

富山平野に潜在する深刻な地殻変動災害ポテンシャル

東濃地震科学研究所・富山県立大学工学部 川崎一朗

A lesson of the disasters of the 2015 Kumamoto earthquake to potential seismic hazards due to the Kurehayama fault in Toyama, Toyama Pref., central Japan

Ichiro Kawasaki

Tono Research Institute of Earthquake Science and Graduate School of Engineering, Toyama Prefectural University

要旨

2011年東北地方太平洋沖地震のあと、地震学のあり方を巡って多くの議論が行われた。その中で、「地震学の経験と知識に基づいて、地域の地震災害リスクを先見的に洗い出し、社会に向かって警報を発していく」という積極的発信の重要性も示されたと理解している。

昨年4月14日と16日に発生した熊本地震は、改めて、地域の地震災害リスクを考える上での多くの問題点を思い起こさせた。本稿では、熊本地震による被害の要点を手短にまとめ、それを富山へ応用し、富山の地震災害リスクを再検討し、先見的に警報を発していこうという試みである。

地震によって災害の現れ方は様々に異なるが、どの地域でも、その地域の地震災害リスクを議論する時の要点は、1) その地域で発生する可能性の高い最大規模の地震については「地震調査委員会の活断層評価」、2) それに伴う経験(一般的)的被害の発現を規定する「沖積面、低位段丘面、中位段丘面などの地盤構造」である。熊本地震が提示したことは、さらに、3) 「断層近傍の激烈被害」と4) 「地殻変動」を、どの地域でも先見的考慮対象とすべきであろうという点である。それらを焦点に手短に議論していきたい。本稿の核心は地殻変動による災害の可能性である。

1. 熊本地震による被害の要点

図1は、地震調査委員会の活断層評価「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂)」(2013)による、布田川断層帯布田川区間、日奈久断層帯高野-白旗区間、日奈久断層帯日奈久区間の地図である。

多くの研究の成果を合わせ考慮すると、次のように言うことができよう。4月14日の前震(M6.5)で動いた断層は日奈久断層帯高野-白旗区間、16日の本震は布田川断層帯布田川区間(以下、単に布田川断層と表示する)で、断層ずれは想定されていた横ずれ2m程度か、それ以下。本震の断層



図1 地震調査委員会の活断層評価「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂)」(2013)の図2の一部に、評価の一部の数字を加筆したもの。

の長さは、活断層学的手法では判読困難な阿蘇山外輪山部分まで伸びたので想定の倍の40km近くになり、M7.3に達した。とはいえ、ほぼ、活断層学的手法で予測されていた通りの地震が起こったと言えよう。

ただし、地震が起こったのが、発生確率が高いと危惧されていた日奈久断層帯日奈久区間（50年以内の発生確率ほぼ0%–10%。以下、発生確率は50年）ではなく、日奈久断層帯高野–白旗区間（評価無し）と布田川断層（0%–1%）だったことは予想外であった。この教訓は、現時点の長期評価的手法ではこのような不確かさは避けられないので、「どこでも地震が起こる可能性があると思って地震対策を立てた方がよい」と言うことであろう。

第四紀は氷河の時代であるが、後半になって、11~12万年間隔で間氷期が訪れるようになり、そのたびに沿岸の平野に堆積面を残した。特に、前の氷河期末（ほぼ15,000年前）から有楽町海進（7000年前頃）にかけて形成された低位段丘面（標高3~5m）、12万年~13万年前の中位段丘面（標高15~20m）、40数万年前の高位段丘面（標高40m以上）が顕著である。有楽町海進以降に形成された堆積面は沖積面と呼ぶ。人間社会の大規模な集落や市街地のほとんどは、沖積面と段丘面のいずれかの分布していると言っても過言ではない。

地震学的には、沖積面は地震動に弱く、低位段丘面、中位段丘面と古くなるほど固くなって地震動には強いとされている。ちなみに、低位段丘面は、富山では高岡市街地、金沢では香林坊から片町の中心市街地、大阪では千里丘陵、東京では調布から立川一帯などである。中位段丘面は、富山では高岡市伏木や富山市呉羽の住宅街、金沢では金沢城と兼六園、大阪では上町台地、東京では皇居から新宿辺りである。なお、段丘面の判別は国土地理院の都市圏活断層図によった。

図2上は、本震直後に、防災科学技術研究所によって行われた全壊棟数の推定分布図から切り出したものである。これはあくまで推定で、全数調査ではない。しかし、全体的傾向は変わらないと考えられるので、ここでは図2上に基づいて以下の議論を進める。図2下は、産総研の地質図Naviから、上図と同じ部分を取り出したものである。図2の2枚の図と他の情報を併せ考慮し、被害の要点は1)~5)の様に箇条書きすることが出来る。ポイントは、低位段丘面上の「熊本市中心市街地」、沖積面の「熊本市南部住宅街」、断層ごく近傍「益城町住宅街」の被害の対照性である。

- 1) 熊本駅と熊本市役所を中核とする中心市街地の被害と南部住宅街の被害を比べると、明らかに、倒壊率は地盤が悪い沖積面の南部住宅街の方が大きい。地盤の影響は明らか。
- 2) 1)にもかかわらず、九州自動車道の東側、益城町住宅街の県道28号線以南の惣領や宮園など「断層ごく近傍」（~0.5km以内）では、中位段丘面であるにもかかわらず、激甚な被害を受けた。この部分は、布田川断層線の西側への延長部にあたり、地震後の現地調査で地震時の地表変位が発見

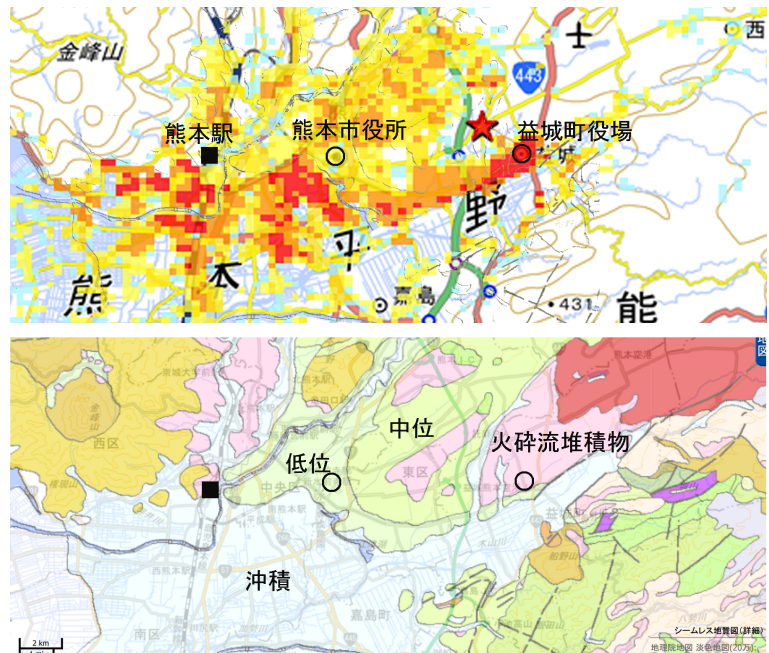


図2 上図は、本震直後に、防災科学技術研究所によって、地震動と微地形による地震動増幅率などから推定された250m平方当たりの全壊棟数の分布図。防災科学技術研究所のHPによる。下図は、産総研の地質Naviから上図と同じ区画を切り出し、表層地層名を加筆したものの。

されている。益城町住宅街の県道 28 号線以南の激甚被害は、ここまで伸びてきた断層による震度 7 の地震動が原因と思われる。

- 3) 県道 28 号線以北の住宅市街地（～2km 以内。益城町役場も含む）は、ほぼ 10 万年前の阿蘇火山の超巨大噴火による、厚さ 200 m 以上の火砕流堆積物の上に分布する。ここでも、2) の部分ほどでは無いが、やはり激甚な被害を受けた。
- 4) 熊本県益城町の住宅倒壊率は、耐震新基準（震度 6 強で損傷はあっても倒壊はしない）の住宅では 8 %、旧基準の住宅では～32 %である（日本建築学会の調査。読売新聞 2016 年 7 月 1 日）。耐震基準の違いの影響は大きく、被害軽減の要点は耐震化の促進である。新基準にもかかわらず 8% も倒壊したのは断層ごく近傍の震度 7 の地震動が原因であろう。
- 5) 地震のときに震源となった断層が熊本中心市街地から遠かった（～10km）ので、ライフラインの基幹管路が破断するような深刻な被害はなかった。

2. 富山平野の呉羽山断層

富山県内と県境部には、魚津断層帯、呉羽山断層帯、牛首断層帯、跡津川断層帯、砺波平野断層帯西部（石動断層＋法林寺断層）、砺波平野断層帯東部（高清水断層）、森本・富樫断層帯、邑知瀧断層帯が位置しているが、50 年発生確率が 1%以上の 5 活断層を表 1 に挙げた。

もし 50 年発生確率によって警戒すべき順を決めるとすると、森本・富樫断層帯（ほぼ 3%－10%）、砺波平野断層帯東部（高清水断層）（ほぼ 0.06%－10%）、呉羽山断層帯（ほぼ 0%－8%）という順番になる。

とはいえ、富山平野に潜在する最大の（予想される被害が飛び抜けて大きい）地震災害要因は、呉羽山断層帯（図 3）（以下、呉羽山断層と表示）であろう。地震調査委員会の活断層評価（2002, 2008）によれば、呉羽山断層は、陸上部分の長さほぼ 22km、富山湾に伸びている部分も含めてほぼ 38km、繰り返し間隔 3,000 年－5,000 年程度、M7.2 程度、断層ずれ 2 m 程度（上下成分）、前回の地震は約 3500 年前（縄文時代後期）と 7 世紀（飛鳥時代）の間、今後の発生確率は 50 年以内にほぼ 0%－8%と見積もられている。

ただし、断層線の位置については、微地形を追って断層線を位置を決め直した中村・他（2003）、反射法によって決め直した村尾・竹内（2012）、富山湾への延長部の位置を決めた

表 1 富山周辺の活断層 発生率が 1%以上の活断層

富山県と周辺の活断層の評価の概要 地震調査本部のHPによる	
呉羽山断層帯	
前回の活動	約3,500年前以後、7世紀以前
長さ	約38 km
平均的ずれ速度	0.4-0.6 m/千年程度（上下成分）
平均活動間隔	3,000年-5,000年程度
地震の規模	M7.2 程度
ずれの量	2 m 程度（上下成分）
今後 30 年以内の発生確率	ほぼ 0%－5%
今後 50 年以内の発生確率	ほぼ 0%－8%
今後100 年以内の発生確率	ほぼ 0%－20%
砺波平野断層帯西部（石動断層＋法林寺断層）	
前回の活動	約6,900年前以後、1世紀以前
長さ	約26 km
平均的ずれ速度	0.3-0.4 m/千年程度以上（上下成分）
平均活動間隔	6,000年-12,000年程度
地震の規模	M7.2 程度
ずれの量	2 m 程度（上下成分）
今後 30 年以内の発生確率	ほぼ 0%－2% もしくはそれ以上
今後 50 年以内の発生確率	ほぼ 0%－4% もしくはそれ以上
今後100 年以内の発生確率	ほぼ 0%－8% もしくはそれ以上
砺波平野断層帯東部（高清水断層）	
前回の活動	約4,300年前以後、3,600年前以前
長さ	約21 km
平均的ずれ速度	0.3-0.4 m/千年程度（上下成分）
平均活動間隔	3,000年-7,000年程度
地震の規模	M7.0 程度
ずれの量	1.5m 程度（上下成分）
今後 30 年以内の発生確率	ほぼ 0.04%－6%
今後 50 年以内の発生確率	ほぼ 0.06%－10%
今後100 年以内の発生確率	ほぼ 0.1%－20%
森本・富樫断層帯	
前回の活動	約2,000年前以後、4世紀以前
長さ	約26 km
平均的ずれ速度	概ね 1 m/千年（上下成分）
平均活動間隔	1,700年-2,200年程度
地震の規模	M7.2 程度
ずれの量	2 m 程度（上下成分）
今後 30 年以内の発生確率	ほぼ 2%－8%
今後 50 年以内の発生確率	ほぼ 3%－10%
今後100 年以内の発生確率	ほぼ 7%－30%
邑知瀧断層帯	
前回の活動	約3,200年前以後、9世紀以前
長さ	約44 km
平均的ずれ速度	0.4-0.8 m/千年程度（上下成分）
平均活動間隔	1,200年-1,900年程度
地震の規模	M7.6 程度
ずれの量	2-3 m 程度（上下成分）
今後 30 年以内の発生確率	2%
今後 50 年以内の発生確率	3%－4%
今後100 年以内の発生確率	5%－8%



図3 地震調査委員会の活断層評価「砺波平野断層帯・呉羽山断層帯の長期評価の一部改訂について」(2008)の図3から呉羽山断層帯の部分を取り出し、評価の一部の数字を加筆した。

竹内・他(2011)の研究がある。本稿で断層線としたのは、図3に示されている断層線ではなく、これらの研究者によって再決定された断層線である。

図4はモデル計算した地殻変動の分布である。実際の地表断層線の走向はうねるように変化し、沿岸部から湾内では北45度東、豊田から奥田辺りまでは北40度東、奥田から神通川を渡って安田城辺りまでは北50度東、安田城辺りから婦中町長沢辺りまで北45度東、婦中町名川差辺りから南は南から南東に向かって大きく湾曲、全体として北40度東であるが、ここでは、計算の都合上、全体として北45度東とした。

なお、本稿では、呉羽山断層の断層面が地表に顔をだしたところを呉羽山断層線と呼び、地下の断層面を指すときに単に呉羽山断層と呼ぶ。

図4から分かるように、呉羽山断層上盤側の地殻変動は呉羽山~160cm、富山新港~100cm、高岡市~40cm、氷見~15cmの隆起となり、下盤側は富山市街地~30cmの沈降になる。海の部分の海底の隆起や沈降によって押し上げられたり引き下げられたりした海水が、重力的に安定な状態に戻ろうとして生じるのが津波である。ただし、本稿では津波の議論は行わない。

呉羽山は呉羽山断層が繰り返し地震を起こして現在の高さになった。活断層評価では、呉羽山断層の平均的ずれ速度は0.4~0.6 m/千年(上下)である。図4から分かるように、地震時の呉羽山の隆起は断層ずれ2 m(上下)の80%程度なので、呉羽山の隆起速度は0.32~0.5 m/千年、3.2~5

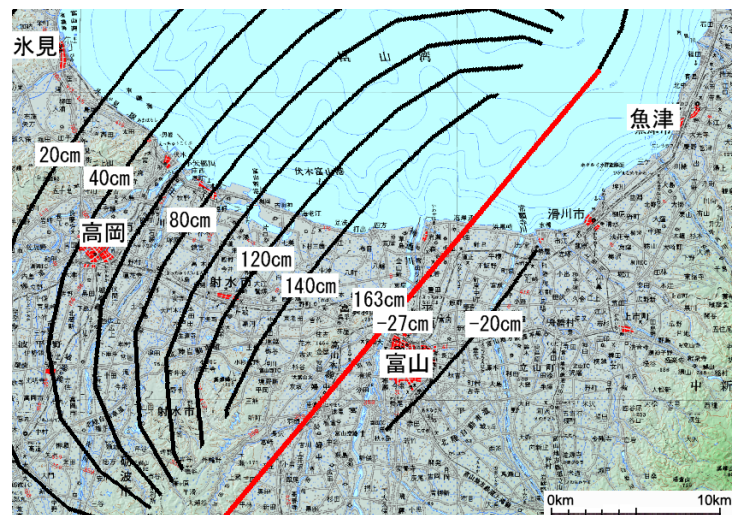


図4 砺波平野断層帯・呉羽山断層帯の長期評価の一部改訂について(2008)と同じ断層パラメータを仮定し、Okada(1985)のプログラムを使って理論計算した地殻変動の分布。断層の走向は、計算の都合上、北45度東とした。断層の長さ、傾き、滑りは、40km、北西へ45度、2.8m(従って上下成分は2m)である。国土地理院の20万分の1地形図を基図とする。

m/万年, 32～50 m/10 万年, 220～350 m/70 万年となろう。呉羽山の山頂部(標高77m)には, ほぼ70 万年前の呉羽山礫層がのっているが, 周辺の基盤岩の深さが200m～300mなので, 基盤からの高さは280m～380m 程度ということになり, 地震活動による隆起の見積もりとオーダー的には調和的と言えよう。

3. 熊本地震の被害から予想される富山の被害

以上のことを頭に置いて次に進もう。

図5左図は図2上図から一部を切り出して80度右回転させたもので, 右図は, 富山平野の西半分を同じ縮尺で同じ広さだけ切り出し, 断層との位置関係が左図と似るように回転したものである。左図と右図を比較すると, 熊本地震の富山への教訓が一目瞭然であろう。

熊本地震はほぼ垂直な断層面のほぼ横ずれ型, 呉羽山断層は西に向かって45度ほどの角度で傾く逆断層型なので, 熊本地震の被害の生じ方を呉羽山断層に当てはめるには注意が必要である。その点には留意しながら, 以下のように言うことできる。

布田川断層線と熊本市「中心市街地」, 「南部住宅街」, 「益城町」との位置関係は, 呉羽山断層線と「高岡市周辺」, 「射水市湾側」, 「五福から呉羽」の位置関係とよく対応している。従って, 高岡市周辺, 射水市湾側, 五福から呉羽は, 熊本地震の時の中心市街地, 南部住宅街, 益城町で生じた様な, あるいはそれ以上の被害が生じると考えていて間違いない。この対応を表にしたのが表2である。

これは過激な表現ではない。富山県の被害想定(図6参照)では, 犠牲者数は, 富山市1451人, 高岡市1556人, 射水市1127人, 他の市町村140人, 計4274人と予測しており, 呉羽山断層の上盤側の高岡と射水の方が圧倒的に多い。富山県の被害想定は, 図5や表2から予想されるような傾向を既に想定しているのである。

ただし, 富山県の予測は熊本地震の犠牲者50人よりはるかに多い。この原因は主として4点である。第1は, 被害想定では火が出やすい時間帯とか, 風が吹いているなど, 条件の悪い場合を想定しておくので, 多くの場合, 実際の被害より過大な想定になることである。第2は, 呉羽山断層線が人口密集地の富山市の西部を縦断しており, その地盤が熊本中心市街地よりやや悪いことである。第3は, 熊本地震の地震断層はほぼ垂直であるが, 呉羽山断層は西

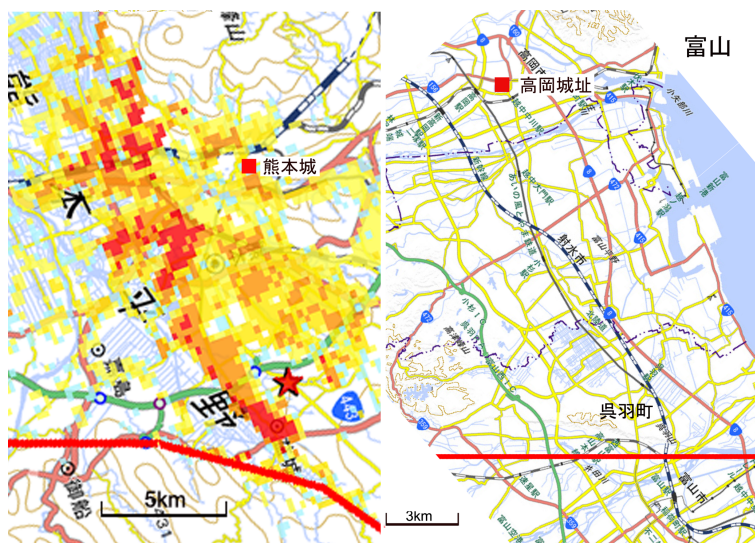


図5 図2上から一部を切り出して80度右回りに回転させたもの。右図は, 富山平野の西半分を左図と同じ縮尺で同じ広さを切り出し, 断層との位置関係が左図と似たようになるように回転したもの。国土地理院の電子国土WEBを基図とする。

表2 熊本と富山の比較

熊本	富山	距離	地形
熊本市中心市街地	高岡市街地	～10km	低位段丘
熊本市南部住宅街	和泉市湾岸寄り	～10km	沖積層
益城町	五福から呉羽	2km以内	中位段丘
熊本城	高岡城	～110km	火砕流堆積層 中位段丘

に向かって 45 度程度で傾いており、その先端が高岡では直下深さ 10km に達していることである。これらのため、富山県では震度 7 の領域は、図 6 のように、射水市の旧北陸線より北側全域と高岡市の小矢部川沿い、富山市の呉羽地区から岩瀬地区など、人口密集地域が広く含まれている。第 4 は、熊本地震の場合、前震の後に多くの住民が避難所へ移動していたので、地震動がより激烈であった本震による犠牲者が少なかったと推定されていることである。

なお、条件が悪くて被害の規模が恐ろしく拡大した例が、1923 年 M7.9 関東大地震である。東京下町は震度 6 であったが、近くを通りかかった台風による強風のため火災が猛烈に延焼して、ほぼ 6 万 6 千人の焼死者を出した。このような悲惨な災害の再来を可能な限り防ぐために必要なことの第 1 は、出火元の数をできるかぎり減らすこと、つまり、火元となる倒壊家屋をできるかぎり減らすこと、そのためには、耐震診断耐震改修を促すことである。第 2 は、消火用水の大半を供給する上水道の耐震化はもちろん、基幹管路が破断した場合の給水方法を予め考えておくことである。

富山県の被害想定における震度予測（図 6 参照）では呉羽山断層線ごく近傍（五福，婦中，呉羽）の震度は 6 強で、地震動は激烈ではないという楽観論が存在した。しかし、熊本地震の時の断層線ごく近傍の益城町や西原村の震度 7 はそのような楽観論を吹き飛ばした。呉羽山断層線ごく近傍の予測震度が 6 強になった主たる原因は、活断層評価で断層上端の深さは 0km とされているにもかかわらず、予測震度の計算では、数値計算上の都合で、図 6 の断層図に示されているように断層上端（「地中の断層面」と示されている長方形の右端）を深さ 2km に止めているからである。断層上端を地表に突き出させると、断層上端は呉羽山断層と示されている線に一致し、断層線周辺の予測地震動が一回り大きくなることは言うまでもない。

図 7 は、富山市の水道管路の分布図に呉羽山断層線のおよその位置と、赤十字病院，富山大学五福キャンパス，富山大学杉谷キャンパス（医学部と薬学部，付属病院），県庁，富山市民病院，富山県立中央病院，日本海ガス岩瀬工場など，人が常時多く集まっている公的な大型建造物の位置をプロットしたものである。なお，富山市では，富山大学杉谷キャンパス，富山赤十字病院，富山県立中央病院，富山市民病院の 4 病院が災害拠点病院である。

地震が起こると，断層上盤側（西側）の五福から呉羽の住宅街（図中の 160 の数値の辺り），富山大学

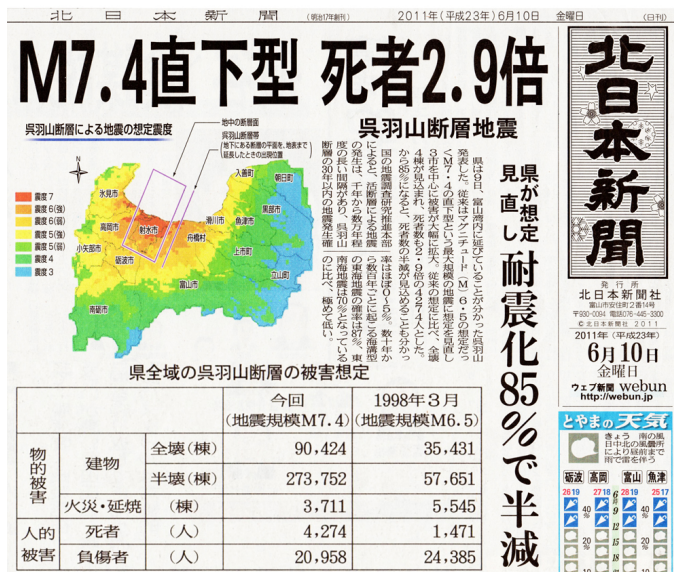


図 6 2011 年 6 月 10 日の北日本新聞の、呉羽山断層を震源とした場合の、富山県の被害想定の記事。犠牲者数は計 4274 人と想定されている。

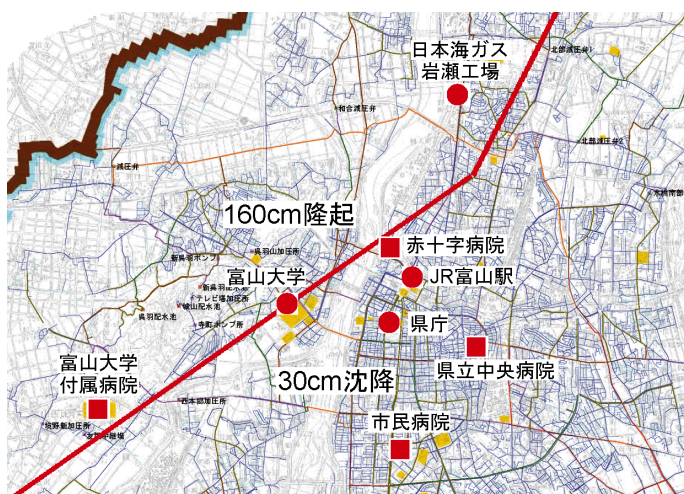


図 7 基図は富山市の水道管路の分布図（富山市の HP による）。赤実線は呉羽山断層線のおよその位置。赤四角は 4 災害拠点病院。赤丸は、多くの人が停留する公的な大型建造物。

五福キャンパス、同杉谷キャンパスなどは、益城町を襲ったような震度7の激しい地震動に襲われ、耐震強度の低い家屋の多くは倒壊するだろう。昼間ならば、富山大学五福キャンパスにはほぼ9000人の教職員と学生がいる可能性がある。杉谷キャンパスには2000人近い教職員と学生、500人近い入院患者、平日ならば数100人の通院患者がいる。

断層下盤側では、JR富山駅北側、断層線すぐ東側に赤十字病院が立っており、やはり激しい震度7の地震動に襲われると思われる。入院患者400人弱、医師職員800人弱、外来患者1000人弱がいる。

震度7の地震動に襲われると（震度6強だとしても）激甚な被害になる。被災した人々に緊急物資を届け、安全に避難させる手段を予め考えておくべきであろう。行政や、上記の大型建造物の運営者の責任は大きい。

富山県立病院と富山市民病院は、断層下盤側で、かつ断層線から4kmほど離れており、地盤も比較的良い（扇状地）ので、富山県の震度想定のように震度6強程度かもしれないが、建物内部の診療機器などには激しい被害が生じるであろう

熊本地震の場合、九州新幹線、鹿児島本線、九州自動車道、主要国道（2桁の番号）の中で、地震が起こった断層線と交差しているのは国道57号線しかなかった。富山では、逆に、北陸新幹線、あいのかぜ鉄道（旧北陸本線）、北陸自動車道、国道8号線に加えて、主要県道の多くが呉羽山断層線と交差している。

それに加えて、東西の交通が橋に依存している。呉羽山断層で地震が起こると、断層ずれに縦断される富山北大橋が落橋し、激しい地震動によって神通川をわたる多くの橋も通行不能になるかもしれない。実際、熊本地震の時には、市街地から離れていたのではほとんどマスコミの話題にはならなかったが、多くの落橋が生じた。落橋が多く発生した神通川と断層線の2つの線で交通が途絶し、その間の地域（婦中町や岩瀬地区など）は孤立する可能性が高い。

4. 地殻変動によるライフラインへの災害ポテンシャル

地殻変動とは、地震波が通り過ぎた後に残る、地面の元の位置からのずれを指す。東北地震のときには、宮城県の牡鹿半島では、東に6m、沈降1m以上の大きな地殻変動が生じた。1mもの沈降のため、石巻や女川などの海岸沿いでは満潮のたびに市街地に海水が浸入して市民の生活を困難にした。それは、地殻変動災害は、人的被害を生じさせることは無くとも、人間社会にとって意外に深刻な災害要因であることを痛感させた。本稿の核心ある断層ずれが地表に表れたものも地殻変動である。ただし、地殻変動という用語は、それ以外にも様々な意味に使われている。

熊本地震では、布田川断層が熊本中心市街地から10kmも離れていたため、地殻変動（断層ずれ）によってライフラインの基幹管路が破断するような危機的な被害は生じなかった。しかし、地震調査委員会の想定通りの地震が呉羽山断層で起こると、単純に考えると、断層線では2mの落差の断層崖が出現する。断層線と交差する水道管はそこで破断するであろう。2mずれても耐えられる水道管はない。耐震継手などでも対応できない。このような地殻変動災害のリスクは富山県や富山市の被害想定には含まれていない。

熊本地震の時の断層線に沿ってのずれは2mよりやや小さかったため、呉羽山断層でも2mより小さいかもしれない。場所によっては撓曲で終わり、基幹管路も大きな変形で終わる可能性も否定できない。撓曲とは、図8の概念図の様に、断層上端が地下で止まり、それより上側の堆積層が変形する場合を指す。

呉羽山断層線の場合、微地形では、断層線の両側の狭い範囲で地形の段差が続いており、中村・他（2003）はそれから断層線を推定した。逆に言うと、その段差は、約3,500年前から7世紀の間に起こった前回の地震の時に地表に断層が突き抜けた状況証拠といえる。基本的には次の地震の時にも断層崖があらわれると思っていた方が良い。少なくとも、地震対策としては、水道管の基幹管路の何割かは断層線で破断することを想定しておくべきであろう。

しかし、富山が抱えるもっとも深刻なリスクは、単に破断することではない。

分かりやすく、まず金沢を例にとると、森本・富樫断層帯で地震が起こると、香林坊から片町を結んだ線から山側（金沢城から兼六園）と海側（香林坊）の間で2mの断層崖が生じて水道の基幹管路は破断するか、あるいは図8下図のような撓曲が生じて大きく変形する。しかし、破断/変形した基幹管路を応急工事によって繋ぎ直せば、水は低い方（内灘側）へ自然流下していく。

呉羽山断層の場合は、図8上図のように下流側の断層上盤（富山湾側。呉羽山がある方）が隆起するので、応急工事で破断/変形した基幹管路を繋いでも、水は海側（高い方）には流下しない。水を流下させるには、図中の赤太線のように、上流側の管路の破断/変形地点と同じ標高になる所まで上盤側（下流側）の基幹管路を掘り下げなければならない。その距離は地面の勾配による。富山市婦中辺りの勾配は1/1000程度なので、断層ずれの上下成分が2mだと、基幹管路を掘り下げなければならない距離は2kmほどになる。工事が何ヶ月かかるか分からないが、単に破断/変形する場合よりはるかに長く市の水道は断水し、市民の生活は困難を極めるであろう。

水道の配水方法には自然流下式とポンプ圧送方式がある。富山市のような高低差が小さいところでは重力では十分に水を送れないので、ポンプの力で数気圧の圧力をかけて水を送りだすポンプ圧送方式をとっている。呉羽山断層で地震が起こったとき、幸運にも呉羽山断層線で基幹管路が破断せず、周辺の末端管路も破損せず、家庭の水道の蛇口も開けなければ、ポンプからの圧力で水流が断層崖を乗り越えていくことは可能である。しかし、激烈な地震動に襲われた断層線周辺の水道管路のどこも破断/破損しないような幸運は期待できない。

断層上端が撓曲で終わったところで、それは断層線周辺の狭い場所だけの問題なので、下流側（富山湾側）に流下しなくなるという本質には変わりはないことは、第8図からも容易に理解されるであろう。

図9は、日本海ガスの導管分布図である。岩瀬工場は断層線ごく近傍にあり、熊本地震の時の益城町以上の激烈な地震動に襲われるであろう。同時に断層崖が出現し、そこで導管が破断/変形する。導管が破断しても自動的にガスを遮断する装置が付いているであろうから、大爆発が起こることは考えにくい。とは言え、断層線に沿った多くの場所でガス管が上下に2mも破断/変形し、火災が多発すると、ガスが復活するまで相当長期間になるであろう。

表3は、1995年阪神淡路大震災の時のライフラインの被害の規模と復旧に要した日数である。条件が異なるので直接の比較は意味がないが、2mの断層ずれによるライフラインの破断/変形が生じたら、復旧には阪神淡路大震災の時のよりもはるかに長い時間を要するものと危惧される。

富山北大橋を北東-南西に縦断する断層線で生じた2mもの段差が神通川の流れをブロックするので、上流側の河川水は行き場を失う。神通川の河床の標高は富山北大橋近辺で1~2m程度であるが、ほぼ真

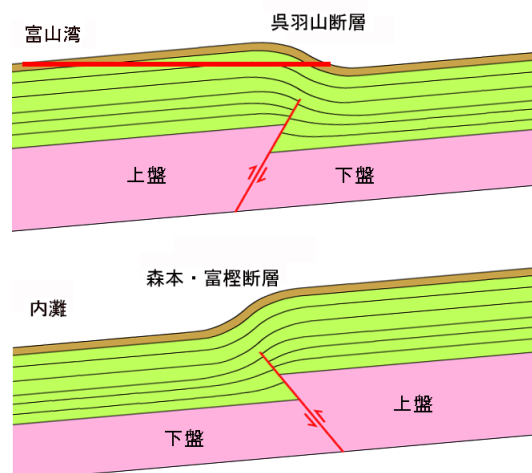


図8 地表浅部の撓曲の概念図。撓曲とは、図のように、断層上端が地下で止まり、それより上側の堆積層が変形した場合を指す。下図は金沢市の森本・富樫断層の場合。上図は呉羽山断層の場合。産総研のHPの図に修正を加えた。



図9 基図は日本海ガスの導管分布図（日本海ガスのHPによる）。赤実線は呉羽山断層のおよその位置。

東の向新庄あたりで常願寺川河床の高さは13m~14mである。その間では、東に向かって緩やかに高くなるような地形をしており、行き場を失った河川水は断層線に沿って北東の方向に逃げる事が出来ない。この地域の標高に図4の地殻変動を加えると図10になる。図の中央の黄色系で色づけした部分が最深1mの水溜まりになり、河川水が、牛島本町、富岩公園、神通町あたりに滞留することを示している。加えて、破断/変形した下水管からあふれ出た水が流れ込み、不衛生な状態になり、周辺住民の生活が脅かされることも危惧される。

牛ヶ首用水は、神通川の平野への出口にあたる神通川第三ダムで取水し、北北西の方向に、富山市八尾町成子を経由して、同高田あたりでサイフォンで井田川を越え、同麦島あたりでもサイフォンで山田川を越え、同下条の県道59号線を越えた所(富山大学杉谷キャンパスの南1kmほど)で北東の向きを変え、金屋、五福、五艘を経て、呉羽山の北側に流れ出て、富山の穀倉地帯を潤している。牛ヶ首用水が下条で県道59号線を越えた所が呉羽山断層線で、そこから流路は断層上盤側に移る。地震がおこると2m近い落差が生じる。用水にはそれなりの深さがあるので直ちに水が流れなくなることは無いにしても、流量は大きく減少し、その分は逆に下盤側にあふれ出す。流域の農業は長期にわたって困難になることが危惧される。

かつて経験したことのないような災害が生じると予想されるのは、呉羽山断層線が市街地西部を縦断していることに加え、神通川や水道管路の「下流側が断層上盤」という、日本の大都市では唯一例外的な地形環境のためである。

5. おわりに

本稿では、呉羽山断層で地震が起きた場合に生じると思われる災害リスクについて述べた。要点は次の2点である。

(要点1) 呉羽山断層線ごく近傍に、多くの人々が停留する大型の公共建造物がいくつも存在する。

(要点2) 神通川や水道管路の「下流側が断層上盤」という、日本では唯一例外的な地形的環境のため、水道が長期にわたって断水する可能性がある。

ただし、本稿で行ったのは、熊本地震の被災状況の富山への当てはめである。将来緻密な計算が行わ

表3 阪神淡路震災時のライフラインの被害状況と復旧に要した期間

ライン	被害規模	復旧に要した期間
電気	約260万戸停電	1週間後
ガス	約86万戸供給停止	約3ヶ月後 倒壊家屋を除く
水道	約127万戸断水	1ヶ月半後仮復旧 3ヶ月後全戸通水
下水道	被災管梁総延長260km	3ヶ月後仮復旧
電話	交換機系約28万5千回線 加入者系約19万3千回線	1日後復旧完了 2週間後復旧完了

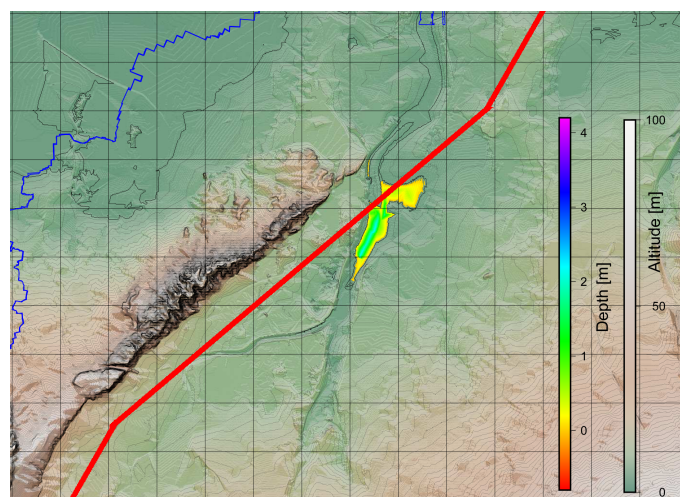


図10 呉羽山断層線周辺の標高に図4の地殻変動を加えたもの。図の中央の黄色系で色づけした部分が最深1mの水溜まり。本多亮による。GMT(Wessel et al., 2013)を使用。

られれば、細部は変わる可能性があることに留意していただきたい。また、火災、津波、堤防の破損などにも言及しなかった。

五福に富山大学キャンパスが作られたのは戦争直後であり、杉谷キャンパスが作られたのは 1970 年代で、活断層による内陸型地震の災害リスクが広く認識される以前である。富山赤十字病院が現在地に移転したのは 1996 年である。1996 年に富山県の活断層調査で反射法探査が行われるまで、研究者の間でも呉羽山断層線は呉羽山の麓と信じられていた。いずれも場合、作られた時点で、ここで述べたような災害リスクを認識することは不可能であった。

大事なのは今後である。内閣府の中央防災会議や文部科学省の地震調査委員会などの政府の機関の検討対象は、複数の県にまたがる広域災害や、全国的に一般性を持つ災害などである。本稿で述べた問題は、富山が自ら検討しなければならない。また、(要点 1) や (要点 2) を含め、本稿で述べた災害ポテンシャルは、「期間が数年、数億円とか数 10 億円の予算規模のプロジェクトを立てる」ような行政的なやり方で解決できる問題ではない。我々の社会は、そのような極端な災害リスクに対応できる実用的な技術体系を持っておらず、建築学、土木学、防災科学などが責任を負うこともできない。

富山が取り得るたった一つの方向は、30 年、50 年、あるいは 100 年の時間スケールで、富山の未来を構想し、その中で、富山大学五福キャンパス、富山大学杉谷キャンパス、富山赤十字病院などをどのように再配置するのかを考え、非常時用の規模の大きな貯水層を上盤側に設けるなどライフラインの基幹管路のあり方も含め検討するような将来計画であろう。第 1 に責任があるのは富山の政治と行政であろう。この問題は、富山に特異な問題なので、富山の政治と政治が主体的に方向付けをすることが基本であろう。地方の自立の試金石とも言える。

第 1 節から第 4 節までは、多くの研究者による熊本地震の研究成果と地震学の基本的枠組から外れていないはずである。最後の節だけ、その枠組みを外れて、あえて筆者の個人的意見を述べた。それは、将来の恐ろしい災害を可能な限り回避するためにやむを得ないと思ったからである。

謝辞 本稿をまとめることが出来たのは、筆者が客員教授をつとめる富山県立大学工学部環境工学科、富山地震防災研究会、北陸地震防災研究会、東濃地震科学研究所、同「地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会」の方々の議論と助力のおかげである。東濃地震科学研究所の笠原稔博士、鈴木鈴木貞臣博士、金沢大学工学部の宮島昌克教授には原稿を読んで貴重なアドバイスを頂いた。記して感謝したい。産総研の地質 Navi を利用させて頂き、多くの公共機関の資料を使わせて頂いた。原稿の性質上、個別的な研究にはほとんど言及せず、引用も示さなかったことをお詫びしたい。

参考文献

1. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 邑知濁断層帯の長期評価について, 2005.
2. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 砺波平野断層帯・呉羽山断層帯の長期評価の一部改訂について, 2008.
3. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 砺波平野断層帯・呉羽山断層帯の長期評価補足, 2010.
4. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂), 2013.
5. 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 森本・富樫断層帯の長期評価(一部改訂)について, 2013.
6. 村尾英彦・竹内章, 富山市の中心市街地における呉羽山断層帯の反射法地震探査結果と地表トレースについて, 日本地質学会第 119 年学術大会講演要旨, 233-233, 2012.
7. 中村洋介・岡田篤正・竹村恵二, 富山平野西縁の河成段丘とその変形, 地学雑誌, 112, 4, 544-562, 2003.
8. Okada, Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of Seismological Society of America, 82, 1018-1040.
9. 竹内章・野徹雄・楠本成寿・渡辺了, 呉羽山断層帯海域部の音波探査と陸域との接続関係, 日本地質学会学術大会講演要旨 2011, 497-497, 2011.
10. Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis, and F. Wobbe, Generic Mapping Tools: Improved version released, EOS Trans. AGU, 94, 409-410, 2013.