。

和倉地域の建物に大きな被害はなかったが、水道管、温泉旅館やホテルの館内のスプリンクラー、壁などの破損、温泉供給の停止、および館内点検などで多くの温泉施設がしばらく休業に至った。このため、春休みの旅行シーズンでの宿泊のキャンセルは大きな打撃となった。例えば、老舗旅館で最大規模の「加賀屋 (240 室)」では館内の水道管の破裂や客室の壁の一部崩落で約 1 ヶ月の休業となり、館内の修復だけでも数十億かかり、加えて 1 日宿泊を断るだけで約 4000 万円の損害になると伝えられている(毎日新聞、2007 年 3 月 26 日)。

和倉温泉の旅館やホテルは 28 軒であるが、地震後に営業をしているのは 2 日後が全体の 3 分の 1 の 9 軒で、5 日後に半数、24 日後の 4 月 17 日になってようやく全てが震災前の状態に戻ることができた(表 3)。

宿泊のキャンセルは地震後の 25 日と 26 日で計 5,712 名、3 月分で 18,415 名である。4 月 12 日の状況によるとキャンセルは 4 月分が 29,162 名、5 月が 10,493 名、6 月が 8,343 名と



Photo 7 Crack of stone pavements and traces of sand blow phenomenon (left).

写真 7 地割れと液状化による噴砂 (2007 年 4 月 24 日)



Photo 8 Broken pipe of thermal water caused by the 2007 Earthquake.

写真 8 温泉配管の破損 (屈曲) (2007 年 4 月 23 日)

かったが文化 13 (1816) 年頃に架橋 (約 54 m) がなされた (写真 9)。湯島は明治 12 (1879) 年に行われた埋立工事によって陸続きとなった。その後も海岸の埋め立てが組合、個人、旅館、七尾市などによって湯島沖の弁天島の先まで行われた。

温泉井の最初の掘削は大正 10 (1921) 年に竣工した上総堀による深度 20 間 (約 36 m) の新湯で、温泉が 3 尺 (約 0.9 m) 噴き上げたと伝えられる。次いで大正 12 (1923) 年 4 月に竣工した深度 17 間 (約 30 m) の第 1 号泉は、温泉を 7 尺 (約 2 m) 噴き上げるほど湧出したが、元湯と新湯の湧出量が減少した。第 2 号井は昭和 29 (1954) 年に竣工し、深度 40.9 m の孔井から 94.2°C、250 l/分を湧出した。その後も試掘が行われた。現在の最新の源泉は元湯の位置に行われた平成 10 (1998) 年竣工の第 14 号である。

温泉利用は共同湯と源泉地でくみ湯し、その湯を運んでの内湯であったが、掘削による温泉量の増大により集湯タンクからパイプでの配湯が行われるようになった。現在、稼働しているのは、第 5 号、8 号、10 号、13 号の 4 源泉井で、エアリフトで揚湯している。4 源泉の可能総湧出量は 1,600 l/分である。その内の半分の 789 l/分が利用され、27 軒に配湯されている。

なっており、回復に時間がかかっている。

地震被害は構造物だけでなく社会に与える影響も大きい。地震を契機に社会構造が大きく変わるし、たとえ被害が小さくとも回復に長い時間を必要とするからである。

6. 和倉温泉とその成因についての考察

6-1. 和倉温泉の概史

和倉温泉は大同年間 (806-810) に発見されたという。最初の温泉は海に面する丸山 (標高 69.3 m) の湯の谷 (標高約 20 m) に湧出していたが、永承年間 (1046-53) あるいは永正年間 (1504-21) の大地震で源泉が海中に移ったと伝承されている (田川, 1992)。地震で水脈が変わることは知られている (大山・平野, 1985)。和倉温泉の湧出が地震に関係しているとの伝承はその湧出機構について一つの示唆を与えるものである。

和倉の名の初見は慶長 16 (1611) 年である。それより約 70 年前の天文 13 (1544) 年に「涌浦 (わくうら)」と書かれた資料がある。海中の源泉は干潮時には姿を見せていたようである。こうしたことが和倉の地名の由来となっている。

天文年間に源泉を石垣で囲んで湯船で七尾に取り寄せて七尾城主の畠山氏が湯治したと伝えられている。くみ湯は一時途絶えたが、江戸時代になって再び石垣を築いて湯島が造られた。湯島には小舟で渡らなければならな

Table 2 Chemical compositions of Wakura thermal water and the sea water

表 2 和倉温泉と海水の化学組成

	第 10 号	第 13 号	混合泉 (5, 8, 10, 13 号)		海水	
温度 °C	91.4	88.9	89.1		—	
pH	7.4	7.7	7.7		8.1	
単位	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%
Cl ⁻	12210	11980	11650	49.5	18980	45.1
Na ²⁺	4358	3195	4233	27.7	10556	38.7
Ca ²⁺	3014	3326	2817	21.2	400	1.7
SO ₄ ²⁻	179.0	217.4	185.1	0.6	2649	4.6
K ⁺	131.0	127.0	144.8	0.5	380	0.8
Sr ²⁺	—	43.4	48.9	0.1	8	0.0
HCO ₃ ⁻	10.6	18.8	15.6	0.0	140	0.2
Li ⁺	9.3	12.6	8.5	0.2	0.17	0.0
Mg ²⁺	4.2	24.0	7.5	0.1	1272	8.8
Br ⁻	15.6	0.4	48.6	0.1	65	0.1
F ⁻	3.1	1.1	4.9	0.0	1	0.0
遊離成分	142.7	168.1	125.4		—	
その他	16.5	4.2	6.7	0.0	26	0.0
溶存物質	20094	19118	19296	100.0	34477	100.0
分析年月	1991/07	1992/11	1999/11			
資料	和倉温泉合資会社 (2007)				松井・一国 (1978)	

Table 3 Numbers of the working hotel and the logging cancellation after the 2007 Earthquake, Wakura spa.

表 3 和倉温泉地の地震後の旅館・ホテルの営業件数と宿泊キャンセル数

	3月26日	27日	28日	29日	30日	31日	4月5日	7日	14日	17日
営業件数 総数 28 軒	9 軒	10 軒	12 軒	14 軒	15 軒	20 軒	22 軒	23 軒	24 軒	28 軒
キャンセル 累積人数	5712		13584			18415				

6-2. 和倉温泉の泉質

和倉温泉は明治 13 (1880) 年にドイツで開催された万国鉱泉博覧会に提出し、3 等賞の栄誉ある審査成績を得た。その時の分析値を見ると、泉温 83.5°C (華氏 182 度)、総溶存量 21.6 g/kg、蒸発残留物 22 g/kg (立川, 1985) とあり、沸騰に近い高濃度の塩化物泉が自然湧出していた。湯島の浴槽で利用していた時は海水で入浴の適温に調整をしていた。

和倉温泉井のこれまでの掘削の最大深度は 300 m、最高湧出温度が 95.8°C である。深度温度 90°C の高温泉が得られるのは元湯 (湯島の時の泉源) の場所を中心とした半径 100 m 以内である。元湯



Photo 9 This area has since been filled in, however, this illustration depicts the late Edo period when Benten island was located outside of Yushima island which has a bridge.

写真 9 陸続きになっているけども、この絵は江戸後期に架橋された湯島と沖の弁天島を描いている。

から 100 m 以上離れると低温になるようである。このことから和倉温泉は狭い範囲の亀裂を通して地下深部から上昇してきていることを示唆している。

孔内柱状図(図 8)によると、深度 5~45 m は珪藻泥岩、その下部が安山岩質凝灰岩である。孔内温度は深度 20 m 付近から急上昇をして深度 110 m 付近で 90°C に達している。孔内温度分布から判断すると、温泉は地下深部から湧出し、深度 95 m~110 m 付近の安山岩質凝灰岩層の割れ目から井孔内に流入していると推定される。上部の珪藻泥岩は能登半島に広く分布し(粕野, 1977)、1200 万年前に堆積した緻密で堅牢な地層であるので、地下の熱水系の冷却を保護するキャップロック(帽子岩)の役割をしていると考えられる。

前記した 4 源泉の混合泉の蒸発残留物は 25.07 g/kg, 総溶存量は 19.29 g/kg と海水に匹敵する(表 2)。泉質は Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- を主成分とする典型的な Na-Ca-Cl 型である。この温泉は海水に比べると著しく Ca^{2+} が多く、 Mg^{2+} と SO_4^{2-} 少ない海岸温泉(酒井, 1975)に似た特徴を示している。

6-3. 和倉温泉の成因

能登半島は新第三紀中新世の火成岩と堆積物が骨格を形成している(粕野, 1977)。和倉温泉の成因については次のように考えることができる。

日本列島は白亜紀から古第三紀頃までアジア大陸北東端部の陸弧の一部であった。新第三紀中新世の 2200 万年前頃にアジア大陸北東端部と陸弧との間に割れ目が生じた。割れ目の拡大によって、日本海が形成され、日本列島となる陸塊が東に移動した。日本海の拡大は 1500 万年前に終了したと推定されている(鳥居ら, 1985; 平, 2004)。日本海形成期の間には、大規模な海底噴火が行われた。日本海沿岸の地域に分布するグーンタフ(緑色凝灰岩)と呼ばれる緑色に変質した火山岩類の多くはこの時期に海底で噴出したものである。

日本海底の地殻熱量は $2.20 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ (島津, 1971) で、地球の平均値 $1.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ の 1.5 倍も大きい。地下から上昇してくるこの熱量の熱源は日本海拡大期の第三紀中新世の頃に割れ目に貫入した玄武岩質マグマによるものと推定される。

地殻表層部の地球平均の地下増温率は深度 100 m に付き 3.3°C である。地下増温率は火山地域のような地熱量の多い所では大きく、地熱量の少ない沖積層のような非火山地域では小さい(大山, 2004a)。日本海の底部の地下増温率は地球の平均値よりも大きいと推定される。今回の能登半島地震は深度 11 km 付近の断層運動である。この深度での温度は 330°C 以上に達していると推定される。

和倉温泉は能登半島の東沿岸部に位置し、南に邑知渦断層帯、北に古君(ふるきみ)の大規模な逆断層群(太田, 2006)、近くに小規模な断層群が分布している。また、能登半島とその周辺には多数の活断層が発達していることから、海水や地表水が地下深部を循環しやすい環境にあると考えられる。海水は 150°C を越える高温の玄武岩類に接していると、岩石と水との相互作用によって海水中

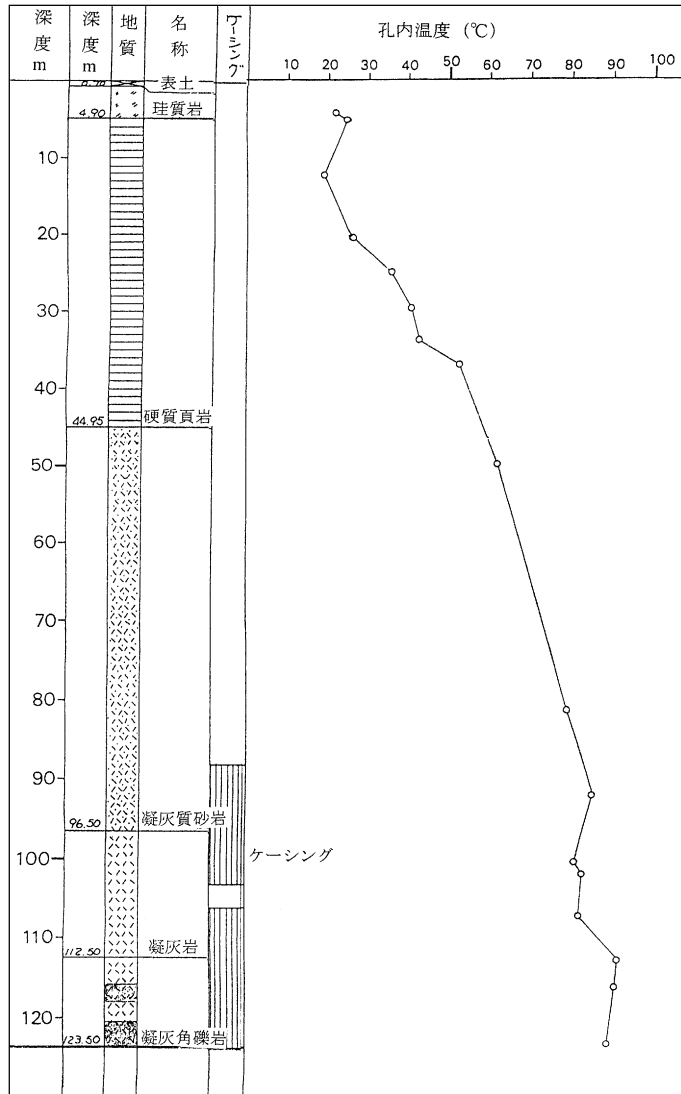


Fig. 8 Columnar section of the drill hole and the temperature profile.
 図 8 孔内の地質柱状図と温度分布 (和倉温泉合資会社資料に加筆)

の Mg^{2+} が岩石に吸収され、岩石中の Ca^{2+} が溶け出してくる (蒲生, 1996). すなわち、玄武岩は放出した Ca^{2+} と同量の Mg^{2+} を取り込んでいる (平, 2001). 海水はこうした Ca^{2+} と Mg^{2+} との置換反応によって Ca^{2+} の著しく多い Na-Ca-Cl 型の水になることが知られている (Hirano, 1986).

和倉温泉周辺には活火山も第四紀の火山もない. それにもかかわらず高濃度の溶存成分をもつ Na-Ca-Cl 型の 90°C を超す高温泉が湧出していることは、海水が断層や破碎帯を通して浸透し、地下深部を經由していると考えられる.

7. むすび

今回の地震は震度階級で2番目に大きい震度6強の揺れをもたらしたにしては、震源地に近い輪島市門前町の古い家屋や寺院、石の灯籠や柱などの小規模な建造物に被害が集中し、全体として被害が小さいとみなされている。これにはいくつもの好条件が重なった結果だと考えられている。まず、能登半島の地盤が全体としてしっかりしていること、余震の発生回数が大きな被害をもたらした2004年新潟県中越地震の3分の1程度であったこと、住居が耐雪仕様で、そうでない地域より丈夫に作られていることなどが挙げられている(河野, 2007)。

しかし、地震被害は構造物だけでなく社会に与える影響も大きい。地震を契機に社会構造が大きく変わるし、たとえ被害が小さくとも回復に長い時間を必要とする。能登半島はプレート運動によって絶えず圧縮されているので、活断層が多く存在し、その運動によって周期的に地震が発生している。この活断層の存在が和倉や輪島のNa-Ca-Cl型の高温泉を湧出する要因になっているとも考えられるが、地震対策が求められている。

最近の研究によると、地震の発生には水が大きく関わっていると考えられている(青木, 1995; 長谷川, 2002)。例えば、深さ10 kmでは水のない場合、断層運動を起こすには約300 MPaの応力を必要とするが、実際にはこれの1/10以下で断層運動が起きている。このことは断層に水が加わることによって断層面のすべりにたいする抵抗を下げているためと解釈されている(唐戸, 2000)。

温泉と地震との関係を語ると必ずと言ってよいくらいに引き合いに出されるのが1923(大正12)年関東大地震の直前に起きた静岡県熱海温泉の大湯の異常噴出である(大山, 2004b)。この時は震源に近い大湯以外にも伊豆半島の修善寺温泉や箱根の堂ヶ島温泉にも前兆現象が起きている。1995年兵庫県南部地震の調査研究は、地殻中の水が地震の発生に重要な役割をしていることを明らかにしている(趙, 2003)。

地殻に圧力が加わり、地震発生の限界値が近づけば温泉の湧出状況に変化が生じることが考えられる。プレート内の断層の活動を捉えることは困難であるが、温泉の温度、湧出量、泉質などを連続的に測定するならば地震予知が期待できる(中村, 1925, 山口・小高, 1974, 秋田・松本, 2001)。温泉の連続観測は地震計やGPSなどによる地震観測に比べればはるかに容易である。温泉の連続観測は温泉の保護と適正利用のみならず、災害対策の面からも有益である。

終わりに今回の調査については、和倉温泉合資会社の関係者、特に支配人の小泉孝史氏と同会社副社長の多田計介氏には有益なご教示と多くの資料を頂くなど大変お世話になりました。和倉温泉少比古那神社事務局長の山形富士雄氏には調査に協力していただきました。査読者には多くの有益な指摘をしていただきました。以上の方々ならび関係機関にお礼申し上げます。

参考文献

- 青木治三(1995):地殻の臨界状態と地震の前兆現象, 科学, Vol. 65, 232-240.
秋田藤夫・松本則夫(2001):北海道内温泉井における4回のM 7.5以上の地震直後の地下水位変化, 地震, Vol. 53, 193-204.
宇佐見龍夫(1996):『新編 日本被害地震総覧』, 493, 東京大学出版会, 東京.
太田陽子・平川一臣(1979):能登半島の海成段丘とその変形, 地理学評論, Vol. 52, 169-189.
太田陽子(2006):佐渡島と能登半島, 『日本の地形5, 中部』, 315-321, 東京大学出版会, 東京.
大山正雄・平野富雄(1985):『箱根の地下水とその利用』, 29, 神奈川県衛生部, 神奈川.
大山正雄(2004a):大深度温泉井の開発について, 『温泉科学の最前線』, 69-93.
大山正雄(2004b):温泉と地震, 温泉工学会誌, Vol. 29, 113-132.
活断層研究会編(1991):『新編 日本の活断層』, 東京大学出版会, 東京.

- 蒲生俊敬 (1996) : 海底熱水活動による化学元素の循環, 科学, Vol. 66, 485-491.
- 唐戸俊一郎 (2000) : 『レオロジーと地球科学』, 東京大学出版会, 東京.
- 気象庁 (2007) : 震度 1 以上を観測した地震の日別回数 (ホームページ).
- 粕野義夫編 (1977) : 『石川県の環境地質』, 128, 石川県, 金沢.
- 河野芳輝 (2007) : 未知の断層が動き大災害に, 『能登半島地震』, 72-75, 北国新聞社, 金沢.
- 国土地理院 (2007) : 断層モデルの概念図 (ホームページ).
- 斉藤晃吉 (1985) : 能登半島, 『平凡社大百科事典 11』, 816-817, 平凡社, 東京.
- 酒井 均 (1975) : 大洋中央海嶺に温泉を探る, 科学, Vol. 45, No. 3, 145-153.
- 酒井慎一・加藤愛太郎 (2007) : 平成 19 年 (2007) 年のと半島地震合同余震観測による震源分布, 日本地震学会ニュースレター, Vol. 19, No. 1, 20-25.
- 島津康男 (1971) : 『地球の進化』, 359, 岩波書店, 東京.
- 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会編 (1996) : 『日本の地震活動』, 395, 実業広報社, 東京.
- 消防庁 (2007) : 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震被害状況 (第 48 版).
- 平 朝彦 (2001) : 『地球のダイナミックス』, 296, 岩波書店, 東京.
- 平 朝彦 (2004) : 『地層の解読』, 441, 岩波書店, 東京.
- 田川捷一 (1992) : 『和倉温泉のれきし』, 280, 能登印刷, 金沢.
- 立川二郎 (1985) : 『和倉温泉の歩み』, 238, 北国出版社, 金沢.
- 趙 大鵬 (2003) : 内陸の地震での水の関与, 『地震発生と水』, 263-280, 東京大学出版会, 東京.
- 鳥居雅之・林田 明・乙藤洋一郎 (1985) : 西南日本の回転と日本海の誕生, 科学, Vol. 55, 47-52.
- 中村左衛門太郎 (1925) : 関東大震災調査報告, 震災予防調査会報告第百号甲, 67-140.
- 長谷川昭 (2002) : 地震波で東北日本の下を見る, 科学, Vol. 72, 194-203.
- 松井義人・一国雅巳 (1978) : 『メイスン一般地球化学』, 402, 岩波書店, 東京.
- 山口林蔵・小高俊一 (1974) : 1974 年伊豆半島沖地震調査報告, 東京大学地震研究所研究速報, 第 14 号, 241-255.
- 和倉温泉合資会社 (2007) : 和倉温泉 温泉分析調べ (I), 和倉.
- Hirano, T. (1986) : Hydrothermal Alteration of Volcanic Rocks in the Hakone and Northern Izu Geothermal Areas, Bulletin of the Hot Springs Research Institute Kanagawa Prefecture, Vol. 17 No. 3, 1-94.