

東濃地震科学研究所報告

Seq. No.39

地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会報告書（平成 28 年度）



2017年3月

公益財団法人 地震予知総合研究振興会

目次

1. 川崎 一朗
富山平野に潜在する深刻な地殻変動災害ポテンシャル・・・・・・・・・・ 1
2. 古川 愛子・水上 輝・清野 純史
改良版個別要素法を用いた鉄道無筋コンクリート橋脚の地震時安全性評価に関する研究・・・・ 11
3. 野口 竜也・五島 達也・津吉 祐典・池上 柊真・香川 敬生
微動・重力探査による鳥取県智頭地域の地盤構造推定および民泊家屋の微動観測・・・・ 21
4. 磯打 千雅子
熊本地震をふまえた大学の事業継続対策のあり方と地区防災計画制度・・・・ 27
5. 崔 明姫
熊本地震による熊本市観光業の経済的被害について・・・・ 39
6. 能島 暢呂・山本 大喜
2016 年熊本地震における設計地震力超過継続時間の評価・・・・ 49
7. 大保 直人
津波避難システムの開発・・・・・・・・・・ 59
8. 志垣 智子
2016 年熊本地震後の介護付有料老人ホームにおける被災者受け入れの実態
：事業者への聞き取りとケアプラン閲覧調査から・・・・ 67
9. 久世 益充
岐阜県域における地盤データ整備と地震動予測事例の紹介・・・・ 75
10. 清野 純史・奥村与志弘・李 徳河・呉 建宏・土肥 裕史・大道 一歩
微動観測に基づく台南市の地盤震動特性について・・・・ 83
11. 松岡昌志・賀川健人・石井 友
リモートセンシングによる地震被害の把握・・・・・・・・・・ 93
12. 太田 裕
2016 年度開催の研究委員会報告にみる地震防災の研究動向・・・・ 103
13. 村上ひとみ・野崎紘平・金 炫兌・内田文雄
2016 年熊本地震における避難所の推移と地理的分布、避難所環境に関する実態調査報告・・・・ 111
14. 研究委員会委員名簿・・・・・・・・・・ 127
15. 2017 年度第 1 回および第 2 回委員会プログラム・・・・・・・・・・ 128

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、日奈久断層帯高野一白旗区間、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一白旗区間、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様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 3~5 m）、12 万年~13 万年前の中位段丘面（標高 15~20 m）、40 数万年前の高位段丘面（標高 40 m 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

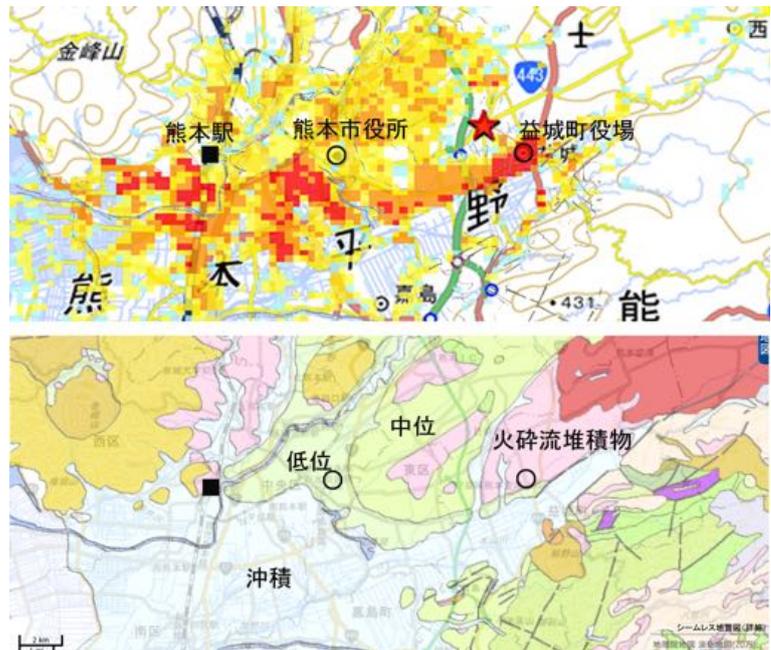


図 2 上図は、本震直後に、防災科学技術研究所によって、地震動と微地形による地震動増幅率などから推定された 250m 平方当たりの全壊棟数の分布図。防災科学技術研究所の HP による。下図は、産総研の地質 Navi から上図と同じ区画を切り出し、表層地層名を加筆したものの。

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思っていて間違いない。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

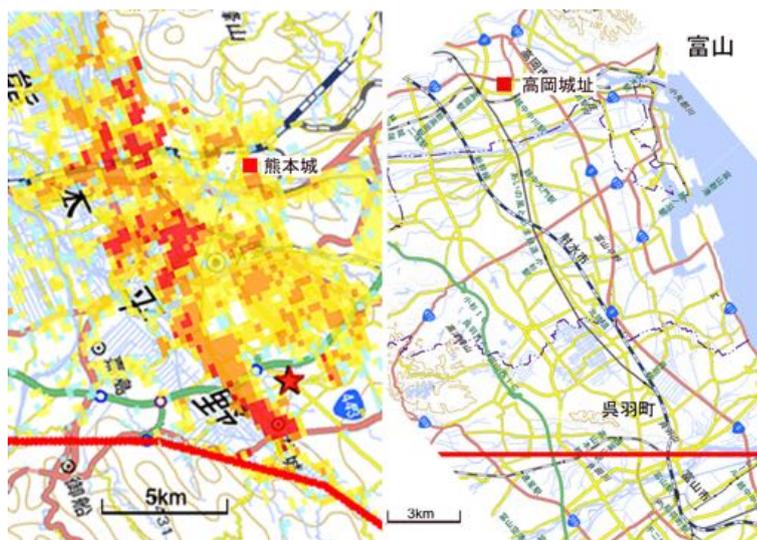


図5 図2上から一部を切り出して80度右回りに回転させたもの。右図は、富山平野の西半分を左図と同じ縮尺で同じ広さを切り出し、断層との位置関係が左図と似たようになるように回転したもの。国土地理院の電子国土WEBを基図とする。

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

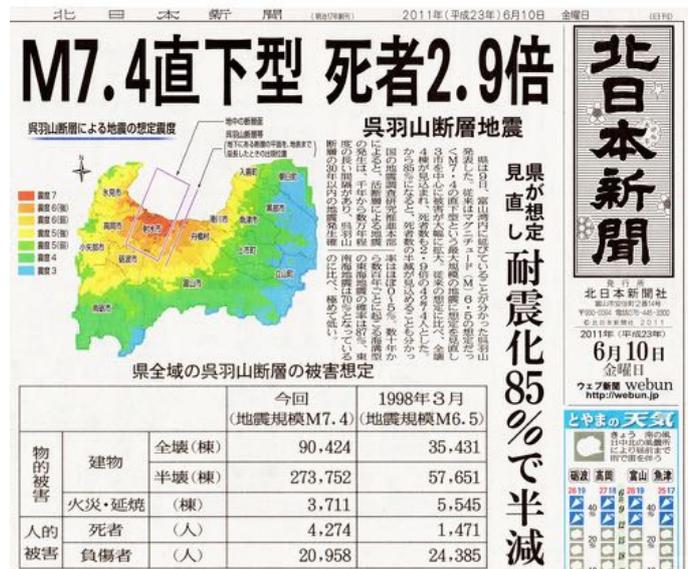


図 6 2011 年 6 月 10 日の北日本新聞の、呉羽山断層を震源とした場合の、富山県の被害想定の記事。犠牲者数は計 4274 人と想定されている。

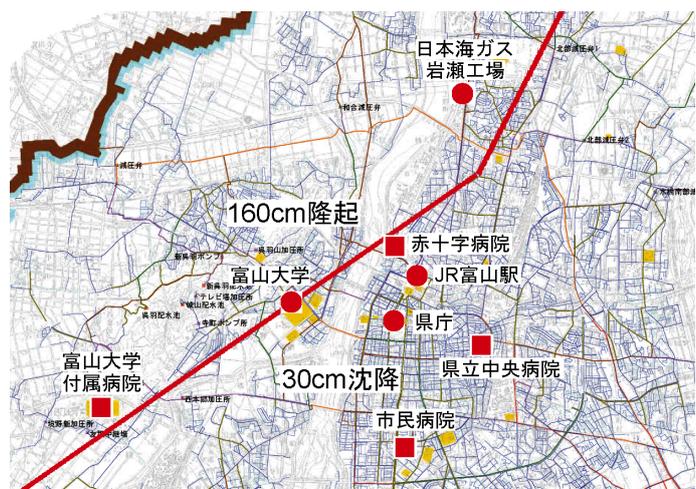


図 7 基図は富山市の水道管路の分布図（富山市の HP による）。赤実線は呉羽山断層線のおよその位置。赤四角は 4 災害拠点病院。赤丸は、多くの人が停留する公的な大型建造物。

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

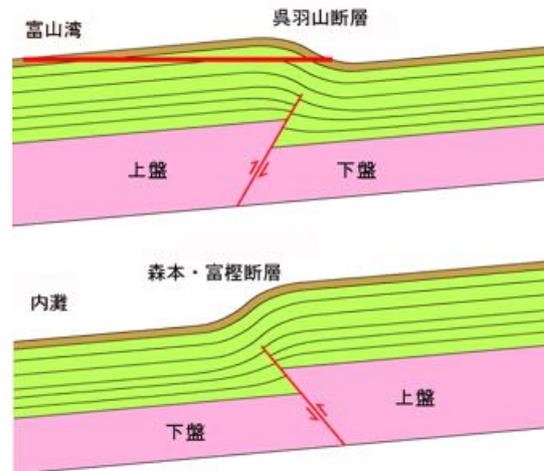


図8 地表浅部の撓曲の概念図。撓曲とは、図のように、断層上端が地下で止まり、それより上側の堆積層が変形した場合を指す。下図は金沢市の森本・富樫断層の場合。上図は呉羽山断層の場合。産総研のHPの図に修正を加えた。



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

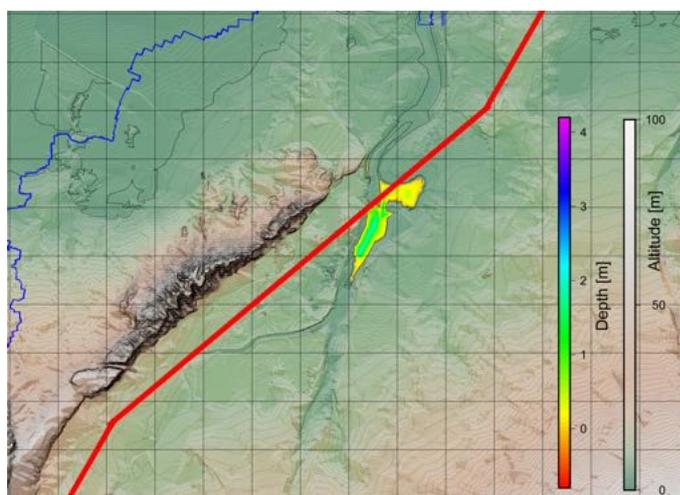


図10 呉羽山断層線周辺の標高に図4の地殻変動を加えたもの。図の中央の黄色系で色づけした部分が最深1mの水溜まり。本多亮による。GMT(Wessel et al., 2013)を使用。

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」の方々と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.

改良版個別要素法を用いた鉄道無筋コンクリート橋脚の 地震時安全性評価に関する研究

京都大学大学院地球環境学堂 古川愛子
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 水上 輝
京都大学大学院地球環境学堂 清野 純史

要旨：近年の地震において、在来鉄道の無筋コンクリート橋脚に被害が発生しており、耐震対策の検討が急務となっている。典型的な被害形態は、打ち継ぎ目における水平ずれである。本研究では、2004年新潟県中越地震で被災した魚野川橋梁 14P 橋脚を対象とし、改良版個別要素法を用いて地震時挙動の再現解析を行った。また、対象橋梁が和歌山県に位置すると想定し、来る南海トラフの巨大地震に対する地震時安全性を評価した。さらに、打ち継ぎ目における水平ずれを防止する対策として、鋼板巻き立て工法を採用した場合の地震時安全性についても検討を行い、適用性について考察を行った。

キーワード：無筋コンクリート橋脚，地震，打継目，水平ずれ，耐震対策，改良版個別要素法

1. はじめに

無筋コンクリート橋脚は、1914年に鉄道において初めて鉄筋コンクリートの設計施工基準が規定され、鉄筋コンクリート橋脚が全国に普及し始めるまで多く建造された。現在でも、全国には無筋コンクリート橋脚を有する在来鉄道が多数存在し、地震時に被害が発生している。典型的な被害形態は、打ち継ぎ目における水平ずれと、打ち継ぎ目下側端部のコンクリートの剥離である。切迫度が高まる南海トラフの巨大海溝型地震や、その前後に頻発する内陸地震に備えて、インフラ施設の耐震安全性の確保は喫緊の課題である。2011年の東北地方太平洋沖地震を契機に地震動予測が見直され、起こりうる最大級の地震動予測へとシフトしていることから、耐震安全性照査においては、破壊後の挙動までを再現できる数値解析手法を用いた検討が必要であると考えられる。

構造物の耐震安全性は有限要素法¹⁾を用いて広く検討されてきた。有限要素法は連続体の力学に基づく数値解析手法であり、連続な形状関数を用いるため、破壊・崩壊現象の表現は困難である。これに対し、不連続な形状関数を用いることで破壊現象を表現可能とする FEM- β ²⁾ が提案された。要素間の接触状態が大きく変化しない破壊現象の解析に適している。

これらに対し、離散体の力学に基づく個別要素法³⁾は、構造物を剛体要素の集合体としてモデル化し、要素同士が接触したときは要素間にばねとダッシュポットを設置して相互作用力を表現する。要素間の破壊はばねの切断で簡易にモデル化でき、破壊や崩壊現象の解析に適した手法である。解析ではばね定数とダッシュポットの減衰係数の値を適切に設定する必要がある。従来の個別要素法には、ばね定数を理論的に決定できないという問題があったが、改良版個別要素法⁴⁾では、要素の表面を多数のセグメントに離散化して、セグメント毎にばねを設置することで、材料特性からばね定数を決定できるようになった。

そこで本研究では、改良版個別要素法を用いて無筋コンクリート橋脚の地震時挙動の解析および耐震対策の効果の検討を行うことを目的とする。

まず、2004年新潟県中越地震で被災した写真1の魚野川橋梁の14P橋脚をモデル化し、地震時挙動の再現解析を実施した。実際の被害形態である打ち継ぎ目における水平ずれと、打ち継ぎ目下側端部のコンクリートの剥離を再現できるか確認した。次に、発生が懸念されている、南海トラフを震源域とする



写真1 新潟県中越地震で被災した魚野川橋梁⁵⁾

巨大地震に対する鉄道無筋コンクリート橋脚の安全性を評価するため、対象橋脚が和歌山県に位置すると仮定し、紀勢線の近傍の想定地震動を入力し、南海トラフの巨大地震に対する地震時安全性の評価を行った。最後に、耐震対策の効果について検討を行った。魚野川橋梁の14P橋脚のように、河川内に位置する橋脚の場合は、河積阻害率の観点から、橋脚断面を増加させない耐震対策を採用することが多いことから、橋脚断面を大きく増加させない鋼板巻き立て工法を採用することを考えた。耐震対策を施した橋脚のモデル化を行い、地震時安全性を評価することで、耐震対策の有効性を検証した。

2. 改良版個別要素法

2.1 概要

改良版個別要素法⁴⁾は、従来の個別要素法と同様に構造物を剛体要素の集合体としてモデル化する。改良点としては、要素表面をセグメントに離散化して(図1(a))、それぞれのセグメントの代表点にはね・ダッシュポットを設置(図1(b))したことである。要素表面を離散化することによって、ばね常数が理論的に理論的に導出される。弾性挙動は要素間に設置する復元ばね(図1(c))によって表現する。復元ばねの切断によって破壊現象はモデル化され、要素間が再接触または新たな要素と接触する際は、接触要素間に接触ばね・ダッシュポット(図1(d))が発生する。接触ダッシュポットは衝突によるエネルギーを消散させるためのもので接触ばねと並列に設置される。

2.2 解析パラメータ

(1) 要素のばね定数

次項で述べる要素間のばねは、本項で述べる要素のばねが直列につながったとして導出する。

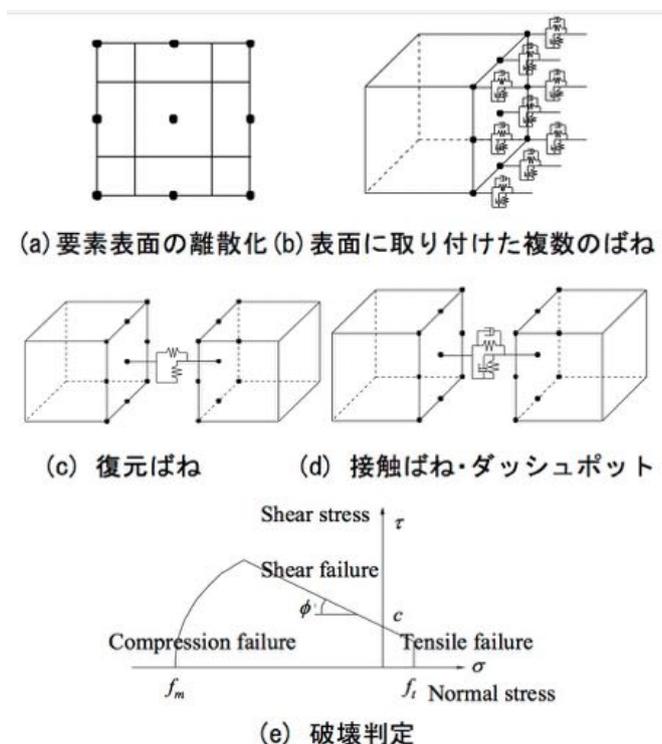


図1 改良版個別要素法の概要

復元ばねと接触ばねの2タイプが存在するが同じばね定数とする。ばねは要素表面に対して、法線方向 (n) と接線方向 (s) の両方に取り付けられる。法線、接線方向の単位面積あたりのばね定数は次式で表される。

$$\bar{k}_n = \frac{E}{(1-\nu^2)l} \quad \bar{k}_s = \frac{E}{2(1+\nu)l} \quad (1)$$

ここに、 E は要素の弾性係数、 ν はポアソン比、 l は要素重心から表面までの距離である。

(2) 要素間のばね定数

2つの要素 A, B が連続または接触しているとする。要素 A, B の弾性係数を E_A, E_B , ポアソン比を ν_A, ν_B , 重心から表面までの距離を l_A, l_B で表す。式 (1) で求めたばねが直列につながっていると想定し、要素間の単位面積あたりのばね定数は次式で与えることとする。

$$y = \frac{1}{\frac{l_A}{E_A/(1-\nu_A^2)} + \frac{l_B}{E_B/(1-\nu_B^2)}} \quad (2)$$

$$y = \frac{1}{\frac{l_A}{E_A/2(1+\nu_A)} + \frac{l_B}{E_B/2(1+\nu_B)}} \quad (3)$$

(3) 減衰定数

要素 A と B が接触・再接触した際は、要素間には接触ばねに加えて接触ダッシュポットを設置する。法線、接線方向の減衰定数を h_n, h_s とし、単位接触面積あたりの減衰係数は次のように表わされるとする。

$$c_n = 2h_n\sqrt{m_{ave}k_n}, \quad c_s = 2h_s\sqrt{m_{ave}k_s}, \quad m_{ave} = \rho_A l_A + \rho_B l_B \quad (4)$$

ここに、 m_{ave} は単位接触面積あたりの要素 A, B の質量の和、 ρ_A, ρ_B は要素 A, B の質量密度である。減衰定数が小さいと、接触によるエネルギーが十分に消散されず要素が飛び跳ねる現象が生じる。本研究では、接触時の衝突エネルギーをできるだけ早く発散させ計算の安定化を図るため、臨界減衰 ($h_n = h_s = 1.0$) を用いた。

2.3 破壊判定

復元ばねの法線・接線方向の伸びを (u_n, u_s) とすると、法線・接線方向の応力 (σ, γ) は次式で表される。

$$\sigma = \kappa_n u_n, \quad \gamma = \kappa_s u_s \quad (5)$$

法線方向の応力は引張を正とする。復元ばねに発生する応力が弾性限界に達すると、復元ばねを切断することで破壊現象を表す。弾性限界は図 1(e) に示す引張破壊、せん断破壊、圧縮破壊により表現する。

(1) 引張破壊

法線方向応力が引張強度 (f_t) を超えたとき、引張破壊が生じる。降伏関数は次式で与えられる。

$$f_1(\sigma) = \sigma - f_1 \quad (6)$$

(2) せん断破壊

せん断破壊の判定はクーロン摩擦の包絡線を用いる。粘着力を c 、内部摩擦角を ϕ 、降伏関数を次式とする。

$$f_2(\sigma) = \gamma + \sigma \tan \phi - c \quad (7)$$

(3) 圧縮破壊

圧縮破壊の判定は、楕円形モデル⁶⁾を用いる。 f_m を圧縮強度とし、降伏関数を次式で与える。

$$f_3(\sigma) = \sigma^2 + C_s \gamma^2 - f_m^2 \quad (8)$$

過去の研究より $C_s = 9$ を用いた⁶⁾。圧縮破壊が発生すれば、式(8)が0となるように復元力に制約を与えた。

2.4 摩擦限界

復元ばねは破壊が発生すれば消失する。接触・再接触の際は、接触ばねと接触ダッシュポットが発生する。接触ばねは、接触しているときだけ発生するものであるため、圧縮力のみ受け持つ。また、接線方向の接触力は、摩擦限界によって制限されているとする。内部摩擦角を ϕ とすると次式のようになる。

2.5 運動方程式

1) 要素重心の並進運動の運動方程式

要素重心に作用する力は、ばねとダッシュポットによる力と、重力と地震慣性力を足し合わせたものである。重心の並進運動の方程式は次式で表される。

ここに、 $x_g(t)$ は時間 t における要素重心の変位ベクトルである。 m は要素の質量、 c は要素の粘性減衰の減衰係数、 g は重力加速度ベクトル、 $Z(t)$ は時刻 t における地動加速度ベクトル、そして $F(t)$ は要素間のばねとダッシュポットによって作用する力の総和である。減衰係数 c は構造振動によるエネルギー減衰を粘性減衰として表すときの減衰係数であり、本研究では、質量比例減衰を仮定した。式(10)を解き加速度を求め、速度、変位と積分することによって、重心の座標を追跡することができる。

(2) 要素重心まわりの回転の運動方程式

要素重心が原点で、要素の慣性主軸を主軸とする剛体に固定した座標系を慣性座標系とする。慣性座標系における角速度ベクトル $\omega(t)$ は、次の Euler の運動方程式解くことによって求めることができる。

ここに、 I は慣性座標系における慣性モーメントテンソル、 $r(t)$ は要素重心から外力 $F(t)$ が作用する点へと向かうベクトル (絶対座標系)、 $R(t)$ は絶対座標系から慣性座標系への座標変換行列である。

2.6 個別要素法の解の安定条件

単純な線形の振動問題を対象に、解の安定条件を検討する。

式(12)において、 y は変位、 m は質量、 h は減衰定数、 Kn はばね定数である。加速度項の離散化に Leap-frog 法を、速度項の離散化に Euler 法を使用すると、解の安定条件は次のようになる。

並進運動については、式(2),(5),(13)より次のようになる。

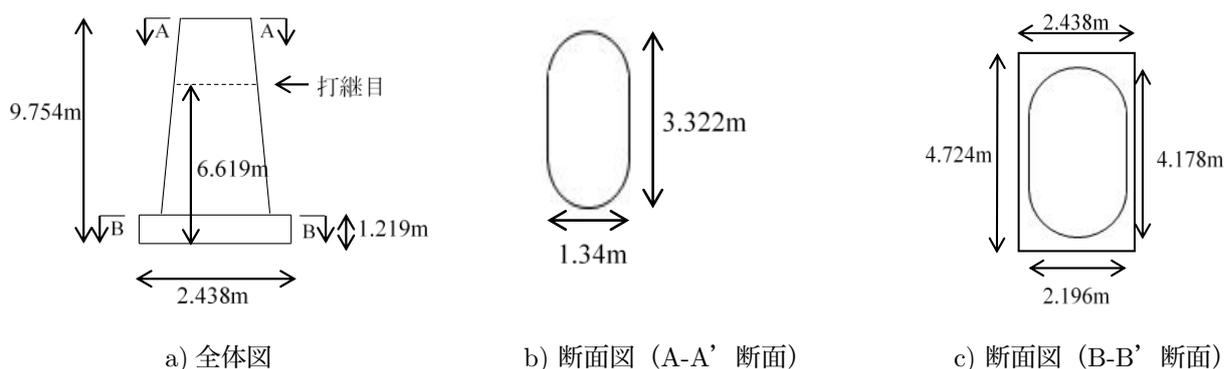


図2 魚野川橋梁 14P 橋脚 (左が北東, 右が南西方向)

3. 無筋コンクリート橋脚および耐震対策のモデル化

3.1 対象構造物

本研究では、2004年新潟県中越地震の際に、打ち継ぎ目において橋軸直角方向に40cm程度の水平ずれが生じた新潟県長岡市の魚野川橋梁の14P橋脚(写真1右)を対象とする。フーチング底面から6.619mの高さに打ち継ぎ目を有する。本橋梁は河川内に位置しており、先細りの形状となっている。全体図と、A-AとB-Bにおける断面図を図2に示す。

3.2 解析モデル

無筋コンクリート橋脚の解析モデルを図3に示す。x軸(橋軸方向)の正方向を北東、y軸(軸直角方向)の正方向を北西とする。本橋脚の先細りの形状を表現するため、図3に示すように鉛直方向0.2m毎に断面積を減少させる。

解析に用いたコンクリートの材料特性を表1に示す。これらは、西日本旅客鉄道(株)による、圧縮試験および一面せん断試験の結果を基に決定した⁷⁾。試験は、和歌山県の紀勢本線の無筋コンクリート橋脚から採取されたコアを用いたものであり、魚野川橋梁から採取されたものではないが、同時期に同様の形状で建造された橋脚であることから参考にした。

打ち継ぎ目の強度は、打ち継ぎ目から採取したコアの試験から決定された値を用いた。コンクリート自身の強度は、打ち継ぎ目以外から採取されたコアの圧縮強度と、圧縮強度をもとに鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)⁸⁾で定められている算定式を用いて引張強度、せん断強度を推定した。

実橋脚には桁荷重124.8kNが載荷されるため、桁を直方体でモデル化して重量が124.8kNとなるよう密度を調整した。桁は鋼製で、密度 $5.28 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、ヤング率 $2.0 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ 、ポアソン比0.30とした。

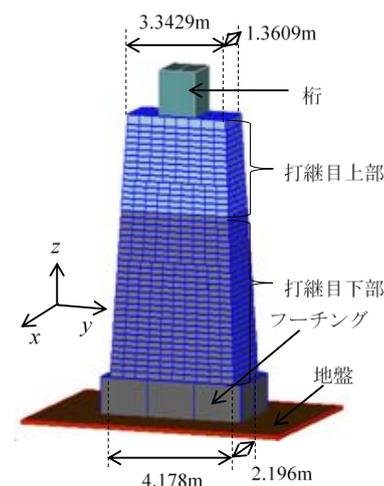


図3 無筋コンクリート橋脚の解析モデル

表1 コンクリートの材料特性

	コンクリート	打ち継ぎ目
密度(kg/m ³)	2.3×10 ³	
ヤング率(N/m ²)	2.2×10 ¹⁰	
ポアソン比	0.20	
引張強度 f_t (N/m ²)	1.75×10 ⁶	0
粘着力 c (N/m ²)	5.8×10 ⁵	1.62×10 ⁴
摩擦角 ϕ (rad)	0	0.52
圧縮強度 f_m (N/m ²)	2.39×10 ⁷	2.39×10 ⁷

a) 物性値

b) 要素間強度

フーチングは1.22m × 1.57m × 1.2m の要素、桁は約1.34m × 0.6m × 1.5m の要素で、橋脚はおよそ0.25m × 0.4m × 0.2m の要素で分割した。要素表面のばね・ダッシュポットの設置間隔は、既往の研究⁴⁾により、最も短い辺の1/4程度とした。総要素数は2,828となった。

橋脚の1次固有振動数は、橋軸(x)方向が10.9Hz、橋軸直角(y)方向が20.3Hz程度となった。計算時間間隔は式(14)を満たす値として全て $\Delta t = 1.0 \times 10^{-5}$ (s)とした。減衰定数は、橋軸直角方向の1次の減衰定数が3/%となる質量比例減衰でモデル化した。

3.3 鋼板巻き立てによる地震対策

魚野川橋梁14P橋脚のように、河川内に位置する橋脚の場合は、河積阻害率の観点から、橋脚断面を増加させない耐震対策を採用することが多い。本研究では、橋脚断面を大きく増加させない工法として、西日本旅客鉄道(株)によって検討されている鋼板巻き立て工法を採用することを考えた。図4に示すように、厚さ12mmの鋼板が打ち継ぎ目を覆うように巻かれ、アンカーを打ち継ぎ目上部に打ち込み橋脚に固定する。鋼板と打ち継ぎ目下側は固定せず、打ち継ぎ目上部の水平ずれを防止し、ロッキングは許容して振動エネルギーを消散する効果を期待する。モデル化では、鋼板と打ち継ぎ目上部のコンクリートの間の強度は、破壊しないように十分に大きな値を用いた。鋼板と打ち継ぎ目下側のコンクリートの間の強度は0とした。

鋼板巻き立てを施した解析モデルを図5に示す。総要素数は2,967である。実際の鋼板は厚さ12mmであるが、一辺が約200mmの立方体でモデル化した。改良版個別要素法で厚さ12mmの鋼板をモデル化する場合、鋼板を12mmより小さな要素でモデル化する必要が生じ、計算の安定のためには鋼板に接触するコンクリートもこれに合わせて小さな要素でモデル化する必要が生じ、要素数が膨大となる上に、非常に小さな計算時間間隔が要求されてしまう。そこで今回は、鋼板の質量と曲げ剛性が等価となるように密度とヤング率を設定した上で、厚さ200mmの要素でモデル化した。今後、厚さ12mmの鋼板でも解析が実施できるように改良版個別要素法を拡張したい。

鋼板の材料特性を表2に示す。鋼板の材質をSM400とし、鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)⁹⁾より決定した。表2に換算後の物性値も示す。

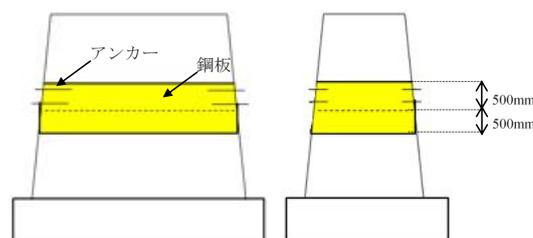


図4 鋼板巻き立て工法の概略図

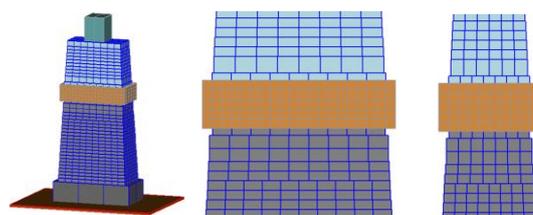


図5 鋼板巻き立て工法の解析モデルの立体図・側面図

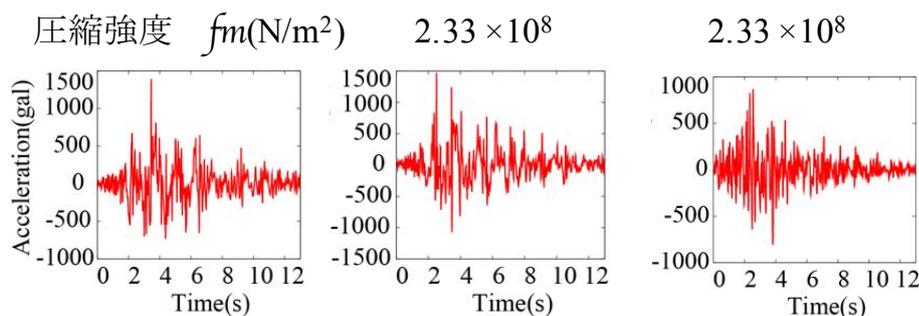
4. 無筋コンクリート橋脚の地震時安全性評価

4.1 入力地震動

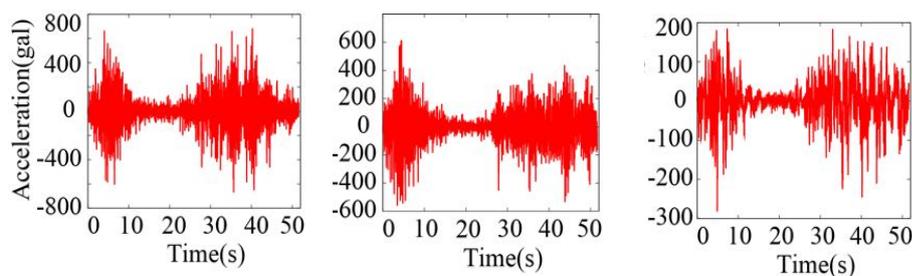
入力地震動は、2004年新潟県中越地震において、魚野川橋梁近傍の長岡市役所川口支所で計測された波形と、当該橋梁が和歌山県に位置すると仮定したときの、南海トラフの巨大地震の推定波形2波の、計3波とした。図6に時刻歴を示す。振幅の大きな時間帯のみ取り出した。橋梁が北東方向に延びることから、座標変換して、橋軸(x)方向、橋軸直角(y)方向、上下(z)方向に入力した。南海トラフの巨大地震を対象については、中央防災会議によって検討された断層モデルのうち、最も地震動の大きい「陸側ケース」の工学的基盤の地震動を、1次元重複反射理論によって変換された地表面地震動を入力した。対象地点としては、紀勢本線近傍の2地点（和歌山県すさみ町、和歌山県印南町）とた。地盤の物性値はK-netおよびKik-netのボーリングデータを使用した。

表2 鋼板の材料特性

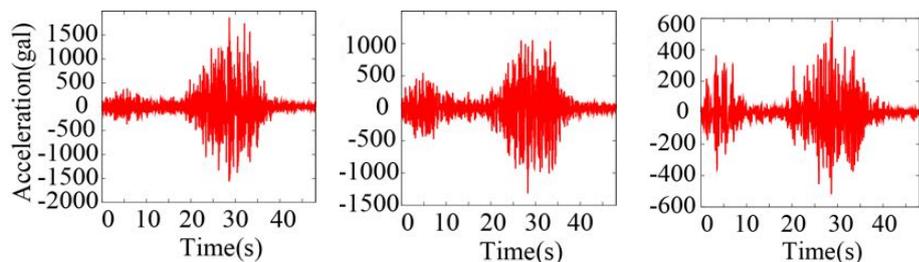
	鋼板	鋼板(換算後)
密度(kg/m ³)	7.85×10 ³	4.4×10 ²
ヤング率(N/m ²)	2.0×10 ¹¹	1.2×10 ¹⁰
ポアソン比	0.30	0.30
引張強度 f_t (N/m ²)	2.33×10 ⁸	2.33×10 ⁸
粘着力 c (N/m ²)	1.35×10 ⁸	1.35×10 ⁸
摩擦角 ϕ (rad)	0	0



a) 2004年新潟県中越地震の計測波形



b) 南海トラフ巨大地震の想定地震動(すさみ町)



c) 南海トラフ巨大地震の想定地震動(印南町)

図6 入力地震動 (左：橋軸, 中：橋軸直角, 右：上下)

4.2 無筋コンクリート橋脚の地震後の状況

(1) 新潟県中越地震の計測波形

地震後の状況を図 7(a) に示す。左から 2 つ目の図において、青色は要素の輪郭、水色は引張破壊、赤色は圧縮破壊が発生した箇所を示す。せん断破壊は生じなかった。打ち継ぎ目の引張強度が 0 であるため、加振直後から打ち継ぎ目上部がロッキングして下部と衝突を繰り返しながら滑動し、打ち継ぎ目に水平ずれと打ち継ぎ目下側端部のコンクリートに破壊が生じた。左から 3 つ目の図において、打ち継ぎ目上部は左側に滑動した。橋軸直角方向の水平ずれは 8cm となり、実際の 40cm より小さな値となった。和歌山県の橋脚の物性値を入力したことなども原因であると考えられる。水平ずれは過小評価となったが、被害形態は再現することができた。

(2) 南海トラフ巨大地震の想定地震動（すさみ町）

地震後の状況を図 7(b) に示す。継続時間は長い、加速度は小さいため、破壊の生じた領域は図 7(a) に比べて狭い。打ち継ぎ目で橋軸直角方向に約 4.5cm の水平ずれが生じ、打ち継ぎ目の下側端部のコンクリートに破壊が生じた。被害形態は図 7(a) と同じであった。

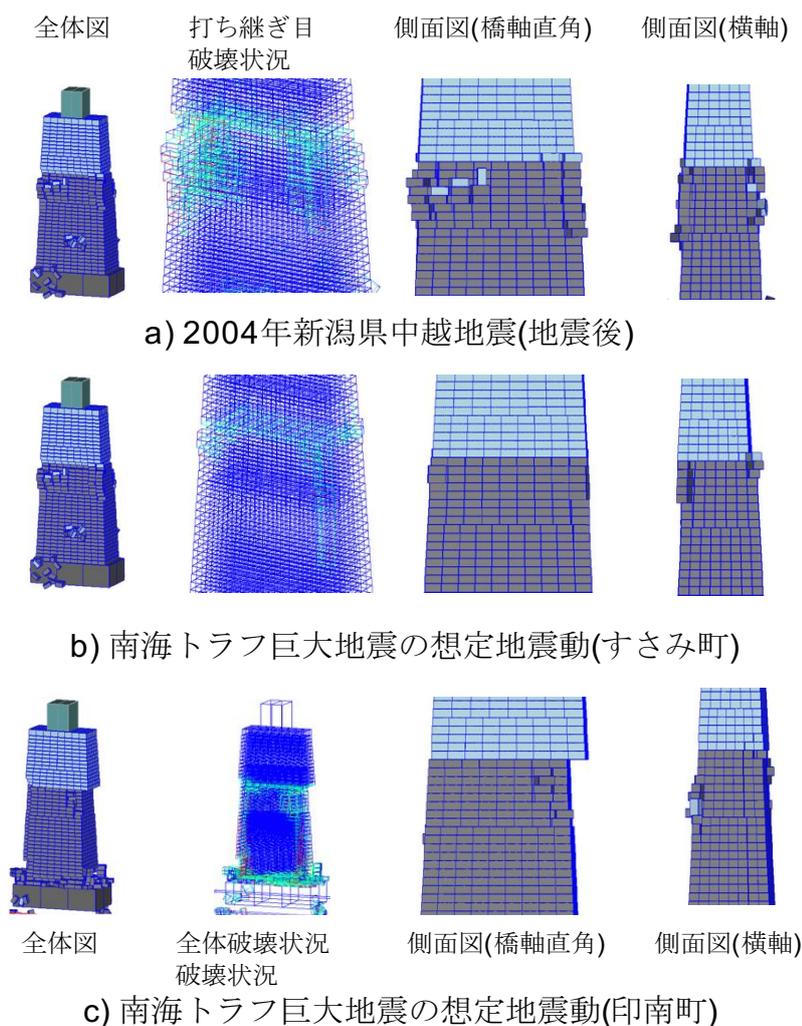


図 7 無筋コンクリート橋脚の地震後の状況

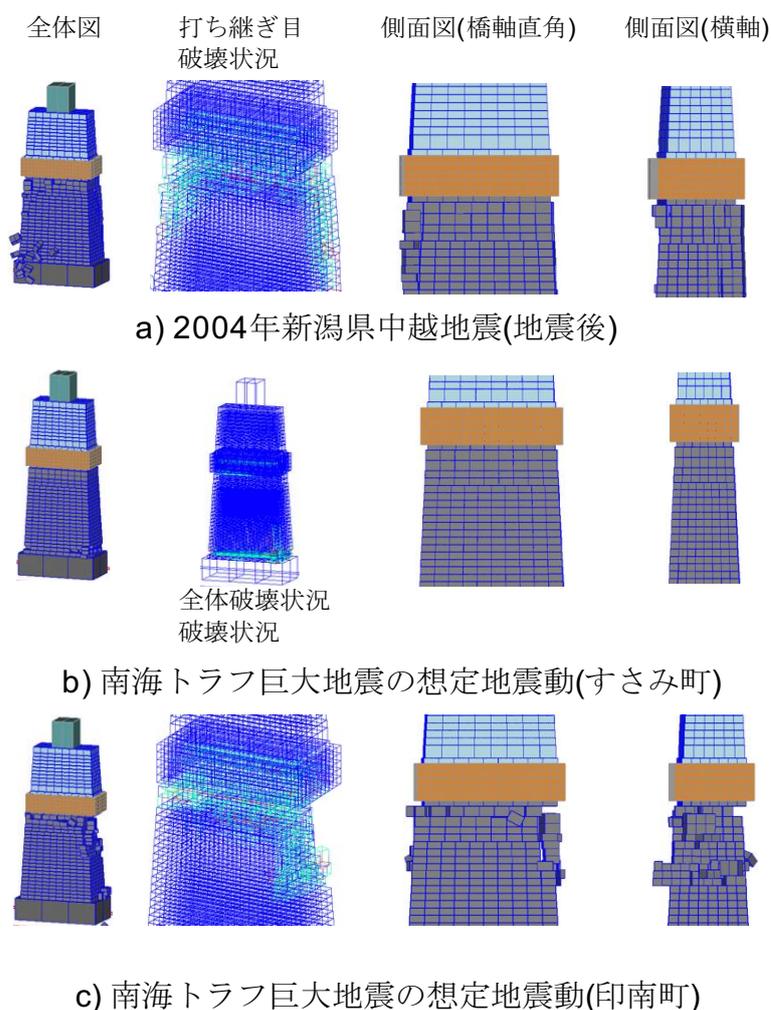


図8 鋼板巻き立てを施した場合の地震後の状況

(3) 南海トラフ巨大地震の想定地震動 (印南町)

地震後の状況を図7(c)に示す。加速度も大きく継続時間も長いため、3つの地震動の中で、破壊の発生した領域が最大となった。打ち継ぎ目における橋軸直角方向の水平ずれは5cm程度と小さいが、打ち継ぎ目下側のコンクリートの端部の広い領域に破壊が生じた。また、他の2つの地震動と違い、橋脚基部においても引張破壊が生じた。打ち継ぎ目上部に作用する地震慣性力が、摩擦によって下側に伝わり、橋脚基部に大きな曲げモーメントが作用したものと考えられる。

4.3 鋼板巻き立て工法を施した場合の地震後の状況

(1) 新潟県中越地震の計測波形

地震後の状況を図8(a)に示す。鋼板基部のコンクリートが破壊した。無対策時に比べて、水平ずれは防止でき、破壊領域がやや減少したものの、コンクリートの破壊する位置が下側に移動しただけで、顕著な改善は見られなかった。

(2) 南海トラフ巨大地震の想定地震動 (すさみ町)

地震後の状況を図 8(b) に示す。鋼板基部の高さにおいてコンクリートに引張破壊が発生したが、破壊の領域は限定的であった。橋脚基部の一部にも引張破壊が発生したが、この理由は、打ち継ぎ目および鋼板下端で破壊がほとんど生じなかったために、橋脚が一体となって振動したと見られ、水平方向の地震慣性力によって橋脚基部に引張破壊を生じさせる曲げモーメントが発生したものと考えられる。

(3) 南海トラフ巨大地震の想定地震動（印南町）

地震後の状況を図 8(c) に示す。打ち継ぎ目の水平ずれは抑制できたが、鋼板基部のコンクリートが広い領域で破壊した。無対策のときは、打ち継ぎ目下側の橋軸直交方向の両端（図 7(c) の左右）のコンクリートが破壊したが、鋼板を巻き立てた際は、打ち継ぎ目下側のコンクリートに全周にわたって破壊が生じた。また、橋脚基部は破壊しなかった。無対策に比べ、鋼板巻き立てにより橋脚が一体化し、固有振動数が高くなり、印南町の地震動に対しては共振しにくくなった可能性があると考えられる。

以上をまとめると、いずれの地震動に対しても、鋼板巻き立ては、打ち継ぎ目の水平ずれを抑制する効果はあった。しかし、鋼板は打ち継ぎ目下側のコンクリートには固定されていないため、打ち継ぎ目上部が鋼板と一体となってロッキングをした。その結果、鋼板基部のコンクリートに破壊が発生し、コンクリートの破壊を抑制する効果は確認できなかった。

5. 結論

本研究では、2004 年新潟県中越地震時に被災した魚野川橋梁の 14P 橋脚について、改良版個別要素法を用いて地震時の破壊挙動解析を行った。水平ずれを過小評価したものの、実際の被災形態である打ち継ぎ目での水平ずれの発生と、打ち継ぎ目下側コンクリート端部の破壊を確認できた。また、当該橋梁が和歌山県に位置すると仮定し、南海トラフの巨大地震に対する地震時安全性を評価した。その結果、打ち継ぎ目の水平ずれと下側コンクリート端部の破壊以外に、橋脚基部にも破壊が発生する可能性を確認した。また、打ち継ぎ目での水平ずれを抑制できる耐震対策として、鋼板巻き立ての有効性の検証を行った。全ての地震動に対して、打ち継ぎ目における水平ずれを抑制できたが、鋼板基部のコンクリートが破壊するなど、コンクリートの破壊は防止できないことがわかった。

謝辞 コンクリートの材料特性および耐震対策案は西日本旅客鉄道（株）のご協力を頂きました。K-NET, KiK-net の観測記録およびボーリングデータを使用させて頂きました。

参考文献

1. Zienkiewicz and R.L. Taylor, The finite element method, 5th ed., Vol.1, 2, 3, Butterworth Heinemann, Oxford, U.K., 2000.
2. M. Hori, K. Oguni, H. Sakaguchi, Proposal of FEM implemented with particle discretization for analysis of failure phenomena, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol.53, pp.681-703, 2005
3. P.A. Cundall and O.D.L. Strack, A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique, 29, pp.47-65, 1979.
4. A. Furukawa, J. Kiyono, and K. Toki, Proposal of a numerical simulation method for elastic, failure and collapse behaviors of structures and its application to seismic response analysis of masonry walls, Journal of Disaster Research, Vol.6, No.1, pp.51-68, 2011.
5. 九州工業大学災害調査団, 平成 16 年新潟県中越地震一第二次被害調査速報版一, www.civil.kyutech.ac.jp/pub/kosa/ijikenHP/tyuuetujisin20041025.pdf (2015.7.21 閲覧) .
6. P.B. Lourenco, Analysis of masonry structures with interface elements, theory and applications, Delft University of Technology, Faculty of Civil Eng., TU-DELFT report no. 03-21-22-0-01, 1994.
7. 坂岡和寛, 土井達也, 大江崇元: 無筋コンクリート橋脚の打継目性状に関する基礎的検討, 第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集, V-114, 2014.
8. (財) 鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 2004.
9. (財) 鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物, 2009.

微動・重力探査による鳥取県智頭地域の地盤構造推定および民泊家屋の微動観測

Determination of Subsurface Structure by Microtremor and Gravity Survey, and Microtremor Observation of Vacation Rental Houses in Chizu Area, Tottori Prefecture

野口 竜也 (鳥取大学)・五島 達也 (元鳥取大学)・津吉 祐典 (元鳥取大学)
池上 柊真 (元鳥取大学)・香川 敬生 (鳥取大学)

1. はじめに

本研究の対象とする智頭町とその周辺地域は鳥取県の東南に位置し、中国山地の中山間地域であり、林業が盛んな地域である。この地域の大半は花崗岩もしくは三郡変成岩による山地が占めており、市街地を含む居住地域は狭い谷底平野となっている。また智頭町では、南海トラフの巨大地震の発生時などに町外で被災する可能性が高い世帯を対象に被災した場合には一定期間、生活支援を約束する「疎開保険」という事業を行っている。この地域で地震動評価を行うことは、地域住民の地震防災に役立つのと同時に、地震災害の被災者に対する疎開先としての適合性や保険の付加価値を付けることに繋がる可能性がある。

本研究では、地震動評価を行うための地盤構造に関する情報を得るために微動および重力観測を実施し地盤構造を推定した。また、疎開先の民泊家屋について微動観測を実施し各家屋の振動特性を把握した。

2. 微動探査について

2.1 観測および解析

観測については、以下の通りである。まず、3成分加速度計 JU210 を用いて、単点 3 成分観測を実施した。2014 年度には智頭地区市街地では 20m 間隔、同地区市街地近傍の谷筋を 50m 間隔、対象地域全域

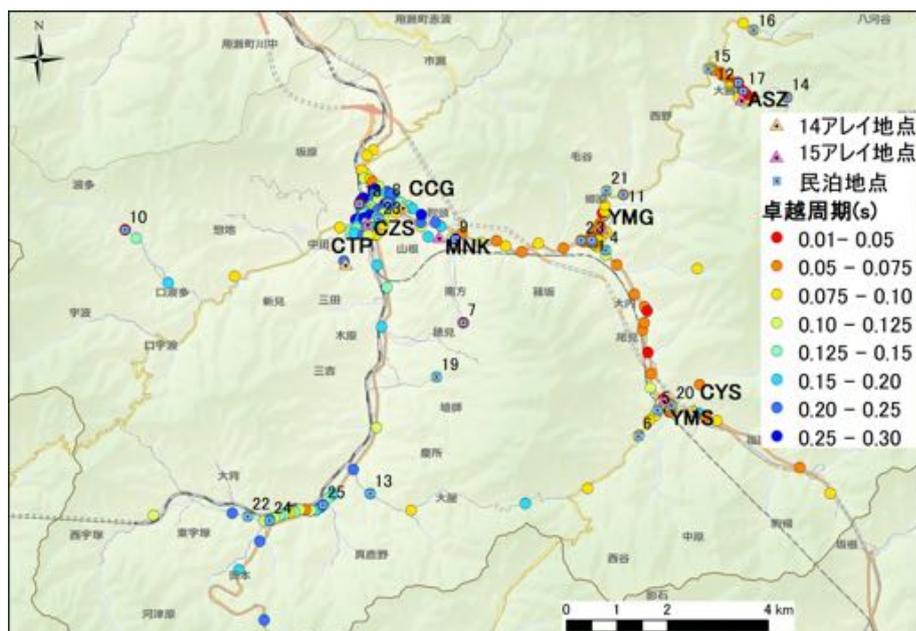


図1 微動 H/V の卓越周期分布 (全域)

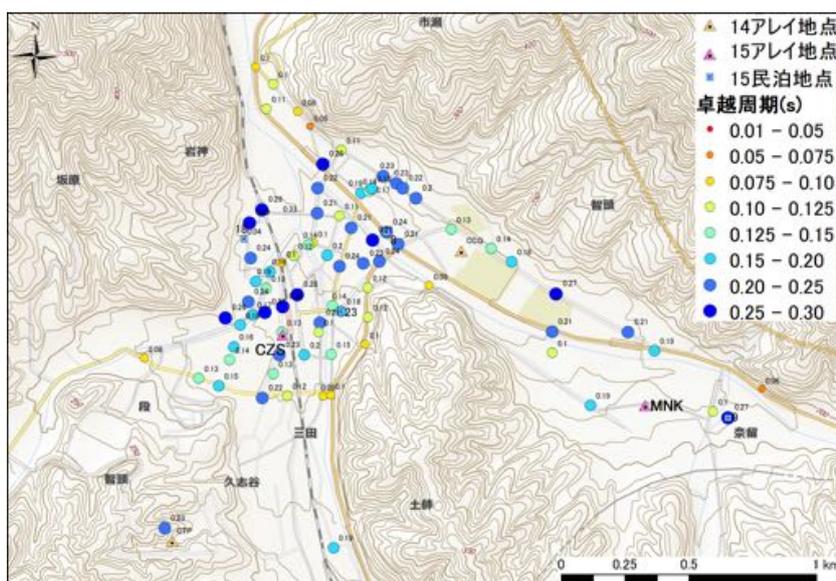


図2 微動 H/V の卓越周期分布 (智頭地区)

を 1km 間隔で 137 点，2015 年度には山間部の谷筋を 1km 間隔で 137 点，2015 年度には山間部の谷筋 (山形，山郷，芦津，那岐地区) を 50~100m 間隔の計 72 点で観測を行った。単点観測の測定時間は 7~10 分間とした。

次に，速度計 4 台を正三角形と重心配置するアレイ観測を実施した。2014 年度には智頭町町民グラウンド (CCG)，智頭テクノパーク (CTP)，山郷小学校跡地 (CYS) の 3 地点，2015 年度には山形 (YMG)，山郷 (YMS)，智頭 (CZS)，南方 (MNK)，芦津 (ASZ) の 5 地点で実施した。なお，CTP は道路建設の残土による埋め立て地である。

解析について，3 成分単点観測記録からは水平動と上下動のスペクトル比 (H/V) を求め，卓越周期を読み取った。アレイ観測記録からは，SPAC 法を読み取った。アレイ観測記録からは，SPAC 法¹⁾，CCA 法²⁾，nc-CCA 法²⁾，V 法³⁾ により位相速度分散曲線を求め，フォワードモデリングにより S 波速度構造を推定した。

2.2 微動探査の結果

H/V の卓越周期は，全域 (図 1) では 0.05~0.4s であり，市街地 (図 2) が 0.2~0.3s，山間部では西側



図3 微動 H/V の卓越周期分布 (山形地区)

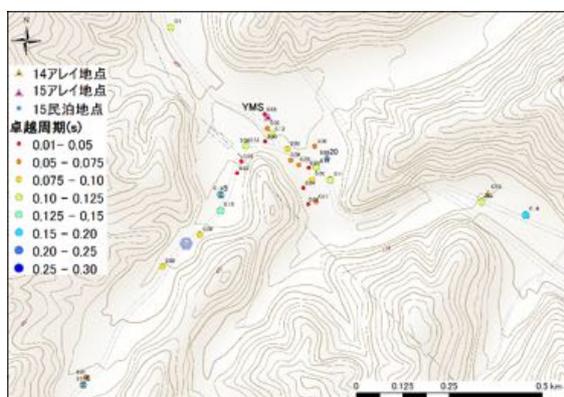


図4 微動 H/V の卓越周期分布 (山郷地区)

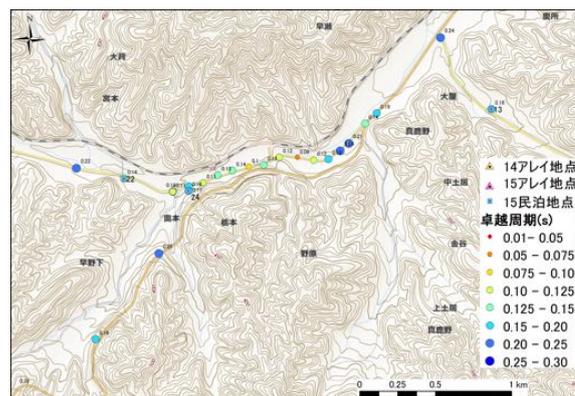
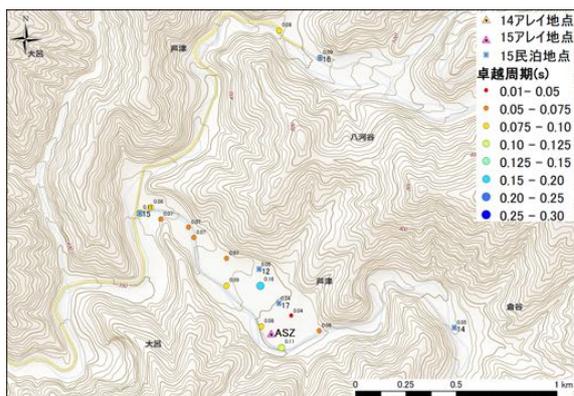


図5 微動 H/V の卓越周期分布 (芦津地区) 図6 微動 H/V の卓越周期分布 (那岐地区)
 の谷筋で最大 0.30s まで、東側の谷筋では 0.15s までで、東側の方が長い傾向がある。特に市街地については、後述の S 波速度 ($V_s=200\text{m/s}$) を参考に 1/4 波長則で表層厚に換算すると最大で約 20m である。
 山形地区 (図 3)、山郷地区 (図 4) では 0.1s 以下、芦津地区 (図 5)、那岐地区 (図 6) では 0.2s 以下である。S 波速度構造モデル (図 7) より、堆積層の S 速度は $100\text{m/s}\sim 400\text{m/s}$ で、その層厚は市街地の CCG、埋め立て地の CTP で約 20m、山間部の CYC で約 5m、CZS が約 20m、ASZ で約 3m である。

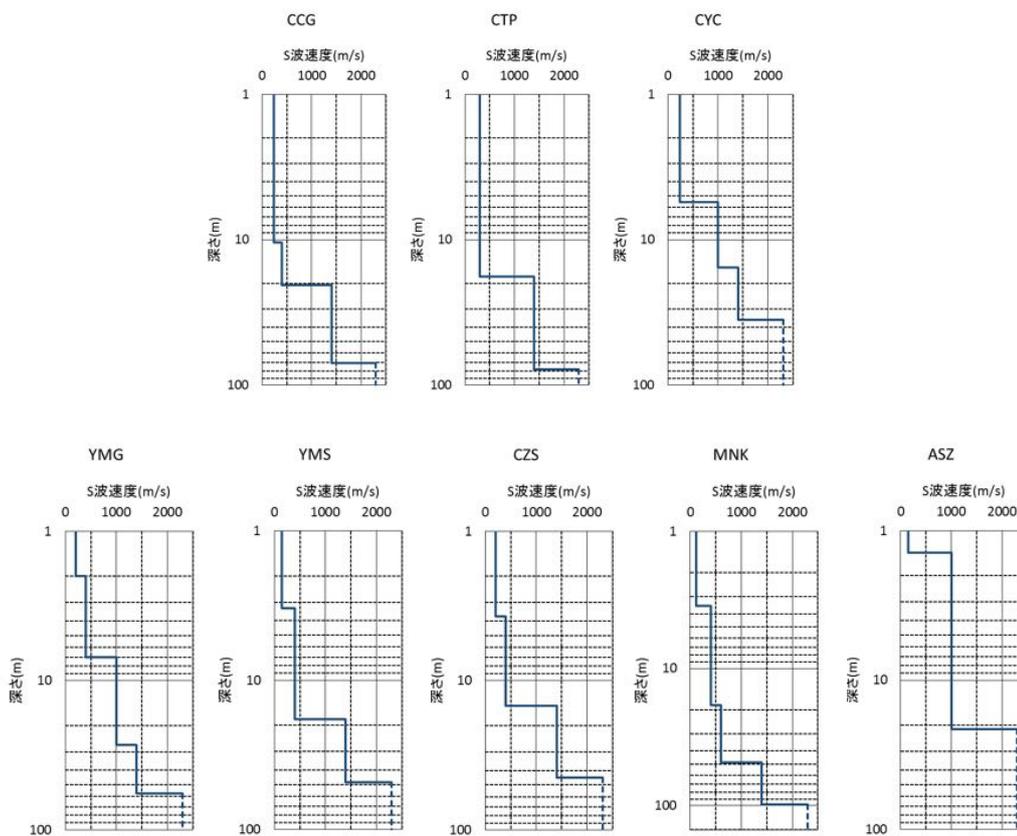


図7 S 波速度構造モデル

3. 重力探査について

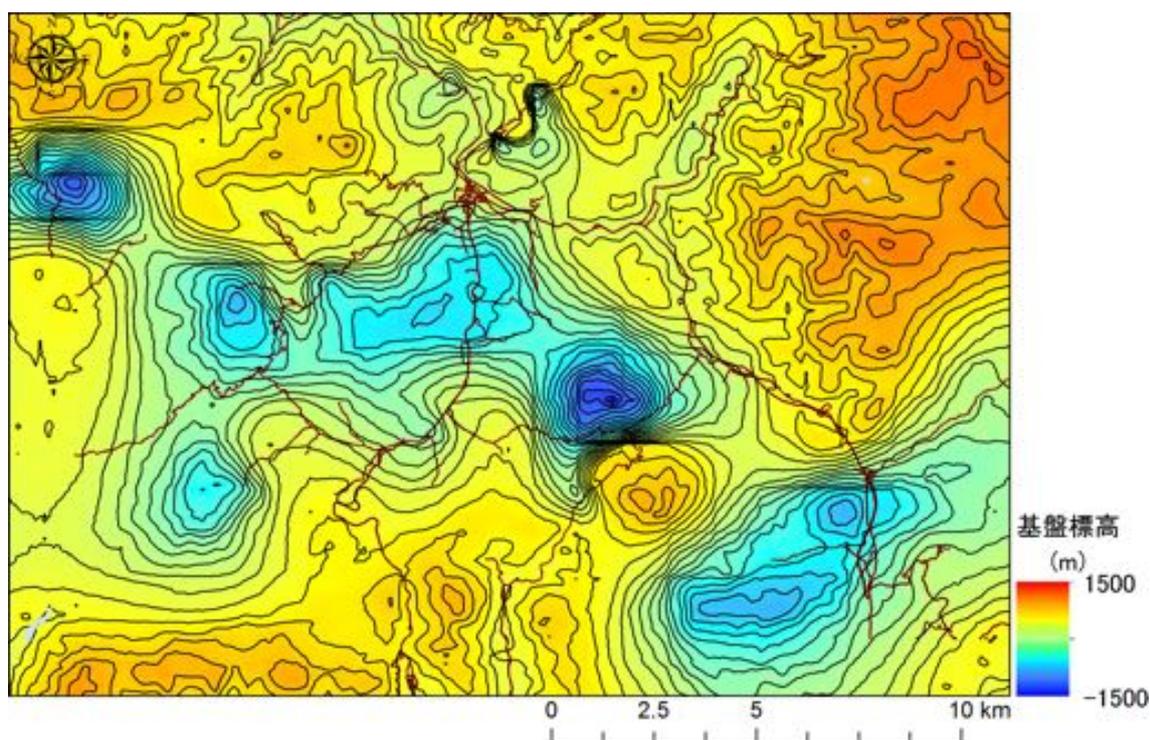


図8 重力解析による基盤標高分布図

3.1 観測および解析

重力観測にはラコスト・ロンバーグ重力計 (G-1034)、観測点の測量には VRS-GPS もしくはディファレンシャル GPS を使用し、76 点の観測を実施した。今回観測したデータと重力データベース^{4,5)} から解析範囲を切り出したデータを含めて解析を行った。各種補正を施した後、地下構造解析に必要なブーゲー (重力) 異常を求めた。

重力異常分布は、高異常域が三郡変成岩、低異常域が花崗岩地域と位置が対応しており、このことを踏まえ、両地域が分布する地点で密度推定を行った。その結果、花崗岩が 2.58g/cm^3 、三郡変成岩が 2.72g/cm^3 と推定できた。そこで、三郡変成岩を基盤とみなし、表層の密度を 2.58g/cm^3 、基盤の密度を 2.72g/cm^3 の 2 層モデルを仮定して 2 次元および 3 次元基盤構造解析⁶⁾ を行った。なお、2 次元解析では断面の両端に基盤が露頭するように拘束条件を与えている。また、3 次元構造解析では 50~3000m のバンドパスフィルタ処理を施し、2 次元解析による基盤露頭点の 6 点を拘束点として与えた。

3.2 重力探査の結果

2 次元および 3 次元解析の結果として基盤断面図 (図 8) を示す。図より 8 地表標高に応じて基盤が深くなっており、山体が低密度であることを示している。3 次元解析の結果として基盤標高分布 (図 9) を示す (図 8 の断面位置も示す)。図 9 より、すり鉢状の基盤の落ち込みが随所で見られ、これらの地域は花崗岩が分布する地域に対応していることから、花崗岩の山体の地層の厚さに対応していると考えられる。微動探査では数 m~20m 程度の堆積層、重力探査ではその下位の基盤岩層の構造を反映した推定結果となっている。

4. 民泊家屋の振動特性

民泊家屋 25 戸について、GPL6A3P を 2 台用いて地盤上と家屋の 1 階か 2 階の床上で建屋方向に水平動を合わせて微動の同時観測を実施した。解析としては、地盤上 HG・床上 HF の短辺・長辺方向の水

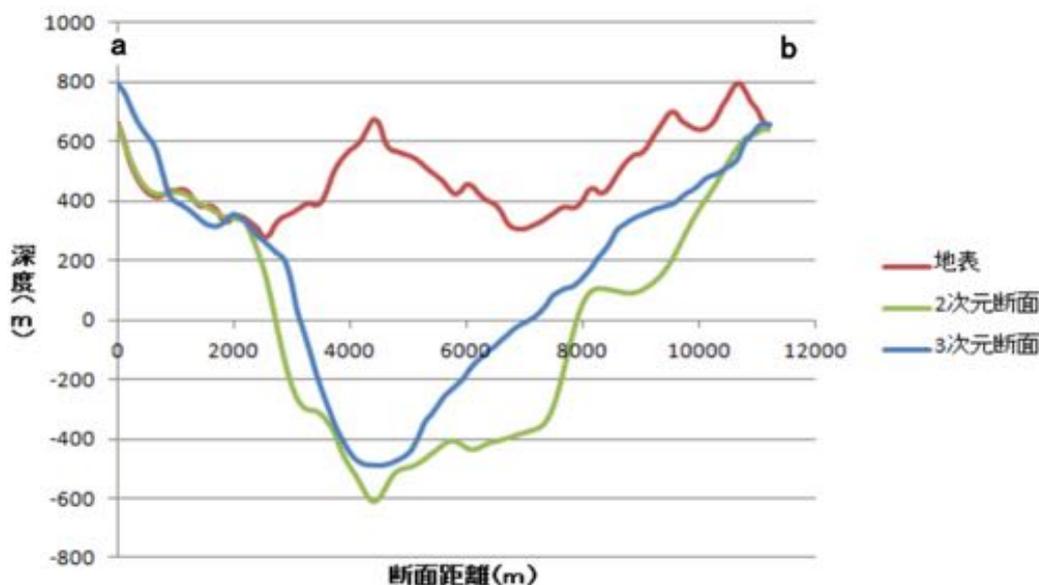


図9 重力解析による基盤断面図

平動のスペクトル比 (HF/ HG) を求め、ピークの卓越周期とその倍率を調べた (表1)。HF/ HG の卓越周期は 0.04~0.37 秒であり、短辺方向と長辺方向で差異がある家屋がいくつかあるが、おおむね方向での差はみられなかった。ピークの倍率については、20 以上 (黄色セル) となる地点が半数に及ぶことがわかった。地盤上の H/V の卓越周期に近い値を示す地点が数点 (赤字) あり、これらの地点では地震時に共振する可能性が高いと考えられる。

表1 民泊家屋の HF/ HG の卓越周期

観測点 No.	短辺方向		長辺方向		地盤 卓越周期 (s)	観測点 No.	短辺方向		長辺方向		地盤 卓越周期 (s)
	卓越周期 (s)	倍率	卓越周期 (s)	倍率			卓越周期 (s)	倍率	卓越周期 (s)	倍率	
1	0.25	45	0.25	30	0.07	14	0.20	18	0.09	18	0.05
2	0.23	10	0.27	11	0.06	15	0.21	5	0.10	3	0.11
3	0.19	29	0.19	19	0.07	16	0.20	24	0.23	18	0.09
4	0.03	11	0.02	12	0.13	17	0.08	15	0.24	7	0.04
5	0.21	38	0.22	52	0.14	18	0.15	5	0.16	6	0.04
6	0.37	68	0.26	44	0.11	19	0.26	15	0.26	10	0.13
7	0.24	67	0.29	67	0.04	20	0.03	2	0.03	2	0.08
8	0.04	11	0.16	19	0.24	21	0.24	23	0.25	16	0.12
9	0.24	34	0.24	51	0.27	22	0.24	10	0.24	6	0.14
10	0.26	7	0.23	9	0.03	23	0.32	38	0.32	22	0.18
11	0.22	20	0.22	12	0.07	24	0.23	17	0.26	9	0.16
12	0.30	9	0.25	6	0.05	25	0.30	40	0.31	52	0.21
13	0.31	75	0.28	35	0.16						

5. まとめ

- 1) 微動 H/V の卓越周期は最大で 0.3 秒 (層厚に換算して最大で約 20m) で市街地、山間部の西側で長く、山間部の東側では短くなる傾向が見られた。
- 2) 微動アレイ観測を実施した 8 地点で S 波速度構造モデルを推定した。堆積層の S 波速度は 240~400m/s であり、その層厚は約 3~20m であった。

- 3) 重力解析により 2 層モデルによる密度構造を推定した。すり鉢状の基盤の落ち込みがみられ、これらは花崗岩の山体の厚さを示していると考えられる。
- 4) 民泊家屋での微動観測により、民泊家屋の固有周期は 0.1~0.3s であり、建屋の方向による差は小さかった。また数地点で地盤の卓越周期に近く地震時に共振する可能性が示唆された。

参考文献

1. Aki, K. : Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull.Earthq.Res.Inst. 35, pp.415-456, 1957.
2. Cho, I., T. Tada and Y. Shinozaki : Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, J.Geophys.Res., 111, B09315, 2006.
3. Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki : Beyond the SPAC method: exploiting the wealth of circular-array methods for microtremor exploration, Bull.Seism.Soc.Am., 97, pp.2080-2095, 2007.
4. 駒澤正夫 : 日本重力異常グリッドデータベース, 日本重力 CD-ROM 第 2 版, 数値地質図 P-2, 地質調査総合センター, 2002.
5. The Gravity Research Group in Southwest Japan: Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM), Bull.Nagoya University Museum, Special Rept. , No.9, 2001.
6. Komazawa, M. : Gravimetric Analysis of Volcano and its Interpretation, J.Geod.Soc.Japan, Vol.41-1, 17-45, 1995.

熊本地震をふまえた大学の事業継続対策のあり方と 地区防災計画制度

香川大学 四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構
地域強靱化研究センター
磯打 千雅子

Business Continuity Plan (BCP) of Universities for Large-Scale Disaster and Community Disaster Management Plan

Chikako Isouchi

Institute of Education, Research and Regional Cooperation for Crisis Management Shikoku,
Kagawa University

abstract

For emergency responses, it is necessary to prioritize the community response by strategically coordinating between local organizations and citizens. It is necessary to establish a Community Disaster Management Plan, with the presumption that the entire region prioritizes the community continuity and the plan needs to be formulated ahead of time. In this study, a necessity of CDMP between Universities and citizens in the event of a large-scale disaster is provided.

1. はじめに

近年、社会システムを構成する様々な事業者のおかれている環境は、多様なニーズへの対応や高効率、スピード・低コスト重視サービスへの過度な偏りに加えて、不安定な経済環境により、考慮するリスクは様々存在する。

さらに、益々進展する高齢化や少子化、過疎化により、買い物困難者や移動困難者といった、従来の社会システムでは日常生活を安定的におくることが難しい要配慮者層へ、途絶えることなくサービスを提供しつづける必要があるなど、企業等事業者や公的機関に対する社会的責任のあり方も変化している。

事業者の事業継続は、このように変化する社会ニーズへの対応が求められていると同時に、災害等の予期せぬ事態への備えも欠かせない。わが国においては、記録的な大雨等による豪雨災害や洪水被害に加えて突発的で甚大な被害が発生する地震災害、火山災害などに備えることは、社会のニーズに対する供給責任を果たすために重要である。

例えば 2011 年に関東・東北地方を中心に甚大な被害が発生した東日本大震災のように、大規模で広域的な災害で被害を受けても途絶えることなく事業者が事業継続しつづけるためには、被害を前提とした事前対策の実施と事後の事業復旧計画立案が必要である。この手法は「事業継続計画 (BCP: Business Continuity Plan)」と呼ばれ、2005 年に内閣府が「事業継続ガイドライン」を公表して以降、中小企業庁や経済産業省、各種業界団体が計画策定普及を目的とした支援策を実施している。

災害による被害が個々の事業体に与える事業継続上のインパクトは大きい。2011 年に発生した東日本大震災における企業を例に見ても、直接的被害を受けていない被災地外の全国の企業に影響が及び、震災関連倒産は 5 年間で 1,898 件 (内、四国地方は 23 件) と判明している (帝国データバンク調べ)。

一方、2016 年 4 月に発生した熊本地震では、熊本・大分地方を中心に甚大な被害が発生した。この災害は、直下型で 2 度の大きな揺れにより建物倒壊などの甚大な被害が発生したもので、被災地内に拠点

を有する事業体は建屋や設備が壊滅的な影響を受け、さらには代替性のないサプライチェーンの途絶による経済的な影響が全国に及んだ。香川県においても、直接的・間接的にでも約 25 %の企業が「悪影響があった」と回答している。

熊本地震のような直下型地震は、日本国内であればいつ、どこで発生してもおかしくはなく、筆者が研究拠点とする香川県においても長尾断層や中央構造線による被害が想定されている。特に四国地方における防災対策は、海溝型の南海トラフ地震を想定したものに偏重しており、現在の状態で四国地方に直下型の地震災害が発生すれば甚大な被害が想定される。

加えて、現在の日本における BCP は、地震や水害等の原因事象を中心とした計画策定が主流となっており、あらゆる危機に適応可能な対応行動がとれる状態にあるとはいえない。原因は、広い国土において災害の素因としての自然的・気象的特性が異なること、原因事象にとらわれ、被害による機能停止を前提に結果事象を出発点とした教訓の体系化・共有化がなされていないことが挙げられる。

このような状況で、かつ社会システムが複雑化の一途をたどっている昨今において、今後発生 of 切迫性が懸念されている海溝型の南海トラフ巨大地震、直下型の首都直下地震等の災害に対しては、最小限の被害で早期復興を成し遂げることは困難を極めると同時に、国力を減退させ新たな社会課題を産み出す要因になることは避けられない。現在発生が懸念されている南海トラフを震源とする地震では、被害が広域かつ甚大におよぶことから、大学等の教育研究機関が緊急時における学術的な情報発信、学生・教職員の安否確認をはじめ、地域住民の避難受け入れ等、地域社会から求められる役割は大きい。筆者らの調査では、熊本地震においても被災地内の大学機関に教育研究継続上の支障が生じた。

本稿では、東日本大震災や熊本地震等の既往災害による大学の被害をふまえて、地域強靱化に資する大学の教育研究継続対応のあり方を考察した。

その結果、大学が自組織の事業継続力を向上させる取組みの過程で、所在する地域の機能維持に関する連携を前提とした戦略的な計画である地域継続計画 (DCP: District Continuity Plan) *1) を念頭に、地域と連携した活動を取り込むことが活動の継続性や実効性を重視する BCMS (事業継続マネジメントシステム: Business Continuity Management System) の観点でも有益であることがわかった。

本稿では、地域組織の一員としての大学の事業継続の取組みが地区防災計画制度を活用することにより、地域強靱化に資するものとなることを結論付けている。

2. 大学法人が地域機能の継続に果たす役割

本章では、地域機能継続の観点から DCP の必要性について述べるとともに、地域で期待される大学法人の役割について述べる。

2.1 地域機能の継続に必要な目標と限界の共有

著者らは建物や設備、人員が被害にあっても組織活動を中断せず、機能し続ける組織づくりの手法として事業継続計画 (BCP) の概念に基づく人材育成と計画策定を支援する情報システムの開発と実践を行ってきた *2)。さらに、地域社会の復旧・復興は、個者のみが生き残ったとしても意味をなさないことから、地域組織が事前に合意形成を図って対応の優先順位を付した被害軽減方針を決定し、発災直後から各組織が連携して戦略的に地域の重要機能を維持する地域継続計画 (DCP) 策定の実践研究を行っている 3,4)。

DCP 策定にあたっては、そのアウトプットである計画文書もさることながら、取り組むプロセスにおいて個者のみで対応する限界を認識し、その上で取り組む目標を地域の創意として創造する過程が重要である (図 1 参照)。

DCP と BCP は、個者にとっても地域機能にとっても、その関係性は両輪である。

個者の観点では、BCP 策定後、取組みの継続性や実効性の担保を目指した運用を目的とする BCMS を個者の操業文化として根付かせるためには DCP を共通目標とした地域との連携が欠かせない。本稿

の主題である大学法人においても、地域から様々な役割が期待されており BCP の取組みとともに DCP を共通目標とした地域との連携が必須である。地域の観点では、地域機能を発現するにあたって多様な組織が複雑に関わり合っている昨今の社会システムが、災害等の危機事象に直面しても変わらずその機能を維持しつづけるためには、個々の BCP 実現が大前提である。

2.2 地域における大学法人の役割

大学法人は、教育・研究を通して社会の正常な活動を支える一つの機構として、その社会的役割（卒業/修了，入試/入学，研究開発/共同研究等の業務の実施）が期待されている。国立大学を例にあげると、一般社団法人国立大学協会は、「国立大学の将来ビジョンに関するアクションプラン」

6)において、その使命と役割を次のように述べている。記述では、高度な高等教育の提供による教育の機会均等，地域における人材育成，地域の社会・経済・産業・文化・医療・福祉の拠点を挙げている。具体的な裏づけとして、全国 86 の国立大学法人に通学する学生の内，6 割以上が三大都市圏以外の地域に所在する大学に在籍していること 7)，76.4 % の国立大学法人が地域人材の養成を行っていること，などからも大学の地域における役割は大きい。

文部科学省は、国立大学改革プラン（平成 25 年 11 月）において、各大学の機能強化の方向性を 1) 世界最高の教育研究の展開拠点，2) 全国的な教育研究拠点，3) 地域活性化の中核的拠点，として掲げており，教育研究に加えて地域における多様な役割が期待されている。

このような地域機能を有している大学法人が災害等により被害を受けた場合も，機能を喪失することなく事業を継続させるためには，BCP の策定が必要であり DCP を共通目標とした地域との連携が必要であることは言うまでもない。

3 大学法人の事業継続対策の現状と課題

大学は，教育研究事業を中心とした事業体であるが，企業等と比較して組織運営方法は大きく異なる。加えて，大学病院，各種研究所，大学内ベンチャー企業等の事業体を有している場合もあり，ガバナンス面での統治は容易ではないことが推察される。このように大人数で一様ではない事業体が，事業継続上の危機を想定し，そのための備えとして BCM に取り組む場合には様々な課題が想定される。

以降には，既往災害における大学の被害と対応事例から大学法人の事業継続対策の現状と課題を述べる。

3.1 既往災害における大学の被害と対応

(1) 事業継続上の支障状況

表-1 は，東日本大震災における大学の被害状況と事業支障をまとめたものである。被害は，死者（学外での津波被災）を伴う人的被害に加えて，建物施設や高度研究設備，貴重な研究試料の喪失など，教育研究の継続に甚大な影響があった。

a) 大学運営重要業務への支障

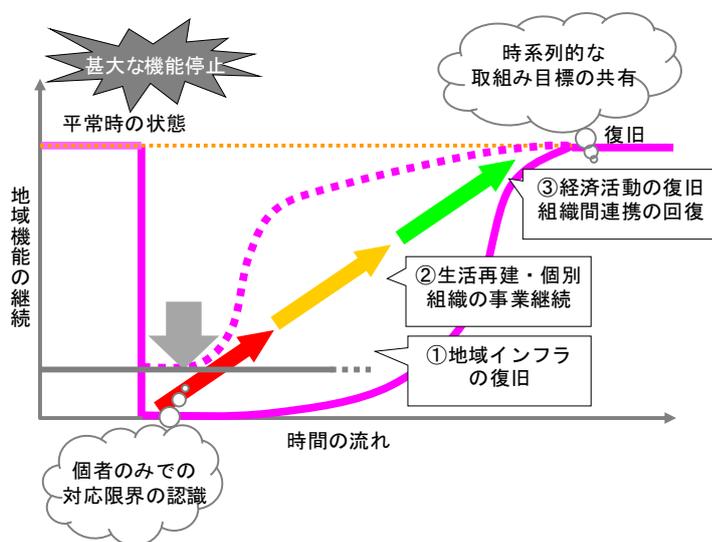


図1 DCP 策定プロセスの要諦 5) を改変

発災が入試時期であったことから、後期日程試験の中止と代替措置の決定、卒業式、学位授与式、入学式の中止・延期、授業開始日程の調整等、短期間に大学運営の重要業務で、かつ止められない業務に対する代替対応が必要となった。

b) 学生の安否確認、緊急措置

停電、建物への入室禁止等により学生情報が入手できず、安否確認・安否情報連絡に支障を来した。岩手大学は、安否確認に2ヶ月を要した。特に留学生の安否確認は困難を極め、国外退去と帰国対応に追われた。発災当初学内にとどまった留学生の中には、食習慣の違いから支援物資のおにぎり等をほとんど受け付けられないなどの課題があった。

筑波大学では、東京地区の附属学校児童・生徒に対する帰宅困難対応が余儀なくされた。

表1 東日本大震災における大学の被害と事業継続上の支障状況⁹⁾を元に作成

被害	岩手大学	東北大学	福島大学	筑波大学
直接被害 (施設・設備)	<ul style="list-style-type: none"> ・建物・設備 7,700 万円 (軽微) ・図書館図書散乱、高速クロマトグラフ落下 	<ul style="list-style-type: none"> ・建物被害：危険 28 棟 (4.7%)、要注意 48 棟、建替・改修等で概算 448 億円の損害 ・研究機器被害：概算 352 億円。 ・建物被害は青葉山キャンパスに集中、付属病院など免震構造の建物にはほとんど被害なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ・建物被害：要注意 10 棟など。 ・被害額：建物約 7,000 万円、設備約 2,300 万円。 	<ul style="list-style-type: none"> ・建物被害：要注意 5 棟 (全て筑波キャンパス、総合体育館など) 約 46 億円。 ・設備被害：概算 22 億円 (ペレットロンタンデム加速器、超高磁場 NMR 分光計、HPLC 検出器、自動細胞解析分離装置など)
直接被害 (人的)	<ul style="list-style-type: none"> ・学生 1 名死亡 (帰省中に津波被災) ・被災学生 296 名 (家族が死亡、実家が全半壊等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・学生 2 名、入学予定者 1 名死亡 (学外での津波被災)、学生 14 名負傷。 ・被災学生・教職員：家族の死亡、住居全壊、半壊等多数。 	<ul style="list-style-type: none"> ・教職員・学生の被害はなし。 ・被災学生：家族の死亡、実家が全半壊、原発避難など 240 名。 	<ul style="list-style-type: none"> ・被災学生：家屋の全半壊、床上浸水、原発避難など 81 名。
大学運営 重要業務 への支障	<ul style="list-style-type: none"> ・被災地域居住者への入学手続き書類の発送先を1名づつ電話で確認。 ・3/23 卒業式中止。学部ごとに学位授与式実施。 ・後期入試中止、センター試験で代替。 	<ul style="list-style-type: none"> ・被災状況把握・本部の指示伝達は職員が徒歩・自転車でもつのキャンパスを回った。 ・停電により生物系の研究室で多くの貴重な細胞、試料が喪失。 ・付属病院は自家発電で稼働。 ・後期日程試験延長、センター試験で代替。入学手続き締切延期。 ・学位授与式中止。 ・入学式 5/6 に変更 (部局単位で実施) 	<ul style="list-style-type: none"> ・後期入試中止、センター試験で代替。 ・卒業式中止。学位記・卒業証明書は郵送。 ・4 月以降のほとんどの作業が放射線対応 ・授業再開 5/12 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 の対策本部で後期入試延期、NHK を通じて広報。その後中止、センター試験で代替。 ・3/18 卒業式、学位授与式の中止を決定。 ・4/7~ガイダンス、オリエンテーションは予定通り。 ・4/20 入学式は陸上競技場で実施。
学生の安 否確認、 緊急措置	<ul style="list-style-type: none"> ・発災当日、下見に来ていた受験生がどのような状況だったかわからず。 ・全学生の安否確認は 5/17 までかかった。 ・3/11、余震や停電により帰宅できない学生に講義室を開放し、毛布・食料・水を用意。 ・留学生の国外退去と帰国対応。 	<ul style="list-style-type: none"> ・危険建物の入室禁止により学生情報が途絶。安否確認、保護者への学生安否情報発信遅れ。 ・自然発生的に学内避難所 5 箇所に毛布など備蓄品が 1 日で無くなる。 ・学生・教職員の安否確認は 3/30 に終了。 ・留学生の国外退避 (約 1,200 名) と復帰対応。 	<ul style="list-style-type: none"> ・学生寮入寮可能日の変更、キャンパス内の放射線ゲータ公開。 ・留学生が中国大使館のバスを利用し新潟へ避難。 	<ul style="list-style-type: none"> ・留学生 1,101 名が学生宿舍入居中。食習慣の違いから救援のおにぎりの一部をほとんど受け付けられず。 ・3/11 東京地区は多くの児童・生徒が帰宅困難となったため、学校に宿泊。宿泊者に非常食・毛布を配布。
教職員の 就業	<ul style="list-style-type: none"> ・勤務できない職員へ特別休暇。 	<ul style="list-style-type: none"> ・通勤困難職員に学内宿泊施設に無料で宿泊できるように措置。 	<ul style="list-style-type: none"> ・被災職員も多く出勤状況不便。 ・3/11 帰宅困難者の仮宿泊所を設置。 	<ul style="list-style-type: none"> ・幼児等を抱える職員は出勤不要の措置。

c) 教職員の就業困難

公共交通機関の途絶，ガソリン不足から職員の通勤が困難となり，勤務できない職員への特別休暇措置，幼児等を抱える職員への出勤不要措置を行った。

(2) 事業支障に対する対応

表2は，支障に対する対応状況をまとめたものである。人的・物的被害を受けながらも，臨機な対応と代替措置がとられ，大学運営上特に重要な業務である入試，卒・入学式，授業再開がなされた。特に入試に関する代替措置がとられる場合は，周辺他大学がどのような対応を行っているかの情報収集が重要であり，平時の連携の重要性が伺えた。

a) 情報収集・発信，安否確認

自家発電が稼動した大学では，問題なく情報受発信が行えた。大学ホームページも即時にテキストに切り替え，携帯電話で閲覧できるようにしたなどの工夫が見られた。また，学生がツイッターを利用していることから，状況確認や意識調査に利用されている。

b) 物資等

多くの大学で備蓄物資が不足した中で，全国の国立大学から支援物資が到着し，利活用が図られた。大学生協や学生サークルが機動力を活かし，炊き出し等を行ったことにより支援が継続できた事例が見られた。

c) 対応体制

筑波大学では，以前からBCPを策定済みであり，緊急連絡網の整備や危機対策本部の指揮命令系統を定めていた。加えて，3月11日震災直近の3月7日に防災訓練を実施していたことが功を奏した。東北大学では，震災当日は総長不在であったが理事が本部長を代行したことにより情報収集に即座に着手できている。

表2 東日本大震災における大学の事業運営上の支障に対する復旧・代替対応⁹⁾を元に作成

対応種別	内容
情報収集・発信	<ul style="list-style-type: none"> ・震災当初から自家発電を稼動させたため，情報が途絶することなく対応できた。 ・大学からの情報を地元テレビでのテロップ放送，新聞記事へ掲載。 ・HPを携帯電話でも見られるようにテキスト形式に変更。 ・ツイッター対応に職員一人を振り付けて学生の意識調査を実施。 ・学内行事・緊急用として購入していた無線機(30数台)を学内での情報収集に活用。
物資等	<ul style="list-style-type: none"> ・全国の国立大学からの支援物資が到着。 ・大学生協からおにぎりやお菓子を無償提供，学友会サークル学生の炊き出し
学生の安否確認，緊急措置	<ul style="list-style-type: none"> ・1・2年生は22年度に導入した安否確認システムにより電力復旧後70%回答。その他は各部局で電話・メールで確認。連絡がとれない場合は直接アパートに向いた。 ・安否確認ができない留学生は外務省の臨時サービスを利用して外国人登録番号にて出国履歴を確認 ・留学生は大使館の支援を受けて国外避難・復帰
対応体制	<ul style="list-style-type: none"> ・事業継続計画，緊急連絡網，危機対策本部の指揮命令系統を策定していた。 ・直近の3/7に防災訓練を実施していた。 ・3/11に災害対策本部を立上げたが総長不在のため理事が本部長を代行した。
重要業務の継続	<ul style="list-style-type: none"> ・後期入試を中止したため，センター試験で代替した。 ・卒業式を中止したため，学位記・卒業証明書は学長メッセージを同封して郵送した。 ・入学式に代えて「新入生を迎える会」を挙行。
教職員の就業継続	<ul style="list-style-type: none"> ・学内宿泊施設の開放，相乗りによるタクシー通勤の利用許可，自家用車相乗りの推奨，事務体制の見直し・再構築などにより対応した。 ・ガソリン確保のため出退勤時間を柔軟に対応。
放射線	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線量の観測 ・放射線被曝の健康影響講演会，放射線ガイドブック作成・配布，相談窓口開設，学生・教職員貸し出し用線量計配備 ・放射線対策として既設モニタリングポストで常時計測，対策本部に放射線専門家を含む対策WG設置

d) 重要業務の継続

発災が入試時期と重なり、大学業務運営に多大な影響を及ぼしている。後期入試が中止とせざるを得ない状況であり当初延期を決定したが、その後代替措置としてセンター試験の結果で可否の採用を決定している。

また、卒業式も中止となり、学位記・卒業証明書は郵送措置、入学式は「新入生を迎える会」で代替、屋内ではなく屋外の陸上競技場で実施した事例も見られた。

e) 教職員の就業継続

公共交通機関の途絶に加えて、ガソリン燃料が不足し自家用車通勤も困難であったことから、通勤が困難な職員に対して学内宿泊施設の無料開放や相乗りによるタクシー通勤を許可するなど柔軟な対応がなされた。またガソリンを確保するため、出退勤時間を調整するなどの措置がとられた。

f) 放射線

放射線量に関する情報収集・発信がなされた。特に福島大学では、4月以降のほとんどの作業が放射線に関する対応として、講演会やガイドブック作成、相談窓口開設、貸し出し用線量計の配備等に追われた。

(3) 地域の災害対応拠点として大学が機能した事例

東日本大震災では、表-1に掲載した事例に代表されるように、被災地内の多くの大学が避難所として機能した。

岩手県の石巻専修大学は、災害ボランティアの拠点として長期間にわたり開放された。石巻市は津波によって市街地の6割が機能停止に陥ったとされており、石巻専修大学と石巻赤十字病院だけは災害拠点として生き残ったことから、まさに被災中心地における災害対応拠点として機能した¹⁰⁾。その理由は、大学設立が地元自治体の後押しにより開業にいたったこと、被災時の市長は元石巻専修大学教員であったこと、地域環境と学生の状況から当該地が被害を受けることは必然であるとの考えから学生・教職員の避難所を確保する必要があったことなどから、防災協定締結に向けた取り組みが進められていたことによる。

協定には、ボランティア活動拠点用敷地の提供、地域住民への避難所の提供、日赤救護所として体育館の提供、自衛隊の宿营地として多目的グラウンドの提供などであった。

大学構内という環境から、ボランティアや施設利用者の規範が保たれ、支援活動従事者へ良好な活動環境が提供されるという副次的な効果もあった。

大学は、事業体の特徴として情報通信設備の整った多くの堅牢な建物や広大なスペース、人材を有しており、石巻市と石巻専修大学のように、平時から地域との連携を密接なものとするにより地域機能の早期回復に大いに貢献することができた好事例であるといえる。

3.2 大学法人におけるBCP取組み事例と留意点

東北大学では、平成27年度に本部事務機構を中心としたBCP(本部BCP)を策定、計画の維持・改善に取り組むとともに部局におけるBCPの策定支援を行っている¹¹⁾。本部BCPでは、以下を基本方針に、危機事象を想定、危機事象発生時の対応体制、初動対応、活動にあたってのアクションファイル、事前対策の実施計画、BCPの維持・改善(BCM)について計画を文書化している¹²⁾。

1. 学生、教職員をはじめとする本学全構成員及び来訪者の身体・生命の安全確保
2. 重要な教育・研究環境の確保及び維持、早期復旧
3. 貴重な教育・研究情報及び施設設備の保全
4. 周辺地域への支障(二次災害としての火災の発生、有害物質等流出)防止
5. 地域社会との連携・地域社会の支援

計画の具現化にあたり、総合防災訓練等の実施や安否確認システムの整備、緊急地震速報の導入を行っている。香川大学では、大学の事業継続基本方針として以下の5つの目標を掲げている(13)。

1. 学生および教職員の安全を確保する
2. 学生を予定通り卒業・就職させる
3. 学生を予定通りに受け入れる
4. 教育研究水準を確保する
5. 教職員の雇用を確保する

大学の特徴として4つのキャンパスに部局が分散していることから、全学共通のBCPに基づき、キャンパス単位でのBCP策定に取り組んでいる。

計画の文書化は、目標、被害想定、災害時の対応体制、対応拠点・代替拠点の確保、重要業務・非常時優先業務の選定、災害情報の発信・情報共有、人員・資器材、サービスの確保、情報・通信システムの確保、重要情報の管理、大学間連携による広域協力支援体制、地域(住民)への支援で構成されている。

計画策定にあたっては、教育学部、法学部・経済学部、医学部、工学部、農学部、法人本部の教職員で構成される「香川大学事業継続計画(BCP)策定等専門部会」を設置し、グループワークを中心とした検討を重ねた。

グループワークでは、大学業務に対する被害想定の実体イメージの共有、重要業務選定にあたっての客観的な評価基準設定と評価、目標時間の設定を中心に行った。

重要業務選定にあたっては、表-3に示した評価基準に基づき、以下の要素で対応業務に評点し、選定した。

1. 研究活動への影響
2. 大学収入への影響
3. 大学ブランドへの影響
4. 地域教育の影響
5. 社会的責任・信用への影響

計画策定は、まず、工学部キャンパスをモデルに着手し、その結果をもとに他キャンパスへ展開した。これによりキャンパス毎に様々な個別事情はあるものの、結果として計画内容の標準化が図られ、質が担保されることとなった。

現在は、キャンパス単位での訓練を実施し、BCMの高度化に取り組んでいる。

3.3 大学間広域連携体制

大学法人が実施する事業は、一般的なサービス事業者では代替が困難なものもある。具体的には、高度教育の提供と、その結果としての学位、国家資格の授与、それらの根拠となる単位の認定などである。これら事業を大学法人が継続するにあたり、自組織の人員・設備が甚大な被害により機能停止した場合には、代替生産機能として大学間連携による広域協力支援体制が必要である。一例として、中国・四国地区の国立大学(10大学)では、大規模災害時における大学間連携による協力支援体制について協議を行い、平成25年5月に「中国・四国地区の国立大学間連携による高等教育業務継続計画に関する協定書」を締結した(14)。

協定内容は、効率的な支援を行うためにグループ別の支援体制を構築するもので、各グループ内で被災した国立大学に対し支援を行う国立大学をあらかじめ定めたカウンターパート方式をとることとしている。

具体的な体制は、1) 太平洋側において災害等が発生した場合(南海トラフ地震の場合が該当)、2) 瀬戸内海沿岸において災害等が発生した場合、3) 日本海側において災害等が発生した場合において個別に定め、被災地により近い大学から順に1次支援大学~3次支援大学までその役割を設定しており、大学法人以外の他の事業体で代替が困難な重要業務継続のセーフティネットとして有効な取り組みである

といえよう。

3.4 地域機能継続を意識した大学法人 BCP 策定と BCM の必要性

大学法人が社会から求められる役割は多様なものであり、成果はあいまいで達成度ははかりづらい。加えて事業内容は、他の事業体で代替生産が困難な事業が多く、突発的で甚大な災害による被害にあっても、機能停止することなくサービスを提供し続けることが求められる特徴がある。

さらに、所有する設備や人材は、様々な災害活動を担う主体が活動拠点として求める空間と合致しており、必然的に災害対応拠点としての機能も求められる。

このため大学法人の BCP 策定にあたっては、当該法人が意図しない場合においても、災害対応拠点としての機能継続を意識したものとする必要がある。つまりは、大学法人の BCP に地域機能継続を目的とした DCP を地域連携の目標像として取り込み、具体的な対応計画を策定、平時から地域との連携を強く意識した事業運営が必要である。

4 地域強靱化に資する大学の事業継続対応と地区防災計画制度の必要性

前述のとおり、甚大な自然災害が発生した場合は、発災時期、被害態様によって大学事業に多大な影響を及ぼすことは避けられない。加えて大人数の学生と教職員の安全確保は、最大限の対策が求められる。緊急時における地域との連携は、大学が求められる役割を鑑みても BCP において事前に計画し、地域と合意を得ておく協働プロセスが必要である。

以降には、平成 28 年に発生した熊本地震における大学の対応状況から、大学法人の事業継続対応の要諦と大学と地域が連携し地区防災計画に取り組むことの必要性について述べる。

4.1 平成 28 年（2016 年）熊本地震被災地における大学法人の対応と得られた教訓

熊本地震では、熊本県益城町を中心に 4 月 14 日、16 日と 2 度震度 7 の揺れが発生し、死者 110 名に及ぶ甚大な被害となった(14)。著者らは、被災地内の大学法人に対して教育研究継続支援を目的に熊本市内の大学の初動対応状況調査を行った。

調査は、発災から約 2 週間経過した時点での被害状況、初動対応、安否確認、地域との連携について聞き取りを行った。

調査結果に基づき、著者らの所属する香川大学では、1) 被災した学生で香川県へ遠隔避難した学生への香川大学施設利用環境の提供、2) 教職員・学生によるボランティア活動支援、3) 被災地内大学と連携した研究活動支援を実施している。

本稿では、活動に取り組む過程で得られた知見から、地域強靱化に資する大学の事業継続対応について考察する。

(1) 最も優先すべきは 2 次災害の防止と学生・教職員の安否確認

発災直後、最も重要な対応は被害と対応に関する第 1 報をいかに迅速に情報発信できるかである。当時、安否確認システムを整備していた大学はシステムを用いて迅速な対応が図られたが、整備のない大学は別途学生用情報発信システムで代替されたか、教職員が電話や LINE で個別に確認を行った。発災が入学式から間もなかったことから新入生の連絡先を教員が把握し切れていなかったことから、確認完了に時間を有した。

学生のなかには、親元を離れて通学している場合もあり、保護者の心情と社会的注目をふまえると、発災直後に最も優先すべきは安否確認であり、加えて安否確認の“否”の場合の対応は、情報発信手段もふまえて事前に検討しておく必要がある。この対応が遅滞していると社会に認識され、情報発信が適切になされなければ、社会的信用の失墜になりかねない。

安否確認後は、早期に教育研究環境の復旧に努める必要があるが、その場合には教職員に加えて学生

も有力なマンパワーとなる。発災当初から中長期的な対応を想定し、人員配置体制を整える上でも安否確認は優先する必要がある、そのための情報システムや代替手段の整備は最優先対策であろう。

(2) 緊急時に経験と活動意思のある者が活動しやすい環境づくり

大学法人等のヒューマン・サービス組織は、ヒエラルキーを抛り所とした情報伝達や指揮命令がすぐわない。このことから、官僚制システムに比して緊急時における合理的で管理的対応には不向きな組織体であり、スピード感を持った活動の展開は得意としない。

平時から、緊急時の役割分担・指揮命令系統が明確化され、リソースが準備されることが最も望ましいことは言うまでもないが、そうでない場合に備えて、緊急時に経験と活動意思のある者が活動しやすい環境を整えることが必要である。そのためには、大学法人の有する専門知識や能力を有する人材が豊富であり、災害フェーズに応じた必要人材が能力を発揮できるよう、現場への権限移譲を事前に協議しておく必要がある。

例にあげると、被災地内の多くの大学法人では、自治体の避難所として指定の有無にかかわらず、結果として大学施設が避難所として利用された。特に初動段階では、大学の人材・設備は避難所運営といった地域の復旧ニーズから大いに期待されていることから、その運営方法は事前に地域と協議し、役割分担等を明確にしておく必要がある。その場合には、運営フェーズのみならず地域住民への運営移管、本来業務再開に向けた避難所閉鎖といった一連の対応にも目を向ける必要がある。地域からの大学法人に対する期待値が大きければ大きいほど、円滑な対応がなされなかった場合の喪失感は計り知れず、避難所運営で地域における大学存在の意義が問われかねないことに十分に留意する必要がある。

(3) 広報は、学内、地域、社会へ丁寧かつ頻繁に、かつ繰り返し実施

表-1 に掲載した東日本大震災における大学法人の対応状況をふまえても、安否情報や被害情報、講義の中止・延期・再開情報、入試や国家試験等の対応情報については、社会的注目や学生自身の進路に多大な影響を及ぼすことから、発災後順次継続的に様々な媒体で発信し続ける必要がある。

特に情報媒体が多様化している昨今においては、情報発信がなされなければ、何も対応をしていないと受け取られても致し方ないととらえ、緊急時を想定した情報発信手順・項目・ひな形文等を事前準備する必要がある。

また、SNS は情報が一方通行ではなく、相互に情報やり取りできることと、端末の多様さ・操作性の容易さから学生同士や保護者、卒業生等が必要情報のみならず、“想い”をのせることができる媒体であることから、運用を重要視するべきである。

今回の調査結果でも、大学法人の災害対策本部での決定事項を学内の避難所運営に従事する学生に LINE で伝達した事例が見られた。LINE はリアルタイムで多数の媒体に情報を一斉送信可能なことから、多様な利活用が図られている。

(4) 教育研究継続における代替措置中国・四国地区国立大学法人協定書のように、他の事業体で代替できない事業について同業他者に代替生産を依頼する手法は企業の事業継続でも用いられる手法である。特に中小製造業は一般的に経営資源に余裕が無く、代替生産が可能な設備を確保することが難しいため、災害リスクの異なる地域の同業者と連携し事業継続を行う取り組みであり、NPO 法人等が仲介となり「お互い様 BC 連携」として取組みを進めている 15)。

今後、南海トラフ地震や首都直下地震等の甚大な災害発生時における学生の就学継続を担保するにあたっては、3 大都市圏に通学している学生が全体の 4 割に達することから、全国の国立大学法人で被災地内学生が遠隔避難した場合に備えて、避難先の大学で単位の互換認定等が代替可能な措置等の検討が必要であるといえる。

(5) 地域における知の拠点としての機能継続

東日本大震災や熊本地震の事例においても、被災地内の大学施設が避難所として機能しており、災害対応拠点としての役割が地域から期待されていることは言うまでもない。しかしながら、災害時における地域支援は、本業の延長線上で行うことが最も効率的であり¹⁶⁾、他者で代替することができない重要な社会機能となりうる。

大学法人は、平素より地域問題を研究テーマとして取組み、研究成果が蓄積されていることから、被災後も被害状況や復旧・復興に関する研究成果の蓄積の復興計画取組みへの助言が期待される。

加えて、被災当該地の大学法人には、全国や世界から防災・減災研究者が訪れることから、研究者へ現時点における被害情報や復旧・復興情報、地域情報を提供し、知の受援対応が必要となる。東日本大震災以降は、学生の災害ボランティア活動も活発であり、被災地内学生とボランティア学生との交流支援も重要な業務であろう。

4.2 大学の事業継続対応を確実なものとする地区防災計画制度

3.2 項で事例掲載した香川大学は、4キャンパスの内、3キャンパスは自治体の避難所に、医学部は災害拠点病院に、1キャンパスは物流拠点に指定されており、大学の事業継続に加えて地域の復旧機能を継続させる役割が求められている。

その役割を担う大前提として、約1万人の学生・教職員の安否確認を早期に行い、4キャンパスに分散する大学施設(80棟強)を超える建物の応急危険度判定結果を受けて建屋の使用可否を判断し、教育研究環境を復旧させることとなる。これら作業に平行して、施設管理者として3つの避難所運営と1つの物流拠点としての対応、災害拠点病院機能の継続を行いながら、教育研究機関として停止させることができない業務である、休講判断、イベント(入学・卒業)、就職、国家資格手続きも継続させる。

このような緊急時の対応業務をふまえると、発災直後期においては、地域の復旧ニーズに応えるのは相当の準備がなされていなければ限定的にならざるを得ない。

災害時に大学が地域から求められる役割を事前に想定し、所在する地域と緊急時の対応・役割分担について平時より準備や訓練・計画策定活動を協働する場が必要である。

その概念装置として参加型・ボトムアップ型で継続性が重視される地域継続計画(DCP)や地区防災計画制度は有効である。地域との学習・協働プロセスにおいて知の拠点として大学が社会へ研究成果を還元するとともに、学生に実践的な教育環境を提供する。大学法人が地域とともに大学施設の避難所運営ルールや復旧復興対応について地区防災計画策定に取り組むプロセスは、社会的公器としての大学の教育研究継続対応に加えて、地域価値の向上につながり、地域強靱化に資する新たな大学の地域機能であると考えている。

脚註

*1) 香川大学では、四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構が事務局となり、四国東南海・南海地震対策戦略会議の構成員を母体とした国・県・市町の行政機関、ライフライン企業、商工会議所、経済同友会、建設業協会が構成する香川地域継続検討協議会を平成24年に設立。協議会では、四国地方が南海トラフ地震による被害から早期に復旧・復興するための拠点として香川地域の機能継続を重要視しており、各機関が既に策定しているBCPについてもDCPの視点から見直し・改善を図るとともに、BCPの策定が遅れている機関・組織のBCPの策定支援の役割を担っている。

*2) 地区防災計画制度：平成25年の災害対策基本法改正において共助に関する規定が多く盛り込まれた。特に地域コミュニティの住民および事業者によるボトムアップ型の自発的な防災活動に関する計画である「地区防災計画制度」が新たに創設され、平成26年4月から施行されている。制度は、災害対策法制の分野で初めて計画提案の仕組みを採用しており、住民や事業者は市町村防災会議に対して地区の特性に応じて地区防災計画を定めることを提案できる。

参考文献

1. 磯打千雅子・白木渡・岩原廣彦・井面仁志・高橋 亨輔：大規模災害時における地域の機能支障に対する社会的許容限界と地域継続計画(DCP)策定指針，土木学会論文集F6(安全問題)，土木学会，Vol. 69(2013)

No. 2pp.1.31-1.36.

2. 磯打千雅子・真野昂平・白木渡・井面仁志：建設業の事業継続計画（BCP）策定支援による地域継続力向上方策の提案，土木学会論文集 F6（安全問題），土木学会，Vol.67，No.2，pp.1.59-1.64，2011.
3. 磯打千雅子・白木渡・岩原廣彦・井面仁志・高橋 亨輔：大規模災害時における地域の機能支障に対する社会的許容限界と地域継続計画（DCP）策定指針，土木学会論文集 F6（安全問題），土木学会，Vol. 69（2013）No. 2 p. 1.31-1.36 .
4. 磯打千雅子・白木渡・岩原廣彦・井面仁志・高橋 亨輔：大規模水災害に対する地域継続計画（DCP）のあり方と地区防災計画制度の活用，土木学会論文集 F6（安全問題）Vol. 70（2014）No. 2 p. 1.31-1.36.
5. 磯打千雅子：土器川流域における気候変動に適応した強靱な社会づくり D C P（地域継続計画）策定プロセスにみる多様な地区防災計画展開の可能性—地域継続計画 DCP と地区防災計画の関係に着目して—，地区防災計画学会誌第 5 号，pp17-29，2016.
6. 一般社団法人国立大学協会：国立大学の将来ビジョンに関するアクションプラン，2015.9.
7. 文部科学省高等教育局国立大学法人支援課：国立大学法人について，国立大学法人評価委員会総会（第 32 回）参考資料，2010.1.
8. 一般社団法人国立大学協会：国立大学法人基礎資料集，2016.10.
9. 一般社団法人国立大学協会：東日本大震災と大学の危機管理，2011.12.
10. 中原一步：奇跡の災害ボランティア「石巻モデル」，朝日新聞出版，2011.
11. 東北大学災害対策推進室：災害対策・本部 BCP について，
<http://www.bureau.tohoku.ac.jp/somu/saigaitaisaku/index2.html>（2017.2.1 閲覧）
12. 国立大学法人東北大学本部事務機構防災・業務継続計画（略称：本部 BCP），2016.6.
13. 国立大学法人香川大学：香川大学事業継続計画（BCP），2016.3.
14. 内閣府防災担当：熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について，2016.10.14 現在.
15. NPO 法人事業継続推進機構：BCAO アワード，http://www.bcao.org/work/04_2006.html（2017.2.1 確認）
16. 鍵屋一・磯打千雅子：事業継続計画（BCP）における地域貢献・連携の研究. 第 25 回（2009 年度秋季）地域安全学会梗概集（2009），pp61-64.

熊本地震による熊本市観光業の経済的被害について

立命館大学 歴史都市防災研究所 崔 明姫

Economic Impacts on Kumamoto-shi Tourism Industry by Kumamoto Earthquake

Mingji Cui

(Institute of Disaster Mitigation for Urban Cultural Heritage, Ritsumeikan University)

abstract

The Kumamoto Earthquakes struck Kumamoto Prefecture in April 2016, which are including two large earthquakes: a foreshock earthquake with a magnitude 6.2, epicenter depth 11km at 21:26 JST on April 14 and a mainshock earthquake with a magnitude 7.0, epicenter depth 10km at 01:25 JST on April 16. Kumamoto area suffered serious damage by the two earthquakes and it caused at least 50 victims and 3,000 injured people. In the earthquakes, the Kumamoto Castle which is the symbol of Kumamoto Prefecture has also heavily collapsed and Kumamoto City Zoological and Botanical Gardens damaged by quake. All these kinds of damage caused decreasing of tourist visiting to Kumamoto, and serious economic impacts on tourism industry. The government plans to support revival of tourism and published online special discount coupons for traveling Kyushu area, which is called as Kyushu Fokko-wari in Japanese. Considering such damage and recovery situation, this study aims to evaluate economic damage of tourism industry. It focuses on the two principle tourist sites in Kumamoto City: Kumamoto Castel and Kumamoto City Zoological and Botanical Gardens, which are also main disaster struck sites of Kumamoto City, reports the damage of tourism industry in Kumamoto-shi and evaluates the economic loss of tourism industry and impacts to regional economy using Input-Output analysis.

1. はじめに

近年、世界各地で大規模な自然災害が頻発し、世界遺産観光地の被害など観光都市・地域の被害事例が多く見られる。特に、東日本大震災・原子力発電所事故などの事例から見られるように、観光業は、自然災害や社会経済環境により影響されやすい産業であり、その影響要因は文化遺産など観光資源への直接被害（視覚的要因）のみならず、風評や地域のイメージダウンなどの間接的被害（非視覚的要因）によるものも多く見られる。これらの影響要因が地域経済にどう影響するかを定量的に評価し、視覚的且つ直観的データとして提供することは、様々な災害リスクに対して適切な被害軽減対策を実施し、限られた予算を効果的に活用するための重要な評価軸となる。

筆者のこれまでの研究では、中国の都江堰市（2008年中国ブン川地震）^[1]、タイのアユタヤ（2011年タイ大洪水）^[2]、日本の京都（1986年寺院の拝観停止事件、1995年阪神淡路大震災、2009年新型インフルエンザ、2011年東日本大震災）^{[3][4]}などを事例として、自然災害およびその他外部要因による観光業への経済的被害を定量的に分析し、事例間の比較分析により、異なるリスクにおける観光客減少の特徴、観光消費の変化、地域経済への影響がどう異なるかを考察した。これらの事例研究により、観光資

源や宿泊施設、交通インフラなど、ストックの被害規模が大きく、修復にかかる時間が長いほど、観光客数の落ち込みが深刻であり、風評被害も広範囲に広がることが確認された。

これまでの研究を踏まえ、本研究では 2016 年に発生した熊本地震による熊本市の観光業の経済的被害を早期把握することを目的とし、熊本市の主な観光地でありながら、甚大な被害を受けた熊本城と熊本市動植物園を中心の観光業の被害を報告するとともに、両観光地の観光客数の減少が地域経済にどのような影響をもたらすかを定量分析する。具体的には、まず、熊本地震による熊本市の観光業の被害を、現地調査や公表された情報に基づいて整理する。また、姫路城の修復工事の事例と参考に、熊本城の被害による観光客数の落ち込みおよび回復までのプロセスを予測し、熊本市動植物園が 1 年間休業する場合の観光客数の減少を予測する。さらに、それに基づいて観光客数の減少による観光消費額の減少ならびに地域経済に与える影響を、産業連関分析を用いて推計を試みる。

2. 熊本地震および観光業被害の概要

2.1. 熊本地震の概要

2016 年 4 月 14 日、日本時刻 21 時 26 分に熊本県熊本地方を震央とするマグニチュード 6.5 の地震が発生し、熊本県益城町で最大震度 7 が観測された。震源の深さは 11km とされている。また、2 日後の 2016 年 4 月 16 日、日本時刻 01 時 25 分に同じく熊本県熊本地方にマグニチュード 7.3、震源の深さ 12km とする地震が発生し、熊本県南阿蘇村と熊本市で最大震度 7 が観測された。気象庁では 14 日に発生した地震を前震、16 日に発生した地震を本震と結論付けている。内閣府非常災害対策本部によると、2016 年 12 月 14 日時点の死者は 161 人（災害による負傷の悪化又は避難生活等における身体的負担による死者を含む）、負傷者数は 2,620 人、全壊建物は 8,360 棟、半壊建物は 32,261 棟と報告されている^[5]。また、熊本地震による経済的被害額（ストックの毀損額）は、熊本県は約 1.8～3.8 兆円、大分県は 0.5～0.8 兆円と発表している^[6]。

2.2 熊本市観光業の被害の概要

図 1 に、前震と本震の震度分布と被災した主な観光地の地理的位置を示す。熊本市内で被害が大きかった熊本城と熊本市動植物園は、両地震とも震度 6 以上の強い揺れに襲われた。

日本三大名城である熊本城では、やぐらの一つの東十八間櫓が完全に倒壊し、飯田丸五階櫓の石垣も

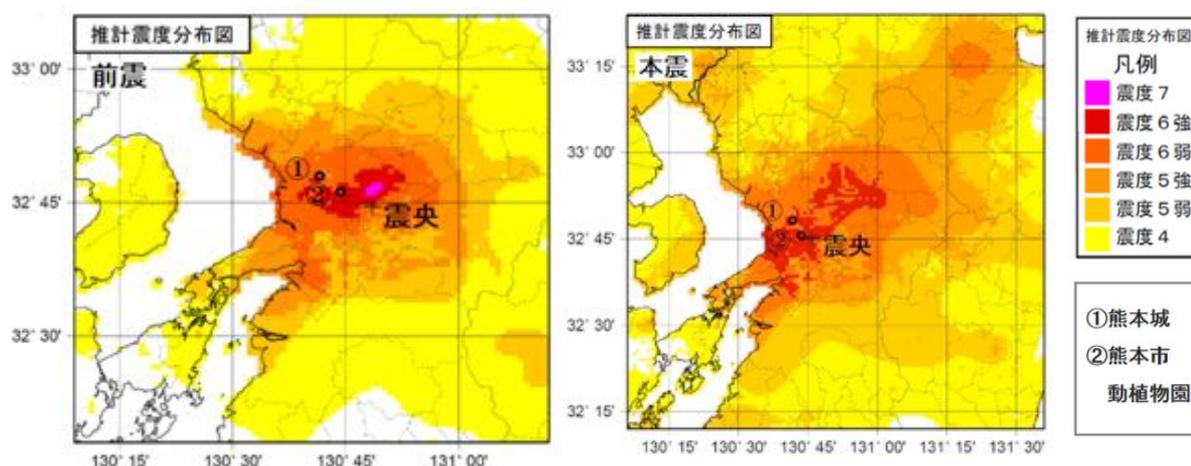


図 1 震度分布および被災した熊本市の主な観光地^[7]



写真1 天守閣の瓦崩落



写真2 熊本城飯田丸五階櫓の石垣の崩壊
(共に2016年5月23日著者撮影)

崩壊した。また、天守閣は瓦が落下し、内部も厳しく崩れている(図2)。熊本城は現在休業中で、二の丸広場など一部立ち入り可能エリアより、石垣や天守閣、宇土櫓等の被害状況を見学することができる。熊本城の修復は20年を要し、全体の修復費用は600億円を超えている。また、天守閣は3年後の2019年に修復を終え、同年に熊本市で開催されるラグビーワールドカップ日本大会の試合と同時に観光客の見学を再開し、復興のシンボルとして取り上げる予定とされている[8]。

また、熊本市動植物園では、子ども列車の駅舎の倒壊や列車の脱線、液状化による獣舎の被害などが生じた。被災したところを修復し、営業を再開するまで1年がかかると報告されている[9]。

2.3 熊本市観光入込客数への影響

図2から図5に観光庁の統計[10]による熊本市国内宿泊客、外国人宿泊客、利用客室数、客室稼働率の月別推移を示す。地震前の2015年度に比べ、国内宿泊客数は、地震発生の4月に40.4%減少したが、5月に35.1%減少、6月に25.3%減少、7月に10.5%減少など回復の傾向が見られた。外国人宿泊者数は4月に8.8%のみ減少したが、5月には90.8%と大幅に減少した。その後6月は74.6%、7月は50.0%、8月は62.2%減少するなど、回復までは長期間かかることが推測される。東日本大震災など過去の事例に見られるように、国内宿泊客数の回復は、災害後のボランティアや復興従事者などの増加によるものと考えられる。また、観光庁によると避難所での生活において特別な配慮を要する高齢者、障害者などを対象として、熊本県内の宿泊施設において宿泊希望の受け入れを実施し、2016年4月18日の時点で

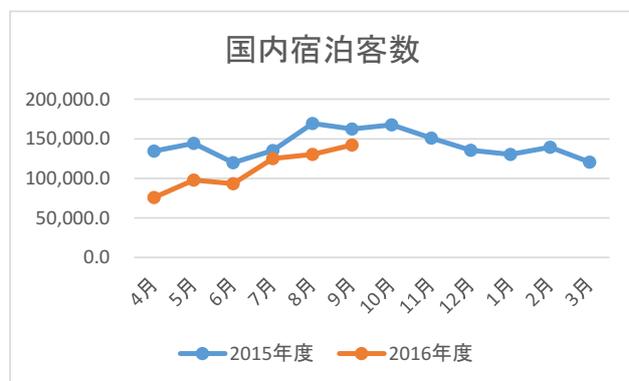


図2 熊本市国内宿泊客の月別推移^[10]

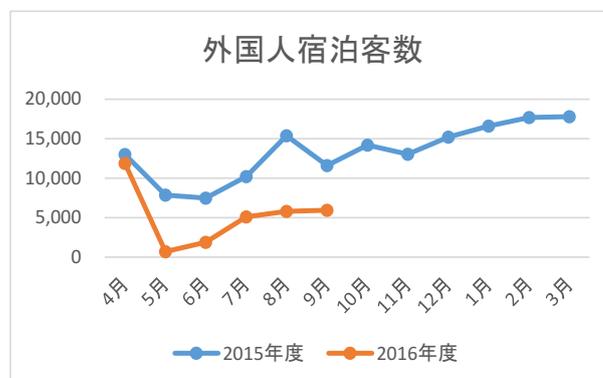
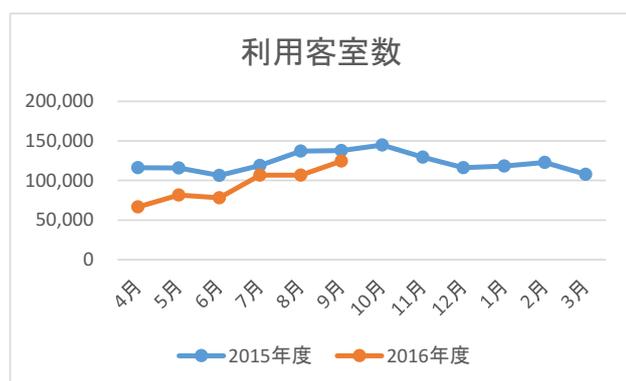
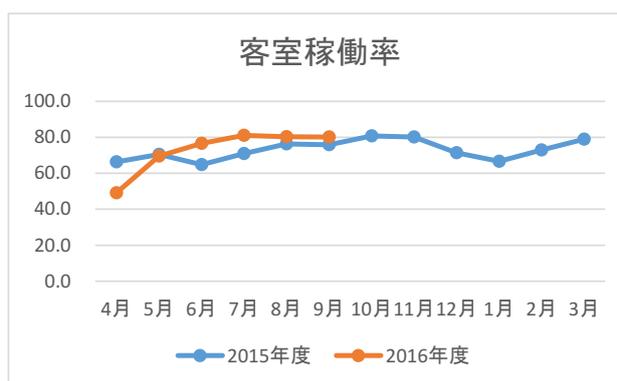


図3 熊本市外国人宿泊客数の月別推移^[10]

図4 熊本市利用客室数の月別推移^[10]図5 熊本市客室稼働率の月別推移^[10]

は1,500人の利用が想定されていた[11]。また、利用客室数と客室稼働率の回復状況を比較してみると、利用客室数は、4月に42.5%減少、5月に29.7%、6月に26.7%、7月には10.3%減少するなど、完全に回復していないものの、客室稼働率は4月の49.2%から5月には69.6%までに回復し、7月からは2015年度の水準を上回る結果となった。このような客室稼働率の上昇は、地震の影響により利用可能な客室数の減少が原因と考えられる。

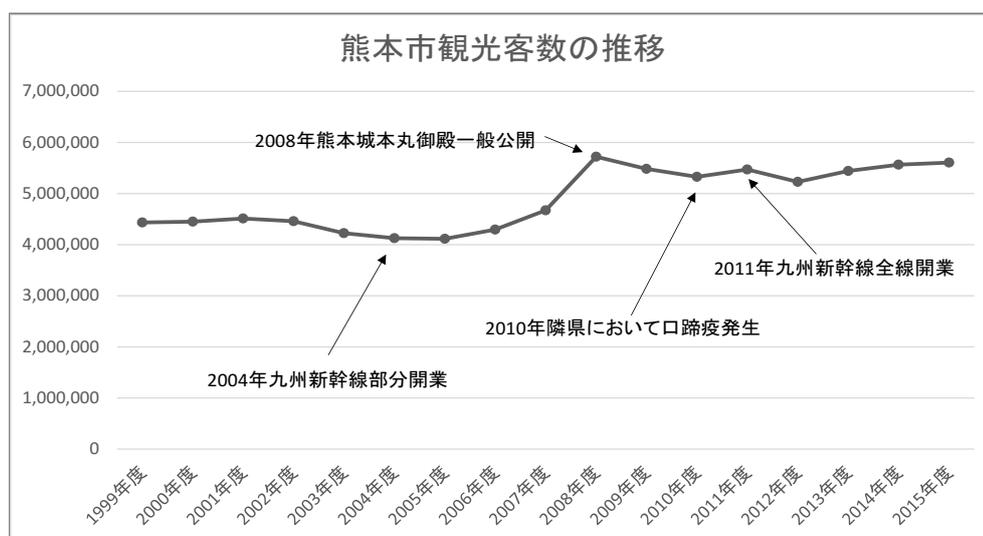
3. 研究の概念整理および被害額の推計方法

これまで観光業の経済的被害の定量分析に関する研究は限られている。豊田による「台風0418号と台風0514号による宮島の経済的被害に関する研究」^[12]があるが、宮島の観光関連産業へ災害後の営業状況に関するアンケート調査を実施し、その結果に基づき観光業の被害額を推計したもので、本研究とは、用いるデータと推計方法が異なる。また、西村らによる「震災が観光入込客数に与える影響に関する定量分析」^[13]では、自己回帰移動モデル(ARMI)を用いて、過去の震災事例を対象に地震が発生しなかった場合の観光客数を予測し、その予測値と実測値の差を観光客数の減少として推計しているが、観光客数の落ち込みや回復までかかる期間の予測については扱われていない。本研究は、熊本市の主な観光地である熊本城と熊本市動植物園の被害状況を把握し、両観光地の被害による観光客数の具体的な落ち込みと回復値を示するとともに、観光業の被害および地域経済に与える影響を産業連関分析により定量分析を行うものである。

3.1. 観光業の被害の概念

著者のこれまでの研究では、観光業の被害をストックの被害とフローの被害に分類した^[1]。ストックの被害は、文化財や景観などの「観光資源の被害」、宿泊施設、飲食店、お土産店などの「観光産業施設の被害」、交通インフラや観光地のライフラインなどの「観光基盤施設の被害」に分類し；フローの被害については、観光客減少による観光消費額の減少を「フローの直接被害」、観光消費額減少が地域経済にもたらす負の影響を「フローの間接被害」とした。

ストックの被害は、災害と同時に発生する直接被害であり、一般的には元の状態に復元するための再調達費用に置き換えることができる。その場合、回復プロセスには時間をかけて徐々に回復するが、被害額は最終的に再調達費用の集計額とする場合が多い。一方で、フローの被害は概念的に、観光活動が、災害が発生しなかった場合の水準に戻るまでの経済損失の和と定義できる。理論上の観光業の経済的被害額は観光ストックの被害と観光フローの被害(直接・間接)の合計となる。

図6 熊本市の観光客数の推移^[14]

本研究では、ストックの被害に対しては公表された情報を報告し、主にフローの被害について推計を行うこととする。

3.2. 基準値の設定

災害が発生しなかった場合と回復時点によって、被害額の試算結果も異なってくる。そこで、災害が発生しなかった場合の観光客数の動向と災害発生後、回復完了したことを示す基準値を設定する必要がある。本研究では、地震が発生しなかった場合の観光客数を想定するため、災害が発生する前の観光客数の推移傾向を調べた。図6に熊本市の過去20年間の観光客数の推移を表す。

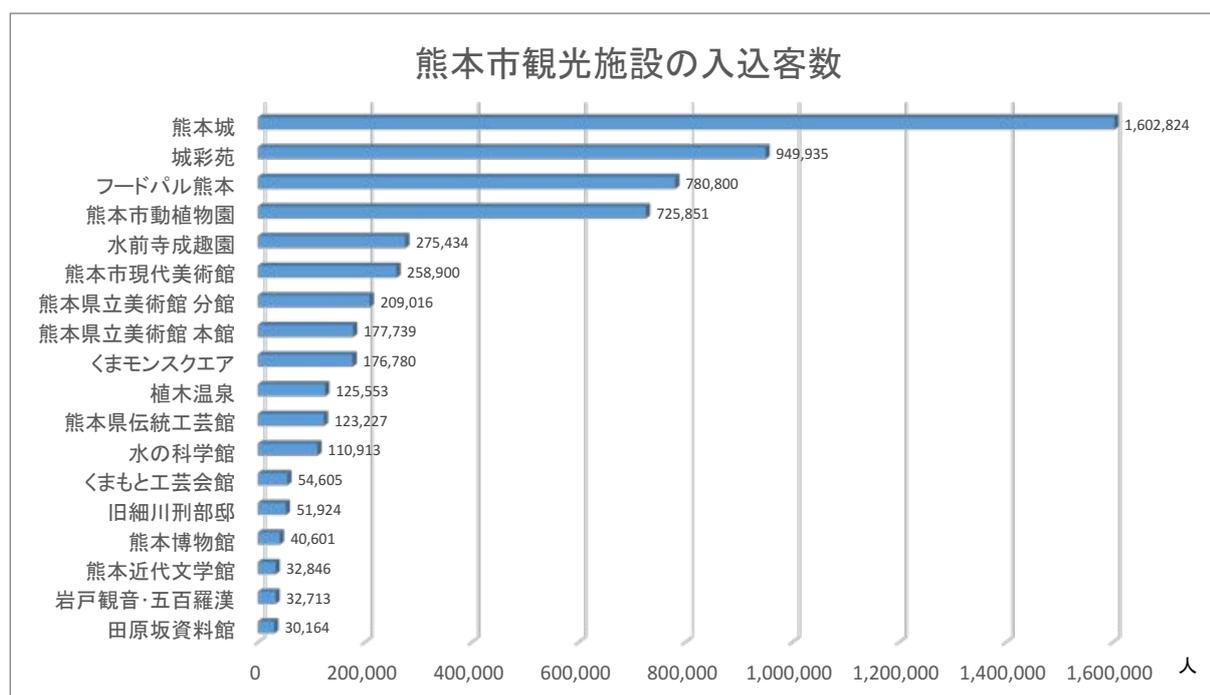
熊本市の観光客数は、1990年代の九州地域の自動車道の開通や、九州新幹線の開通などにより数年間増加傾向であったが、その後は横ばいで推移していた^[14]。その後、熊本城本丸御殿の一般公開を始めた2008年度に467万人から572万人まで増加し、2010年度は口蹄疫の発生により少々減少、2011年は九州新幹線全線開業により増加が見られるが、ほぼ横ばいの傾向を表している。ところで、地震が発生しなかった場合の観光客数を2015年度と同様水準であると設定し、2015年度の観光客数を、回復時期を判断する基準として設定した。

3.3 推計方法について

観光業のフローの被害額を推計するためには、観光客がどれくらい減少し、いつ回復するかを予測しないと行けない。本研究では熊本市を対象とし、熊本市の観光客数の減少による観光消費減少額（フローの直接被害額）と、それが地域経済に与える影響（フローの間接被害額）を、産業連関分析を用いて推計を行うこととする。図2から図5に熊本市の宿泊客数の落ち込みを示しているが、復興需要による宿泊客の増加が含まれている可能性があるため、観光を目的とする来訪者の減少を特定することが難しい。

熊本市の観光客数の減少に影響する主な要因は、観光資源となる熊本城などの観光地の被害、観光客を受け入れるのに必要不可欠な宿泊・飲食施設など観光産業施設の被害と、交通アクセスにかかわる観光基盤施設の被害が挙げられる。ここでは、地域全体のイメージダウンや風評被害などの間接的な影響要因は考慮しないこととする。

図7の熊本市の観光地の入込客数からみられるように、熊本市の主な観光地は、熊本城、城彩苑、フードパル熊本、熊本市動植物園となっている。そのうち、熊本地震により被災した観光地は、熊本城と熊

図 7 2015 年度熊本市の主な観光地の入込客数^[14]

本市動植物園であり、本研究の推計では、2つの観光地の被害による観光客数の減少を対象に観光業の経済的被害の推計を行う。

また、熊本市の観光産業施設の被害については、ガス、水道などの停止により一部の宿泊飲食施設では一時影響停止が生じたが、ライフラインの回復によりすぐ回復したことが、日本交通公社の調査により確認された^[15]。また、図2から図5の宿泊客数の推移から見られるように、地震後復興関連従事者により、宿泊施設の利用が増えているものの、客室稼働率は最大80%になっていることから、まだ観光客を受け入れられる状態であることが分かる。

さらに、交通アクセスの被害については、地震後、九州新幹線が13日後に運行を再開し、道路の被害はほとんど発生しなかった。九州新幹線の運行休止については、短期間であったため観光業への影響を考慮しないこととした。

以上により、熊本城と熊本市動植物園の被害を観光客数に影響する要因として捉え、観光業の経済的被害の推計を行った。

4. 観光業の経済的被害の推計

4.1. 観光客数の減少と回復プロセスの予測

前述のように、地震度の熊本城と熊本市動植物園のそれぞれの観光客数の減少と回復値を予測し、熊本市の全体の観光客数の減少と回復プロセスを推計した。

姫路城の修復事例を適用した熊本城の観光客数の減少

世界遺産にも登録されている姫路城は、姫路市だけでなく、兵庫県の主要観光地として、年間280万人以上（2015年度の実績）の観光客を受け入れている。2009年度から姫路城大天守の保存修理工事を開始し、2014年度に修復完了、2015年度から一般公開を再開した。工事に伴う見学休止により、2010

年度の観光客数は 2009 年度より約 70.7%減少していた。2015 年の再オープンまでの観光客数の減少を図 8 に示す。

ここでは、姫路城の修復に伴う観光客数の減少率を熊本城周辺の観光入込客数の減少に適用した。2016 年度の観光客数は 70.7%減少し、その後の再開までの増加率は、姫路城と同様に前年比平均 24.6%とした。また、前述のように熊本城は、3 年後天守閣の修復を完了し、見学を再開するという事で、観光客数の減少を 3 年間続くと設定し、姫路城の事例と同様に、再開のその年に観光客数が回復することを前提とした。姫路城の事例を適用した熊本城周辺の 3 年間の観光客減少数は、約 402.2 万人と推計された。2015 年度の熊本市の日帰り客と宿泊客の割合を適用した場合、日帰り客の減少は約 213.2 万人で、宿泊客数の減少は約 189.0 万人となる。

熊本市動植物園の観光客数の減少

熊本市動植物園は、1 年後修復を完了し、営業を再開することとし、営業再開後観光客数がすぐに回復されることと設定した。また、動植物園へのほとんどの観光客は周辺地域の日帰り客であることから、観光客数の減少は日帰り客のみであると設定した。1 年間の観光客数の減少は 74.1 万人と見積もられた。

以上の熊本城と熊本市動植物園の観光客数の減少による熊本市の観光客数の減少と回復プロセスは図 9 のようになる。

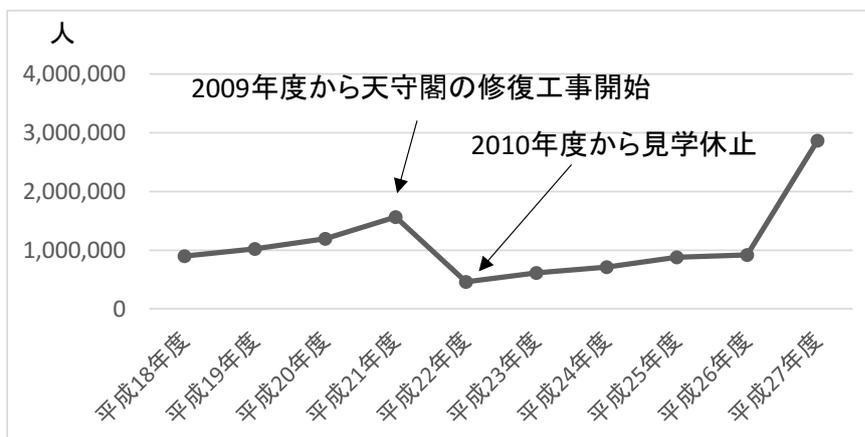


図 8 姫路城周辺の観光客数の推移

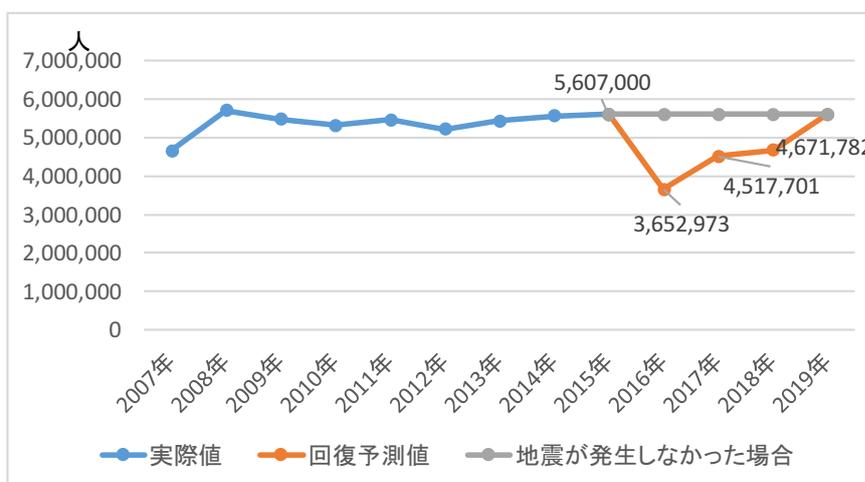


図 9 熊本市の観光客数の減少と回復予測結果

4.2. フローの直接被害額の推計

前節で記述した通り、被害が生じた時点から被害なしの水準に戻る時点までの観光客減少による観光消費額減少をフローの直接被害額とする。本推定では、被害が発生した年度から回復年度までの観光客減少を分析対象にし、各年度の観光消費額と対基準年度の差をフローの直接被害額として推定を行う。

式 (1) は観光消費額の一般式で、式 (3) は観光客数の減少による観光消費減少額（フローの直接被害額）を表す。

$$C_{\text{観光}} = a \times N, \quad (1)$$

$$\Delta C_{\text{観光}} = C_{\text{観光}} - C_{\text{観光(基準)}} \quad (2)$$

ただし、

a : 1人当りの消費額

N : 観光客数

4.3. フローの間接被害額の推計

観光業は、宿泊、飲食、小売業などさまざまな業種およびこれらの業種を支える農業、工業など幅広い産業に関連しており、観光業の被害がもたらす地域経済への負の影響は非常に大きいと考えられる。本研究では産業連関分析を用い、地域生産への負の波及効果を求めることで、経済的影響分析を行う。推計には 2011 年度の熊本県産業連関表 [16] を使用した。

観光消費額を産業連関表の各部門に分類するために、熊本市観光統計の一人当たりの項目別消費額のデータを用いた。これに観光客数を乗じ、項目別の観光消費減少額を求め、産業連関表の各部門に分け与えた。

地域内観光消費額は、観光需要額と等しいことで、 $\Delta F_{\text{観光}}$ を観光需要減少額とした場合以下の式が成り立つ。

$$\Delta C_{\text{観光}} = \Delta F_{\text{観光}} \quad (3)$$

また観光需要額には、地域外からの移入品および海外からの輸入品の部分が含まれており、地域の移輸入率を導入し、地域内産観光需要額を求める。地域内産需要減少額に、地域産業連関表の生産誘発係数をかけることで、地域内生産への第 1 次波及効果を求めることができる。すなわち、

$$\Delta P_1 = I - (I - M) A^{-1} (I - M) \Delta F_{\text{観光}} \quad (4)$$

ここで、

Δ_1 : 観光消費額減少による第 1 次波及効果

M : 輸移入係数 (n 項の縦ベクトル、 n は産業連関表部門数)、

I : 単位行列 ($n \times n$)

A : 産業連関表の投入係数行列 ($n \times n$)

第 1 次波及効果によって減少した雇用者所得のうち、消費支出に回せなくなった分が失われ、最終需要となり、その最終需要に基づいた地域内で新たに減少する生産誘発の効果を第 2 次波及効果とする。第 2 次波及効果の推計式を式 (5) に表す。

$$\Delta P_2 = \delta P_1 \times l \times c \times I - (i - M) A^l - 1 (I - M) \quad (5)$$

表1 観光業の経済的被害の推計結果

	フローの直接 被害額 (億円)	フローの間接 被害額 (億円)	計 (億円)
熊本城	372	588.0	960.0
熊本市動植物園	8.7	37.3	46.0
計	380.7	625.3	1,006.0

ここで、 ΔP_2 ：第1次波及効果による第2次波及効果
 l ：雇用者所得率
 A ：消費転換率（雇用者所得の内消費に回る分）
 そこで、フローの間接被害は

$$\Delta P = \delta P_1 + \delta P_2 \quad (6)$$

となり、観光業の地域への経済的被害総額は「フローの直接被害」と「第1次波及効果+第2次波及効果」の総和である。

4.4. 推計結果

熊本城の被害によるフローの直接被害額は約372億円、フローの間接被害額は588億円で、熊本市動植物園のフローの直接被害額は8.7億円、フローの間接被害額は37.3億円で、熊本市の観光業のフローの総日額は1,006億円と見積もられた。推計結果を表1に示す。

5. おわりに

本研究では、熊本地震による熊本市の観光業の被害の実態について整理し、熊本市の主な観光地である熊本城と熊本市動植物園の被害による観光客数の減少と、観光業の経済的被害の推計を試みた。

推計結果、熊本市の観光業の経済的被害額は、1,006億円となり、そのうち観光消費額の減少は380.7億円、それによる地域経済への負の波及効果は625.3億円と見積もられた。特に、熊本城の被害は深刻であり、修復には600億円という莫大な費用と要するとともに、観光業および地域経済への影響も大きいことが確認された。

また、図2に示したように、熊本市の国内宿泊客数は2016年7月にはほぼ回復し、国内宿泊客数の早い段階での回復は、災害ボランティアや、取材関係者、復興従事者など復興需要の増加によるものと予想される。復興従事者の熊本県内滞在も観光客と同様に、宿泊費、飲食費、交通費などのお金を地域に落とすことにより、地域の経済に貢献することになる。しかし、このような復興需要による宿泊客の増加は、短期間に限定されるものであり、その後の観光客数の回復が、宿泊業回復のボトルネックになると考える。

九州観光推進機構は、熊本地震により宿泊キャンセルが相次いだことで、九州地域の風評被害を緩和することを目的とし、観光客を呼び戻すための割引旅行商品を提供した。九州地方に旅行する観光客は、ネットや旅行会社を通して、40%から70%割引の宿泊旅行商品を購入することができる。この事業は、2016年7月～9月を第1期、2016年10月～12月を第2期として実施され、総事業費は180億円となっている^[17]。阪神淡路大震災後の兵庫県の観光復興においても、会議・大会の誘致や、テレビCM放送事業、観光復興レイイベント開催支援事業などの複数の観光復興キャンペーンを実施したが、3年間の総事業費は5億円であった^[18]。短期間で比較的に大規模な九州ふっこう割事業は、観光客に直接利益を与えることとなり、九州の観光客数の回復にもたらす効果は大きいと考える。

熊本市は、まだ余震が発生し（11月に震度4の余震が発生）、災害の危険性が存在するという一方で、風評被害とは言えないが、熊本城などの主要観光地の休業により多くの観光客数の減少が生じている。このような状況の中で、九州ふっこう割が、観光業の回復にどう影響するかを把握することは、風評被害の影響が大きい九州のその他の県と比較することができ、精査する必要があると考える。今後は詳細な調査などにより、観光客のキャンペーン利用実績を把握するなど、観光業復興支援事業の効果を考慮した観光業の経済的被害の分析を今後の課題としてあげたい。

謝辞

本研究は、立命館大学研究拠点形成プログラム「歴史都市を守る文化遺産防災学推進拠点」と、科研費（課題番号：16K21488、「歴史観光都市の経済的被害と復興過程の定量的評価に関する研究」）の支援を頂いて実施したものであり、関係者の各位に心から深く謝意を表す。

参考文献

1. 崔明姫、兼田敏之、谷口仁士、豊田利久：「ブン川地震における観光業の経済的被害に関する調査研究—都江堰市をおもな事例として—」、『地域安全学会論文集』No.13, pp.141-147, 2010
2. 崔明姫、I-soon Raungratanaamporn、酒井宏平、Siriluk Monkonkerd、豊田祐輔、鐘ヶ江秀彦：「2011年タイ洪水における世界遺産アユタヤの経済的復興過程の再現」、『歴史都市防災論文集』Vol. 9, pp.151-158, 2015
3. 崔明姫、崔青林、谷口仁士、兼田敏之：「観光客の減少による地域社会の経済的被害に関する研究—京都市の観光客数の推移に着目して—」、『歴史都市防災論文集』Vol.6, pp237-244, 2012
4. Mingji Cui, Qinglin Cui, Yusuke Toyoda, Hidehiko Kanegae: A Study on Economic Damage for Tourism in Kyoto City by Earthquake Disaster, ASEAN Journal on Hospitality and Tourism, Centre for Tourism Planning and Development, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, ISSN 1412-2073, Volume13, Number2, pp.101-112, 2014
5. 内閣府非常災害対策本部：平成28年（2016年）熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について、平成28年12月14日
6. 内閣府政策統括官：平成28年熊本地震の影響試算について、
<http://www5.cao.go.jp/keizai3/kumamotoshisan/index.html> , 2016年12月アクセス
7. 気象庁HP, 推計震度分布図,
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikai/eventlist.html> 2016年12月アクセス
8. 朝日新聞：熊本城天守閣、3年で修復 市長が表明、城全体は20年、2016年7月26日、
<http://www.asahi.com/articles/ASJ7V44B3J7VTLVB00W.html>
9. 西日本新聞経済電子版：熊本市動植物園 再開まで1年以上 液状化の被害深刻、2016年05月09日
<http://qbiz.jp/article/86305/1/>
10. 観光庁：宿泊旅行統計調査 2015年～2016年
<http://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/shukuhakutoukei.html>
11. 観光庁：被災された方へ宿泊施設を提供します、http://www.mlit.go.jp/kankocho/news06_000262.html
12. 豊田 利久、文化遺産観光地・宮島と自然災害—経済的側面を中心に、京都歴史災害研究 (12), 9-21, 2011
13. 西村泰紀、梶谷 義雄、多々納 裕一：震災が観光入込客数に与える影響に関する定量分析、土木学会論文集 D3(土木計画学) Vol. 6. No. 2, 2012
14. 熊本市経済観光局観光交流部観光政策課：熊本市観光統計. 2007-2015
15. 日本交通公社：熊本地震の観光復興状況に関する調査研究（4月～6月）速報、
<https://www.jtb.or.jp/research/theme/reconstruction/kumamoto-survey2016-spring>
16. 熊本県企画振興部 統計調査課：2013年熊本県産業連関表
http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_8525.html
17. (一社)九州観光推進機構：九州観光支援のための割引付旅行プラン助成制度の運用「九州観光復興キャンペーン」について、2016年6月23日
18. 「観光ひょうご」復興キャンペーン推進協議会：「観光ひょうご」復興への取り組み、2001年

2016年熊本地震における設計地震力超過継続時間の評価

岐阜大学工学部社会基盤工学科 能島暢呂・山本大喜

Duration of Strong Motion Exceeding Bridge Design Spectra in the 2016 Kumamoto Earthquake

Nobuoto Nojima and Taiki Yamamoto
Department of Civil Engineering, Gifu University

1. はじめに

地震動の特性は、振幅特性・周期特性・経時特性の3要素によって特徴づけられる。このうち経時特性の代表例としては地震動継続時間が挙げられる。加速度・速度などの最大値指標や震度レベルが同じであっても、継続時間が長い地震動は、構造物・地盤の被害や人間行動に対して、より大きな影響を与えることが懸念される¹⁾。このため継続時間に関する研究は数多く、従来から、様々な指標が提案されてきた(例えば²⁾、Bommer and Martinez-Pereira³⁾による分類を参考にすると、地震動継続時間は次のようになる。

- 1) *Significant duration* : 地震動の累積パワーの主要部の占有時間
- 2) *Bracketed duration* : 地震動が所定の閾値を最初に超過してから最後に下回るまでの時間
- 3) *Uniform duration* : 地震動が所定の閾値を超過した正味の時間
- 4) *Structural response duration* : 上記1)-3)の定義を線形1自由度系(SDOF)の応答に適用した時間

上記の2)-4)の閾値については、地震動強度に対して *Relative* (地震動強度の閾値を最大値指標などに対する相対値で定義)と *Absolute* (地震動強度の閾値を絶対値で定義)の定義がある。

Structural response duration については研究事例が比較的少ない。狭帯域振動において継続時間 D および周期 T と近似的に $N \sim D/T$ の関係にある繰り返し回数 N と関連付けた研究としては、線形1自由度系の応答波形において所定の繰り返し回数を満たす応答レベルのスペクトルを求めた Perez⁴⁾の研究が挙げられる。同様の観点から Kawashima and Aizawa⁵⁾は、 N 番目の振幅ピークによる応答スペクトルならびに最大ピークに対する低減係数を提案している。石井⁶⁾は、線形1自由度系の応答波形に累積パワー基準を適用して周期依存の継続時間を求め、これによる「応答継続時間スペクトル」を提案している。最大応答と継続時間の関係は示されているものの、「*Significant*」の定義に従った指標を採用しているため、閾値を考慮した影響評価には至っていない。

筆者ら^{7),8)}は *Structural response duration* に関して、特に「*Uniform/Absolute*」の定義による継続時間に注目し、線形1自由度系の速度応答包絡線に基づく閾値超過継続時間とそのスペクトル表現法を提案した。振幅レベルが直接規定されるだけでなく、周期依存型の様々な限界曲線と関連付けて、揺れの継続効果を論じることができる点で有用性が高い手法である。前報⁹⁾ではその応用例として、建築室内にいる人間が地震時に安全確保のためにとる種々の避難行動に着目し、「避難行動限界曲線」を用いた「行動難度継続時間」と「不安度継続時間」に関する評価結果を報告した。

一方、工学的観点からの応用例としては、設計用地震力を閾値とした「設計地震力超過時間スペクトル⁸⁾」および「設計地震力反復数スペクトル⁸⁾」が挙げられる。本報ではこの応用例として、2016年熊本地震の本震(2016年4月16日1:25am, $M_J=7.3$, $M_w=7.0$)における観測記録を用いた評価例を報告するものである。

2. 閾値超過継続時間スペクトルと反復数スペクトルの定義

2.1 速度応答包絡線と閾値超過継続時間スペクトル

質量 m 、剛性 k の線形 1 自由度系の振動において、時刻 t における全エネルギー $Q(t)$ は、次式のように運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和で表される¹⁰⁾。

$$Q(t) = \frac{1}{2}m\dot{y}^2(t) + \frac{1}{2}ky^2(t) \tag{1}$$

ここに $\dot{y}(t)$: 速度応答時刻歴, $y(t)$: 変位応答時刻歴である。これより変位応答包絡線 $E_D(T, t)$ は次式で求めることができる。

$$E_D(T, t) = \sqrt{\frac{Q(t)}{k/2}} = \sqrt{\frac{\dot{y}^2(t)}{\omega_0^2} + y^2(t)} \tag{2}$$

ここに $\omega_0 = (k/m)^{1/2}$ は固有円振動数であり, $T = 2\pi/\omega_0[s]$ は非減衰固有周期である。これより速度応答包絡線 $E_D(T, t)$ は次式で求めることができる。

$$E_D(T, t) = \sqrt{\frac{Q(t)}{m/2}} = \sqrt{\dot{y}^2(t) + \omega_0^2 y^2(t)} \tag{3}$$

速度応答包絡線 $E_V(T, t)$ を用いると、所与の閾値 E^* の継続時間 $D_{VRE}(T, E^*)$ は次のようになる。

$$D_{VRE}(T, E^*) = \sum_i \delta(T, t_i | E^*) \Delta t \tag{4}$$

$$\delta(T, t_i | E^*) = \begin{cases} 1; E_V(T, t_i) \geq E^* \\ 0; E_V(T, t_i) < E^* \end{cases} \tag{5}$$

ただし $\Delta t =$ 時刻歴応答解析の時間刻み [s]. $t_i =$ 離散時間ステップである。

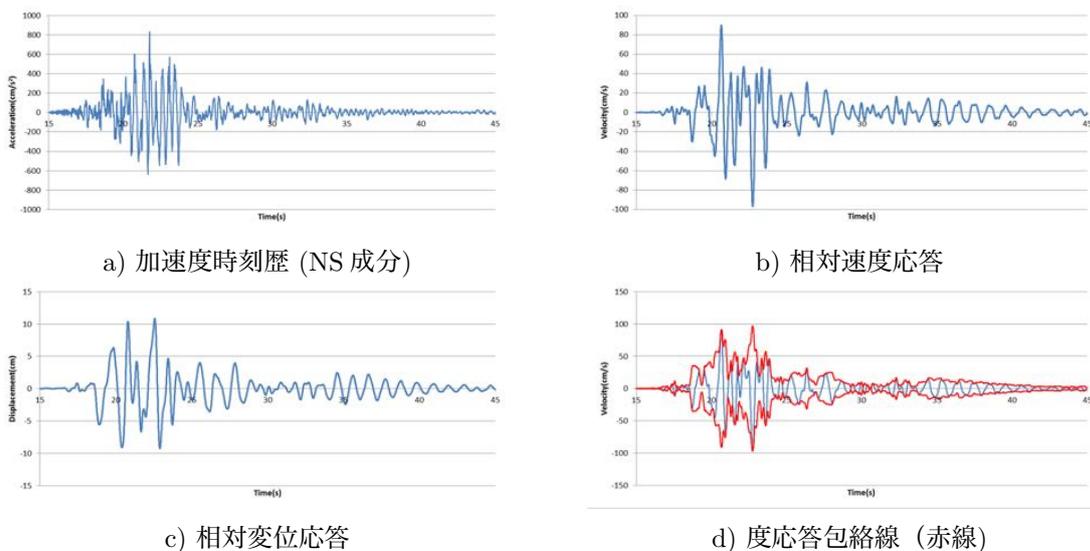


図 1 速度応答包絡線の計算手順 (K-NET 熊本, KMM006, 2016 年熊本地震本震, $T=1.0s$, $h=5\%$)

図1(a)-(c)は、速度応答包絡線 $E_V(T, t)$ および継続時間 $D_{VRE}(T, E^*)$ の計算過程 (周期 $T=1.0s$, 減衰定数 $h=5\%$) を示す。このケースでは、閾値応答速度 $E^*=50cm/s$ に対する継続時間は $D_{VRE}(T=1s, E^*=50cm/s)=1.7s$ と求められる。さらに、あらゆる周期を対象とした閾値超過継続時間スペクトルの例を図2に示す ($E^*=50cm/s$)。

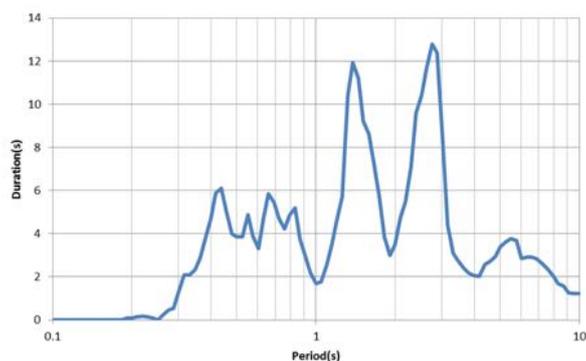


図2 閾値超過時間スペクトルの例 (閾値応答速度 $E^*=50cm/s$, $h=5\%$)

2.2 周期依存型の閾値を持つ事象の継続時間スペクトルおよび反復数スペクトル

閾値が周期 T に依存した $E^*(T)$ として設定されるような事象 X の継続時間を求める場合にも簡単に拡張ができる。具体的には、式(4),(5)に代えて次式(6),(7)を適用することによって、事象 X の継続時間 D_X を評価してスペクトル表現すればよい。

$$D_x(E^*(T)) = \sum_i \delta(t_i|E^*(T))\Delta t \quad (6)$$

$$\delta(t_i|E^*(T)) = \begin{cases} 1; E(t_i) \geq E^*(T) \\ 0; E(t_i) < E^*(T) \end{cases} \quad (7)$$

等価な反復数 N_X を次式により求めてスペクトル表現することもできる。

$$N_x(E^*(T)) = \frac{D_x(E^*(T))}{T} \quad (8)$$

3. 道路橋示方書の設計スペクトルの変換による閾値設定

本研究では周期依存型の閾値を設定するにあたって、道路橋示方書¹¹⁾の設計用加速度応答スペクトルを用いる。設計用加速度応答スペクトル S は次式のように設定されている。

$$S = C_z C_D S_0 \quad (9)$$

ここに S_0 : 標準加速度応答スペクトル, C_z : 地域別補正係数, C_D : 減衰定数別補正係数である。まず標準加速度応答スペクトル S_0 は、以下の2種類のレベルに対するものが与えられている。

- ・レベル1地震動 (L1) : 橋の供用期間中の発生確率の高い地震動
 - ・レベル2地震動 (L2) : 橋の供用期間中の発生確率は低い、大きな強度を持つ地震動
- レベル2地震動については、さらに以下の2つの地震タイプに分類されている。
- ・タイプI (T1) : プレート境界型の大規模な地震
 - ・タイプII (T2) : 内陸直下型地震また地盤条件による影響を考慮するために地盤の基本固有周期 $T_G[s]$ によってI種, II種, III種の3種類の地盤種別が規定されている。
 - ・I種地盤 (G-I) : 良好な洪積地盤及び岩盤 ($T_a < 0.2$)
 - ・II種地盤 (G-II) : I種およびIII種地盤にも属さない洪積地盤及び沖積地盤 ($0.2 \leq T_a < 0.6$)
 - ・III種地盤 (G-III) : 沖積地盤のうち軟弱地盤 ($0.6 \leq T_a$)

地域別補正係数 C_z については、当該地域の地震活動度に応じて、地震レベル・タイプごとに、3種類が定められている。

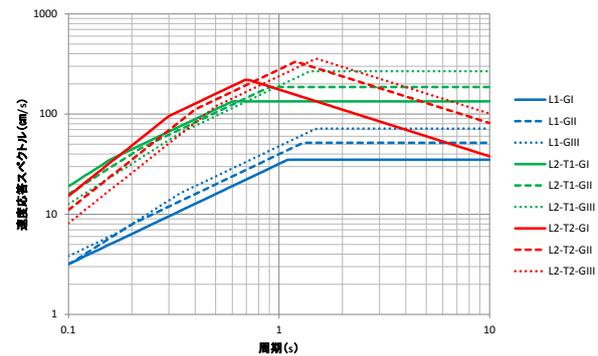
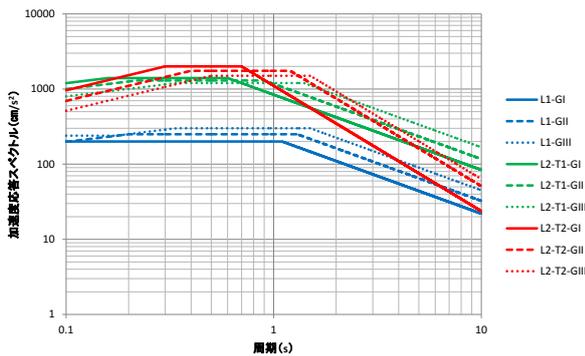


図3 道路橋示方書の設計用加速度応答スペクトル ($h=5\%$, $C_Z=1.0$)

図4 道路橋示方書の設計用加速度応答スペクトルの疑似速度応答スペクトルへの変換 ($h=5\%$, $C_Z=1.0$)

- ・レベル 1 : $C_Z = \{1.0, 0.85, 0.7\}$
- ・レベル 2, タイプ I : $C_Z = \{1.2, 1.0, 0.8\}$
- ・レベル 2, タイプ II : $C_Z = \{1.0, 0.85, 0.7\}$

減衰定数別補正係数 C_D は、減衰定数 $h = 5\%$ を基準とした補正係数が次式のように与えられている。

$$C_D = \frac{1.5}{40h + 1} + 0.5 \tag{10}$$

設計地震動 3 種、地盤種別 3 種の組み合わせにより 9 種の標準加速度応答スペクトルを示したものが図 3 である。本研究では継続時間の評価にあたって速度応答包絡線を用いるため、加速度応答スペクトルを固有円振動数 ω_0 で除すことで、図 4 に示すように疑似速度応答スペクトルに変換する。この疑似速度応答スペクトル（以後設計スペクトルと呼ぶ）を周期依存型の閾値として採用する。

4. 2016 年熊本地震における設計地震力超過継続時間スペクトル

4.1 使用した強震記録

ここでは、熊本県内の K-NET および KiK-net 観測点¹²⁾において、2016 年熊本地震の本震 (2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分、マグニチュード 7.3) の加速度記録 (NS 成分) を取り上げ、レベル 1 地震動およびレベル 2 地震動タイプ II の設計スペクトルを周期依存型の閾値とした設計地震力超過継続時間のスペクトル表現の例を示す。熊本県内には図 5 に示すように、K-NET が 22 観測点、KiK-net が 17 観測点ある。これらのうち本震でデータの得られなかった KiK-net の 5 観測点 (阿蘇 (KMMH04)、波野 (KMMH05)、三角 (KMMH07)、矢部 (KMMH08)、玉名 (KMMH17)) を除く 34 観測点を対象とする。

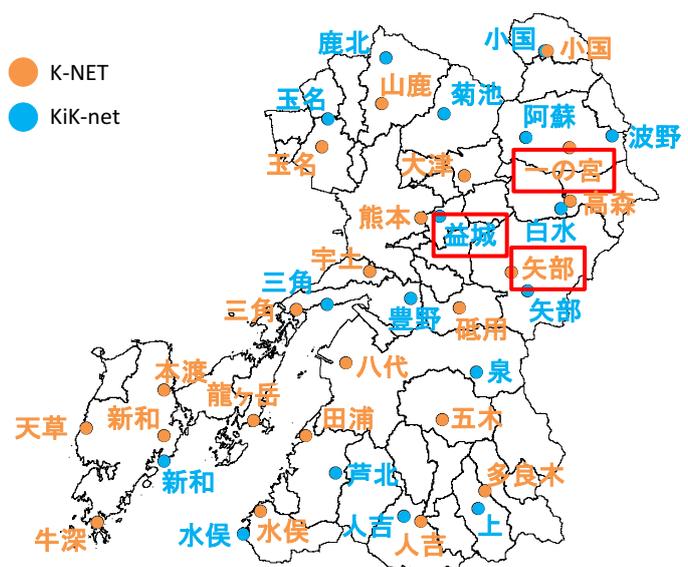
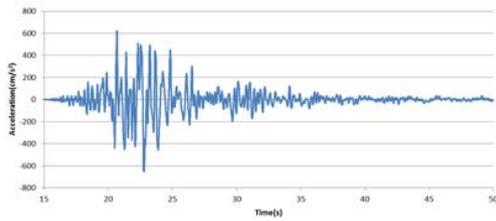
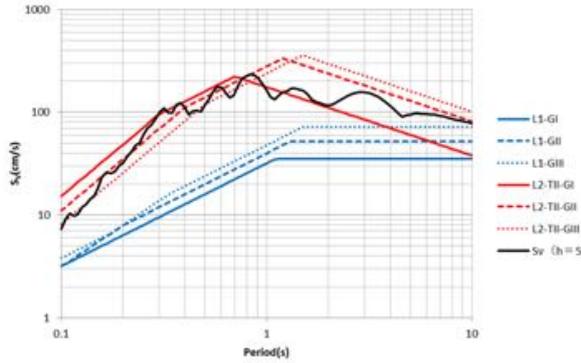


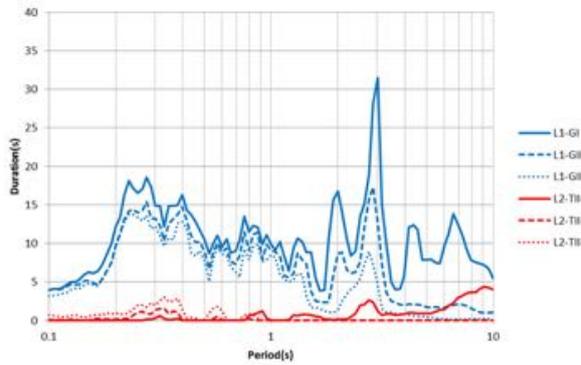
図5 熊本県内の K-NET および KiK-net の観測点分布と代表の 3 観測点



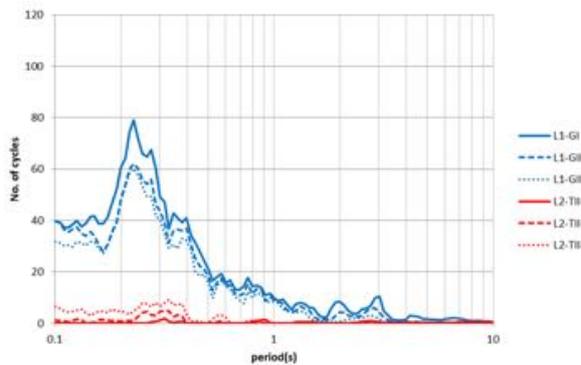
(a) 加速度時刻歴 (NS 成分)



(b) 速度応答スペクトルと設計用スペクトル

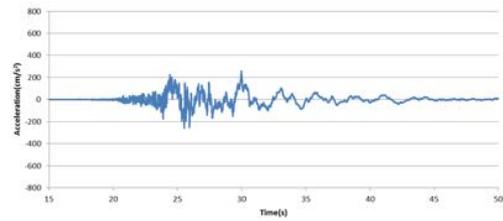


(c) 設計地震力超過時間スペクトル

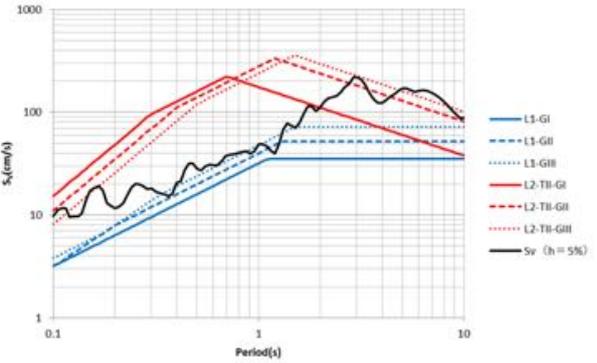


(d) 設計地震力反復数スペクトル

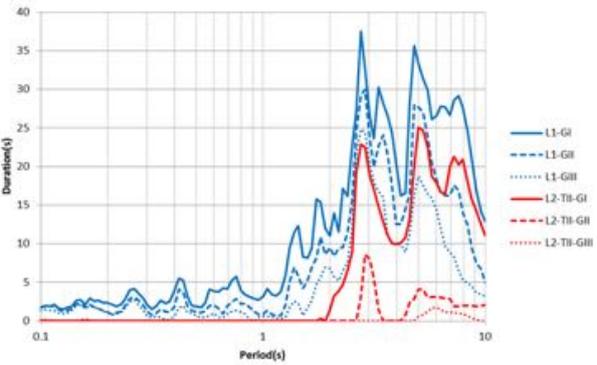
図6 KiK-net 益城 (KMMH16, G-II)



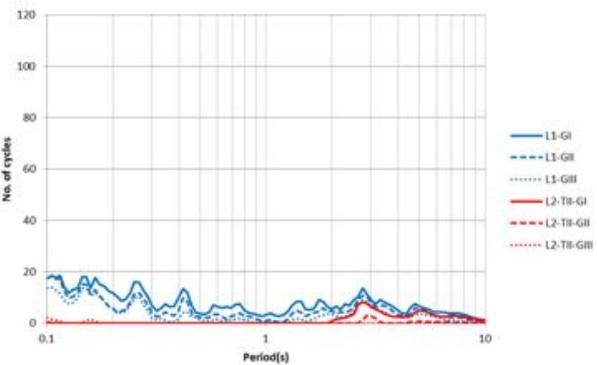
(a) 加速度時刻歴 (NS 成分)



(b) 速度応答スペクトルと設計用スペクトル



(c) 設計地震力超過時間スペクトル



(d) 設計地震力反復数スペクトル

図7 K-NET 一の宮 (KMM004, G-I)

4.2 代表の3観測点での検討 (地域別補正係数 $C_Z=1.0$)

ここではまず、速度応答スペクトルの卓越周期で特徴的な結果が得られた下記の KiK-net 益城, K-NET 一の宮, K-NET 矢部の3観測点 (図5) を対象とした例を示す。

- (1) KiK-net 益城 $T_G=0.31s$, G-II,
(KMMH16) $C_Z=0.85$
- (2) K-NET 一の宮 $T_G=0.19s$, G-I,
(KMM004) $C_Z=0.85$
- (3) K-NET 矢部 $T_G=0.15s$, G-I,
(KMM009) $C_Z=0.85$

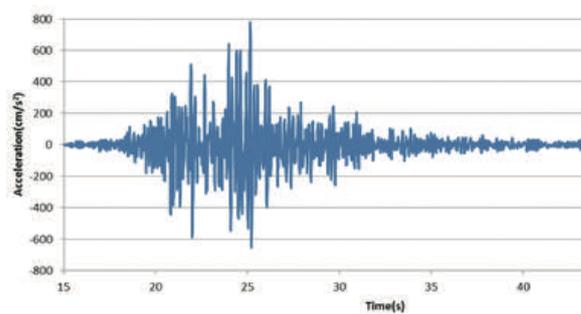
3観測点の条件は上記の通りであるが、以下の図6~8においては比較のため、実際の条件に関わらず、すべての地盤種別に関する結果を示す。また熊本県内の地域別補正係数は県西部の一部で $C_Z=0.7$ であるほかは、ほとんど $C_Z=0.85$ であるが、ここでは一律に $C_Z=1.0$ として比較することとし、地域別補正係数の影響については、次節で改めて考察することとする。

4.2.1 KiK-net 益城 (KMMH16, G-II) (図6)

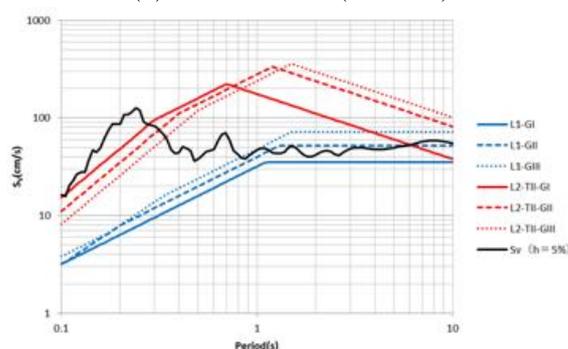
震源断層に最も近い益城町内の観測点である。最大加速度は $653.0cm/s^2$ であり、主要動は 20s 程度と短い。速度応答スペクトルは固有周期 0.3~4s の広い範囲で $100cm/s$ を超過している。最大速度応答は $233.5cm/s$ で卓越周期は $T=0.83s$ である。速度応答スペクトルは、II種地盤におけるレベル1地震動の設計スペクトル (L1-GII スペクトル) を全周期帯で超過している。最長の L1 スペクトル超過継続時間は、周期 $T=2.9s$ で $17.3s$ であり、最大反復数は $T=0.23s$ で周期 62.0 回である。レベル2地震動タイプ2の設計スペクトル (L2-T2-GII スペクトル) に関しては、周期 $T=0.83s$ 以下、特に $T=0.2\sim 0.4s$ の範囲で超過している。最長の L2 スペクトル超過継続時間は、周期 $T=0.33s$ で $1.6s$ であり、最大反復数は $T=0.32s$ で周期 4.9 回である。

4.2.2 K-NET 一の宮 (KMM004, G-I) (図7)

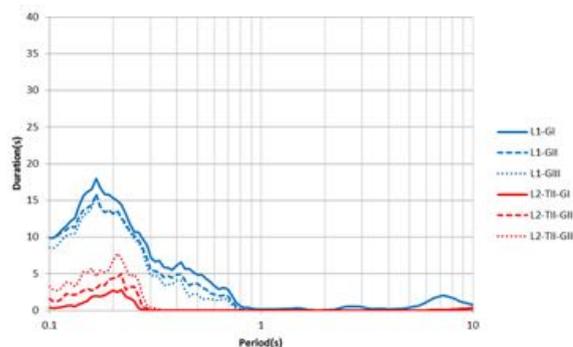
震源断層からかなり東方の阿蘇市に位置する観測点である。最大加速度は $261.5cm/s^2$ であり、ここでも主要動は 20s 程度と短い。卓越周期は $T=2.9s$ で最大速度応答は $219.2cm/s$ である。K-NET 益城



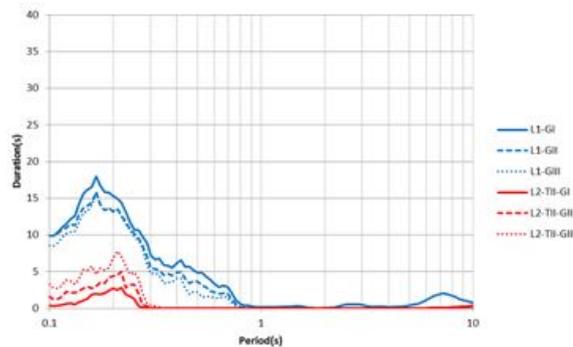
(a) 加速度時刻歴 (NS成分)



(b) 速度応答スペクトルと設計用スペクトル



(c) 設計地震力超過時間スペクトル



(c) 設計地震力超過時間スペクトル

図8 K-NET 矢部 (KMM009, G-I)

(KMM004) よりも最大加速度は小さいものの、周期 $T=2\sim 9\text{s}$ の広い範囲で速度応答が 100 cm/s を上回っている。I種地盤におけるレベル1地震動の設計スペクトル(L1-GIスペクトル)を全周期帯で超過している。L1-GIスペクトル超過継続時間は、周期 $T=2.8\text{s}$ で 37.5s と周期 $T=4.8\text{s}$ で 35.6s の2つの明瞭なピークを持ち、対応する反復数はそれぞれ13.6回と7.4回である。レベル2地震動タイプ2の設計スペクトル(L2-T2-GIスペクトル)に関しては、主に周期 $T>1.82\text{s}$ で超過しており、2つのピークは周期 $T=2.8\text{s}$ で 22.9s と周期 $T=5.0\text{s}$ で 25.1s である。L2-T2スペクトルで 10s 以上の超過継続時間を示す観測点では見られず、K-NET一の宮が唯一であった。対応する反復数はそれぞれ8.3回と5.0回である。

4.2.3 K-NET 矢部 (KMM009, G-I) (図8)

震源断層から東南方向にあたる上益城郡山都町内の観測点である。最大加速度は 776.6 cm/s^2 と KiK-net 益城 (KMM16) を上回る。最大速度応答は周期 $T=0.24\text{s}$ で 125.8 cm/s であり、KiK-net 益城 (KMMH16) や K-NET 一の宮 (KMM004) と比較すると低いレベルといえる。最大速度応答が 100 cm/s を超過するのはこのピーク付近のみであり、短周期成分がかなり卓越している。I種地盤におけるレベル1地震動の設計スペクトル(L1-GIスペクトル)を全周期帯で超過している。最長のL1スペクトル超過継続時間は、周期 $T=0.17\text{s}$ で 17.9s であり、最大反復数は $T=0.17\text{s}$ で周期108.1回に及ぶ。レベル2地震動タイプ2の設計スペクトル(L2-T2-GIスペクトル)に関しては、周期 $T=0.28\text{s}$ 以下の短周期帯でのみ超過している。最長のL2スペクトル超過継続時間は、周期 $T=0.22\text{s}$ で 2.8s であり、最大反復数は $T=0.20\text{s}$ で周期13.6回である。

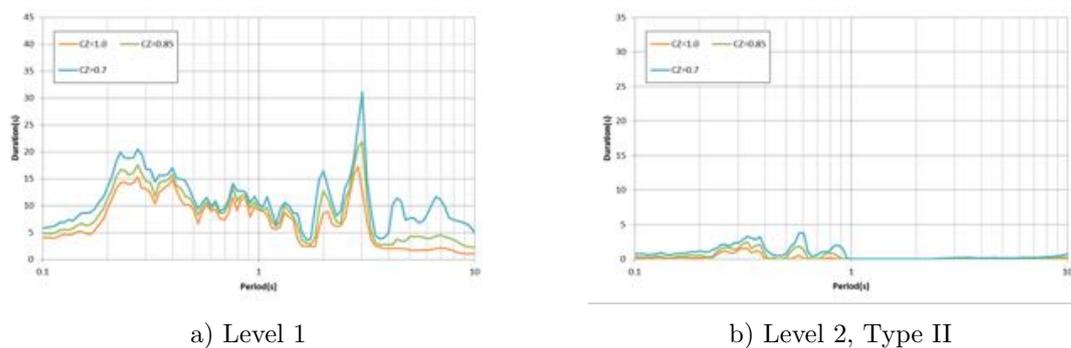


図9 地域別補正係数 C_Z が設計地震力超過継続時間に及ぼす影響 (KiK-net 益城, KMMH16, G-II)

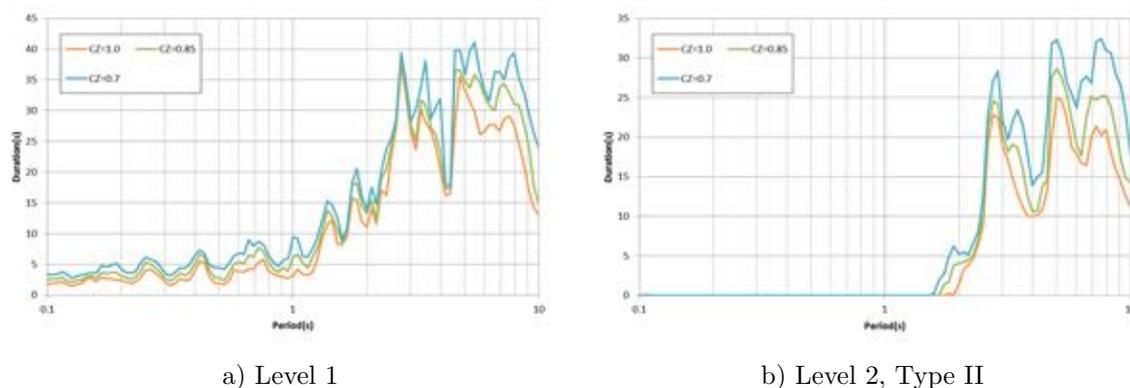


図10 地域別補正係数 C_Z が設計地震力超過継続時間に及ぼす影響 (K-NET 一の宮, KMM004, G-I)

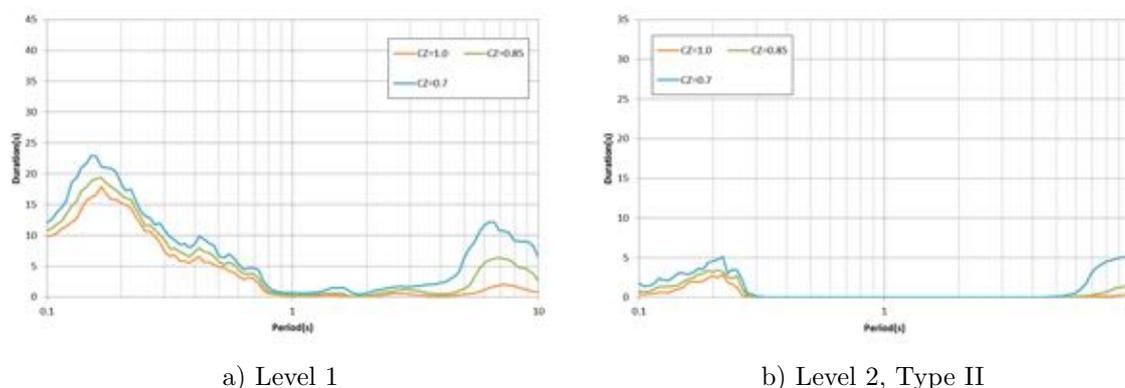


図 11 地域別補正係数 C_Z が設計地震力超過継続時間に及ぼす影響 (K-NET 矢部, KMM009, G-I)

上記の 3 観測点における実際の地域別補正係数はいずれも $C_Z=0.85$ である。前節では $C_Z=1.0$ とした場合について比較した。低い値の C_Z は設計スペクトルを低減させるので、継続時間は一貫して長時間化する。本節では、地域別補正係数 C_Z が及ぼす影響を検討するため、 $C_Z=1.0, 0.85, 0.7$ とした場合を示して比較を行う。なお、ここでは各観測点の地盤種別に関する結果のみを示す。

4.3 地域別補正係数 C_Z が超過時間に及ぼす影響

図 9 は K-NET 益城 (KMM004) の結果である。L1 スペクトル超過時間は中周期帯では長時間化しないが、短周期側と長周期側、特に周期 $T>3s$ で地域別補正係数 C_Z に敏感に変化する。L2-T2 スペクトルに関しては、地域別補正係数 C_Z は周期 $T<1s$ の超過時間に影響を与えている。

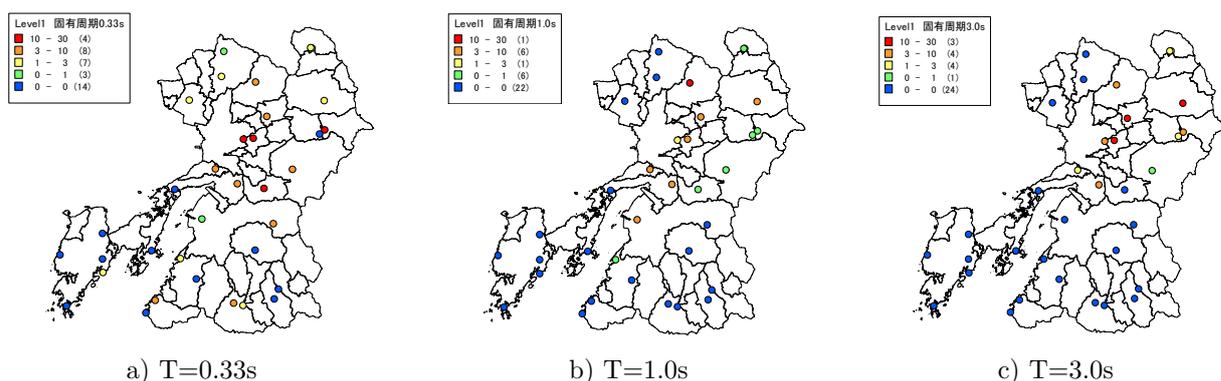
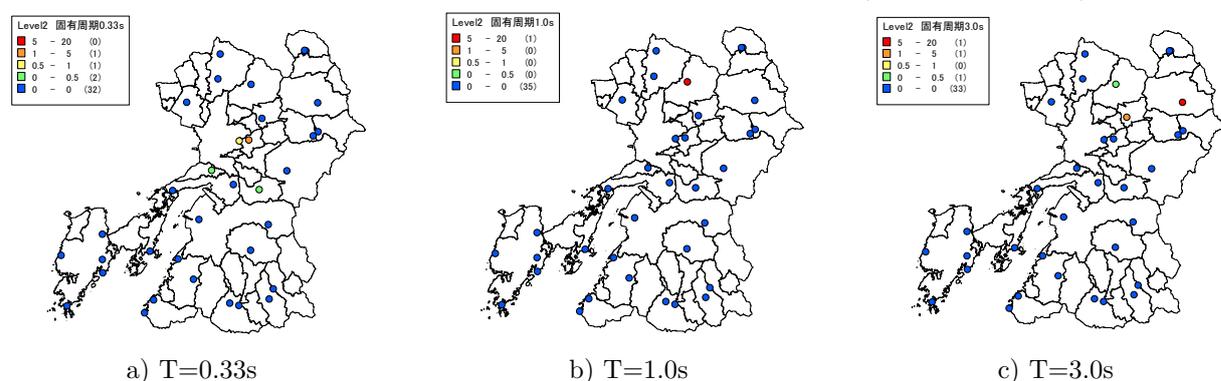
図 10 は K-NET 一の宮 (KMM004) の結果である。L1 スペクトル超過時間については、地域別補正係数 C_Z が小さくなるにつれて、周期帯によらず比較的一様に設計地震力超過時間の伸長効果が見て取れる。地域別補正係数が $C_Z=1.0$ の場合においては、速度応答は周期 $T<2s$ で L2-T2 スペクトルを超過することはなかったが、 C_Z を小さくすると $T=1.7s$ 程度から超過することがわかる。周期 $T=3\sim 9s$ においては、スペクトル超過時間は 15s 以上に及ぶ。

図 11 は K-NET 矢部 (KMM009) の結果である。KiK-net 益城 (KMMH16) と同様に、設計スペクトル超過時間は短周期側と長周期側で地域別補正係数 C_Z に敏感に変化する。L2-T2 スペクトルについては、 C_Z は周期 $T<1s$ の範囲で影響を及ぼしている。総じて、 $C_Z=0.85$ と $C_Z=0.7$ との差異は、 $C_Z=1.0$ と $C_Z=0.85$ との差異よりも大きい傾向が見て取れる。

4.4 熊本県内における設計地震力超過時間の分布 ($C_Z=1.0$)

設計地震力超過継続時間の空間分布を視覚的にとらえるために、固有周期 $T=0.33s, 1.0s, 3.0s$ について、熊本県内の全データを用いたマップ表現を行う。設計地震力超過時間の空間分布を 図 12 および 図 13 地域別補正係数については再び $C_Z=1.0$ とした。 $C_Z=0.85$ もしくは 0.7 とした場合には、これらの分布を上回ることとなる。

図 12 は L1 スペクトルに関する結果である。継続時間は広範囲に分布しており、特に周期 $T=0.33s$ で顕著である。これに対して周期 $T=3.0s$ では熊本県北部に限られるものの、周期 $T=1.0s$ の結果よりも長い継続時間が現れている。図 13 は L2-T2 スペクトルに関する結果である。継続時間は震源域に比較的近い観測点に限定的に見られるものの、必ずしも断層近傍であるほど長いわけではないことがわかる。

図12 熊本県における設計地震力超過継続時間の分布 (Level 1, $C_z=1.0$)図13 熊本県における設計地震力超過継続時間の分布 (Level 2, Type II, $C_z=1.0$)

5. 結語

本研究では、道路橋示方書の耐震設計編に記載された設計用加速度応答スペクトルを疑似速度応答スペクトルに変換して閾値スペクトルとして設定し、2016年熊本地震の本震における設計地震力超過継続時間スペクトルおよび設計地震力超過反復数スペクトルの評価を行った。特に、KiK-net 益城 (KMMH16)、K-NET 一の宮 (KMM004)、K-NET 矢部 (KMM009) の3観測点で得られた観測記録を対象として詳しく分析するとともに、熊本県内で得られた全データを用いた空間分布を示した。得られた成果と今後の課題を以下に要約する。

1. KiK-net 益城 (KMMH16) では応答レベルが高く、L1 スペクトルを全周期帯で超過した。K-NET 一の宮 (KMM004) では長周期で速度応答の卓越が見られた。設計地震力超過継続時間スペクトルは、レベル1地震動、レベル2地震動タイプIIともに長周期における卓越が顕著であった。一方、K-NET 矢部 (KMM009) は短周期側で速度応答が卓越した。そのため設計地震力超過反復数スペクトルが短周期部分で非常に高いレベルを示した。
2. 地域別補正係数を1.0から0.85、0.7と変化させて閾値スペクトルを下げていくと、継続時間は長くなるが、伸長効果には周期依存性が見られた。3観測点の結果から、最大で10~15sほどの継続時間の増加が確認できた。
3. 設計地震力超過継続時間の空間分布を視覚的にとらえるために、固有周期 $T=0.33s$ 、 $1.0s$ 、 $3.0s$ の3ケースについて、熊本県内の全データを用いたマップ表現を行った。L1 スペクトルを用いると、

熊本県中部や北部を中心として全域で設計地震力超過継続時間が生じた。L2-T2 スペクトルを用いると、設計地震力超過継続時間が生じる範囲は限定された。特に固有周期 1.0s での KiK-net 菊池 (KMMH03) や固有周期 3.0s での K-NET 一の宮 (KMM004) は範囲が限定的なだけでなく、継続時間も非常に長いのが特徴的であった。

2016 年熊本地震は、前震 (4 月 14 日 21 時 26 分、マグニチュード 6.5) と本震 (4 月 16 日 1 時 25 分、マグニチュード 7.3) が連続して起きた。その他の余震群と合わせて、設計地震力超過継続時間の累積効果について今後検討を続ける方針である。逆に、継続時間が短くても振幅の大きいパルス波を持つ地震動は変位応答に影響を与える。今回の 2016 年熊本地震でも、1995 年兵庫県南部地震のように振幅の大きいパルス波が観測された。パルス波が及ぼす影響についても今後の検討を予定している。

謝辞

本研究では、国立研究開発法人 防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net による強震記録を使用させていただいた。記して謝意を表するしだいである。

参考文献

1. 土木学会地震工学委員会 強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性検討小委員会：シンポジウム「強震継続時間が長い地震動に対する土木構造物の耐震性評価」講演概要集，2012.5.
2. Bommer, J. J., Stafford, P. J. and Alarcon, J. E.: Empirical Equations for the Prediction of the Significant, Bracketed, and Uniform Duration of Earthquake Ground Motion, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.99, No.6, pp.3217-3233, 2009.
3. Bommer, J. J. and Martinez-Pereira, A.; Strong-motion Parameters: Definition, Usefulness and Predictability, Proc. of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand. Paper No.0206 (on CD-ROM), 2000.
4. Perez, V.: Spectra of Amplitudes Sustained for a Given Number of Cycles: an Interpretation of Response Duration for Strong-Motion Earthquake Records, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.70, No.5, pp.1943-1954, 1980.
5. Kawashima, K. and Aizawa, K.: Earthquake Response Spectra Taking Account of Number of Response Cycles, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.14(2), pp.185-197, 1986.
6. 石井透：地震動の応答継続時間スペクトル 評価手法の提案と 2011 年東北地方太平洋沖地震およびその前震・余震・誘発地震による東京の地震動への適用例，日本建築学会構造系論文集，Vol.77, No.676, pp.843-850, 2012.6.
7. 能島暢呂：速度応答包絡線を用いた閾値超過継続時間のスペクトル表現とその応用，日本地震工学学会論文集，Vol.15, No.1, pp.1-17, 2015.2.
8. 能島暢呂・杉戸真太・久世益充：応答包絡線の閾値超過時間を用いた地震動継続時間のスペクトル表現とその応用，第 68 回土木学会年次学術講演会，I-245, pp.489-490, 2013.9.
9. 能島暢呂：強震動が人間行動および心理面に与える影響の継続時間の評価，東濃地震科学研究所報告，No.37, pp.73-89, 2016.3.
10. 亀田弘行：強震地震動の非定常パワースペクトルの算出に関する一考察，土木学会論文報告集，第 235 号，pp.55-62, 1975.3.
11. 日本道路協会：道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説，2012.3.
12. (国) 防災科学技術研究所：強震観測網 (K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>

津波避難システムの開発

地震予知総合研究振興会 大保 直人

Development of System for Distributing Urgent Evacuation Information During Tsunami

Naoto OHBO
Association for the Development of Earthquake Prediction

abstract

The 2011 Great East Japan Earthquake exposed limitations of present hazard maps and evacuation manual for unexpected earthquake and tsunami. In particular, information for the tsunami evacuation of residents was premised on mass evacuation, and this could be a major cause of delays in the tsunami evacuation. A system of distributing urgent evacuation information during tsunami has been developed by utilizing the Japan Meteorological Agency's "Earthquake Early Warning and Information on Earthquakes, Volcanic Activity and Tsunamis." Based on information about the earthquake and the tsunami height, the system identifies appropriate evacuation spots, disseminates information about them, and allows an administrator and family members to check on the safety of a registered user upon completion of evacuation. A series of tsunami evacuation drills were conducted, to examine the usefulness of the system, as well as to improve the details of the system.

1. はじめに

2011年東日本大震災では、津波リスクに対する取り組みや技術に限界があることが露呈した。津波避難について、想定外の規模の津波が発生した時に津波危険マップと避難マニュアルが効果的ではないことが明らかとなった。ハザードマップや避難マニュアルは、想定された地震と津波のシナリオで作成されていたためであり、事前に作成された津波ハザードマップや津波避難マニュアルには、限界がある。

最近のICTテクノロジーを使い、地震発生直後に地震情報（規模、発生場所）を、さらに津波発生情報（津波高さ）を個人個人に対して避難に関する正確な情報を配信できれば、あらかじめ作られた危険地図または避難マニュアルと違って、個人個人に適切な津波避難情報を提供できる。

例えば、個人の位置情報を利用して、津波高さと津波避難場所、避難ルートなどの情報を受け取ることが出来る。さらに、登録者の家族や同僚に避難状況を送ることなど、個人に情報を送る手段として電子メールが有効である。

上述した機能を備えた津波発生時に緊急避難情報を配信するシステムを開発した。

このシステムは、生成された情報を、最も多く確保された方法で提供するために、適切な避難情報を個人個人に合うように適切な情報を生成する。

システムは、気象庁から発表される緊急地震速報（EEW）と地震・火山・津波警報を利用している。システムは、あらかじめ作られたデータベースとして地方自治体が準備している津波避難場所の高さ情報を利用して、津波情報で得られた津波高さを利用して適切な避難場所情報をする。

情報を受け取る登録者の電子メールアドレスとその家族・同僚のメールアドレスを登録すると、システムから個々の登録者、家族・同僚に対して避難情報を自動的にすることができる。

2. 津波防災・減災に利用できる情報

図1は、気象庁が発表する緊急地震速報と津波警報・注意報の流れを示す¹⁾。これは緊急地震速報を活用した津波警報・注意報の迅速化を受けたもので、2006年10月2日に公表されている。緊急地震速報に含まれる、震源位置やマグニチュードから津波の発生の有無を判定し、津波発生の可能性があると判断された場合、津波警報・注意報が発せられることになる。緊急地震速報と津波警報・注意報の概要と利活用の現状は以下のように整理される。

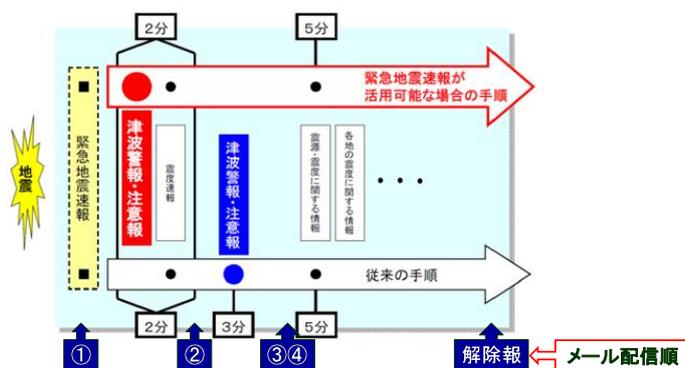


図1 緊急地震速報と津波警報・注意報の流れ¹⁾

(1) 緊急地震速報²⁾

緊急地震速報は2007年10月1日より一般利用が開始された。全国に展開された地震計ネットワークを活用することで、地震の発生を感知し、地震波が到来する前に地震の揺れを伝えるものが緊急地震速報である。気象庁から配信される緊急地震速報は、誤報の可能性や地震波の到達に間に合わない場合があるものの、その信頼性は公的に保障されている。図2に、地震発生後に発表される緊急地震速報（予報）と緊急地震速報（警報）の流れを示す。警報の中でも予想震度が大きい地震に対するものは「特別警報」として位置付けられている。

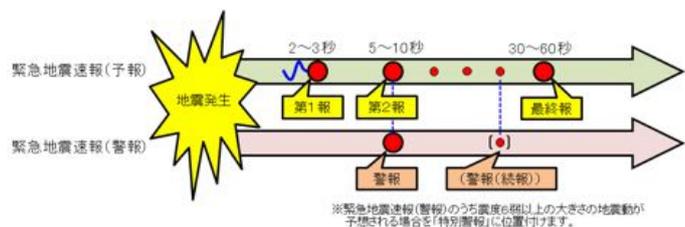


図2 地震発生後の発表される緊急地震速報の種類²⁾

(2) 大津波警報・津波警報・津波注意報³⁾

2011年東日本大震災での津波被害を受けて、2013年3月から新たに津波警報が気象庁より発表されることになった。津波警報は、地震が発生した際に、即自的に推定される地震の規模と震源の位置を基に、津波の発生の有無と、震源近くの沿岸で予想される津波の高さを求める。津波の発生が予想される場合、地震が発生してから約3分を目標に、大津波警報、津波警報、または津波注意報を津波予報区単位が発表される。

予想された津波高さは、通常は5段階の数値を使って発表される（表1参照）。なお、地震の規模で

表1 津波警報・注意報の種類⁵⁾

種類	発表基準	発表される津波高さ		想定される被害	取るべき行動
		数値での発表 津波の高さの予想区分)	巨大地震の 場合の発表		
大津波警報	予想される津波高さが3mを超える場合	10m超 (10m<予想高さ) 10m (5m<予想高さ≤10m) 5m (3m<予想高さ≤5m)	巨大	木造家屋が全壊・流出し、人は津波による流れに巻き込まれる。	沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所に避難する。
津波警報	予想される津波高さが高いところで1mを超え、3m以下の場合	3m (1m<予想高さ≤3m)	高い	標高の低いところでは津波が襲い、浸水被害が発生します。人は津波による流れに巻き込まれる。	沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難する。
津波注意報	予想される津波高さが高いところで0.2mを超え、1m以下の場合であって、津波による災害のおそれがある場合	1m (0.2m<予想高さ≤1m)	表記しない	海の中では人は速い流れに巻き込まれ、また、養殖いかだが流出し小型船舶が転覆する。	海の中にいる人はただちに海から上がって、沿岸から離れる。

あるマグニチュードが8を超えるようなプレート境界の巨大地震に対しては、地震の規模を高い精度で短時間に求めることはできない。このような場合には、巨大地震が発生した海域における最大の津波想定等を基に、大津波警報、津波警報または津波注意報が発表される。この発表では、大津波警報と津波警報において、予想される津波の高さを「巨大」や「高い」という言葉を使って表わし、非常事態であることを伝える。さらに、最初の発表の後、地震の規模が高い精度で推定された時点で、大津波警報と津波警報を更新し、予想される津波高さを数値とし発表することとしている。

大津波警報・津波警報・津波注意報の種類、発表基準、津波高さ、そして想定される被害と取るべき行動の概要を表1³⁾に整理した。

3. 緊急津波避難情報システム^{4),5)}

気象庁から発表される緊急地震速報と大津波警報・津波警報・津波注意報の発展形が、緊急津波避難情報である。これは、個人個人に特化した情報として緊急地震速報や大津波警報・津波警報・津波注意報を数百人程度のコミュニティへの配信を対象としている。また、地震や津波の情報だけでなく、適切な避難場所を示すことにも特徴がある。このため、自治体が指定した津波避難所の位置や規模の情報も利用する。

緊急津波避難情報の生成・発信を、数百数千のコミュニティに発信すれば、緊急津波避難情報の受信者は万、10万のオーダーで可能となる。

(1) システムの概要

緊急津波避難情報システムは次の2つの機能を持つ。

1) 情報生成

事前の情報として、登録された携帯電話の位置情報のデータベース化と事前の情報対象地域の避難場所のデータベース化が必要である。地震発生に伴って気象庁から配信される緊急地震速報と大津波警報・津波警報・津波注意報から、情報配信先となるコミュニティの地域に特化した情報を抽出する。

2) 情報配信

配信される情報は次の3つの項目である。

- a) データベースにある携帯電話への津波発生情報の配信
- b) データベースにある携帯電話へのデータベースにある避難場所・経路情報などの配信
- c) 津波警報等の解除に関する情報の配信

情報生成で説明されたように、緊急津波避難情報を利用するためには、配信される緊急津波避難情報を情報端末（携帯電話、あるいはスマートフォン、タブレット、PC等）のメールアドレスを事前に登録することが必要である。この他、家族等への安否情報を送るためには、安否情報を通知するメールアドレスを登録することもできる。利用者が直接システムに登録する場合はQRコードを使う（図5参照）。避難場所のデータベー



図5 利用者登録イメージ



図6 地震情報・津波情報・避難確認で配信されるメールイメージ

スは、自治体が公開している避難場所の情報の他、対象とするコミュニティが独自に設定した避難場所の情報を登録することもできる。

(2) システムから配信される情報

配信される情報項目の内、津波発生情報は、津波発生の可能性を知らせる「地震情報」である。避難場所・経路情報の具体的内容は、予想された津波高さより高い標高にある避難場所に関する「津波情報」である。避難場所に到着したことを確認する「避難確認情報」も含まれる。津波情報は、避難場所の住所の他、位置を示した地図も使い、避難経路を載せることも可能である。さらに、避難が完了した場合に家族等に「避難連絡 (安否情報)」を自動配信することも可能である。図4に配信される情報の概要を示す。緊急地震速報の地震規模・発生位置から、津波発生の恐れがあると判断される場合、地震情報が配信される。地震情報の内容は、津波発生の恐れのある地震が発生したことと、今後、大津波警報・津波警報等の津波情報に注意することを促すものである (図6参照)。

緊急地震速報に引き続いて気象庁より大津波警報・津波警報が発表される場合、津波情報が配信される。津波情報の内容は、大津波警報・津波警報にある予想された津波高さと、データベースにある避難場所の標高を基に、安全と考えられる避難場所の位置や経路に関するものである。津波情報を受信した利用者は、津波高さに応じた適切な避難場所の情報を得ることになる。具体的には、安全と考えられる避難場所情報と地図表示用の URL が配信される。URL をクリックすると地図が表示される (図6参照)。津波情報の受信後、利用者は、避難場所を確認し、指定された避難場所に避難することになる。

避難確認情報は、利用者が避難場所に到着したことを確認するメールであり、緊急津波避難情報システムの管理者が受信する (図6参照)。コミュニティのリーダーはこの管理者となることもできるし、管避理者でなくとも避難確認情報を直接知ることができる。なお、利用者は指定された URL に接続することだけで、避難確認情報の



図7 安否情報イメージおよび避難確認状況の管理画面イメージ

発信ができる。無事に避難できたことが管理者に自動配信される他、あらかじめ設定した避難連絡を通知するメールアドレスにも配信される（図7参照）。最後に、気象庁より津波解除情報が発表されると、利用者に解除の情報が配信される。

(3) システムの管理者

緊急津波避難情報システムでは、利用者とは別に、システムの管理者が必要である。前述のように、管理者はコミュニティのリーダーであってもよいし、他に代行してもらってもよい。管理者は管理画面（図7参照）を使って避難状況を逐次チェックする。例えば、避難確認情報が配信されると、管理画面にはデータベースにある利用者一人一人に対応しただけ赤色のタイルが表示される。ついで、避難連絡（安否情報）が受信されると、避難連絡をした利用者に対応したタイルが緑色に変わる。なお、避難連絡（安否情報）は、受信者が避難確認情報にある URL をクリックするだけで送信される。

4. 緊急津波避難システムの実用化に向けて情報の社会実験

緊急津波避難情報の実用化に向けて以下の地域で社会実験を実施した。



写真1 社会実験を実施した場所



写真2 社会実験説明風景



写真3 避難状況



写真4 管理画面

(1) がれき処理現場での社会実験

この社会実験は、2012年5月14日「宮城県災害廃棄物処理現地亘理名取ブロック【名取処理区】」で実施した。この実験の目的は、緊急津波避難情報システムの動作確認、および携帯端末の登録方法、緊急津波避難情報を配信する際の課題の抽出と整理、安否確認の操作方法に関する課題の抽出と整理、管理画面に関する課題の整理であった。実験への参加者は、がれき処理現場で実際の作業に従事している現場従業員、作業員、システム開発者を含め54名であった。社会実験は、津波高さ5mの津波が来襲するとの条件で実施した。



図8 ソロモン地震での稼働状況

社会実験を実施したがれき処理現場の事務所とその近傍の津波被害の状況を写真1に示す。がれき処理現場には、津波避難場所として標高約7mの高さに事務所を設けており、さらに事務所の横に従業員全員が避難できるスペースを設けていた。社会実験の事前説明の状況を写真2に示す。写真3は作業員の避難状況を示す。写真4は、社会実験で実際に写された、利用者の安否情報の表示画面を示す。なお、この社会実験では、54名中25名の利用者から避難完了の情報を受信することができなかった。

社会実験後、がれき処理現場では、緊急地震速報と大津波警報・津波警報・津波注意報を利用した緊急津波避難情報システムの仮運用を開始した。図8に2013年2月6日に発生したソロモン沖地震の例を示す。この地震を受けて、気象庁より津波注意報が発表され、実際に緊急津波避難情報システムが稼働し、緊急津波避難情報が発信された。2013年10月26日の地震に対しても、気象庁より津波注意報が発表され、緊急津波避難情報システムが稼働し、緊急津波避難情報が発信された。

(2) 自治体防災担当者を対象とした社会実験

この社会実験は、2012年11月12日、高知市防災政策課職員を中心に実施した。職員は自治体の防災担当者であり、社会実験の目的は津波避難の机上訓練である。机上訓練には、市内の自主防災組織と高知工科大学が参加し、総勢111名となった。全参加者はメールアドレスを使った利用者登録を行う。机上訓練の内容は、地震情報・津波情報・避難状況確認・避難状況連絡・解除情報が自動的に配信され、配信された緊急津波避難情報に応じた適切な対応をとるというものである。

防災担当者の机上訓練では避難以外の行動をとることが検討された。例えば「津波情報」を受信した際、防災担当者は、最寄りの避難場所を選択し、緊急津波避難情報システムに連絡する。システムの管理者となった防災担当の責任者は、管理画面を使って各担当者が選択した避難場所を確認する。さらに責任者は、管理画面を使って、各防災担当者に二つの指示を出した。指示の発信はシステムの新しい機能である。指示の内容は、現在の避難場所から別の避難場所へ移動することと、移動する時点での被害情報を報告することである。

この社会実験に参加した防災担当者に緊急津波避難情報に関するアンケート調査を行った。その結果、メールが受信できなかった防災担当者が半数ほどいたことが判明した。この原因は、携帯電話のフィルターに引っかかったためである。フィルターの解除は不慣れな者には難しい。緊急津波避難情報システ

ムからのメールを実際に受信できるかの確認が重要であることが判明した。なお、本社会実験は、2012年11月21日の高知新聞で報道され、「双方向で安否を確認」と題して緊急津波避難情報の有効性が紹介された。

(3) 仙台市三本塚地域住民を対象とした避難訓練実施

仙台市三本塚地域住民の協力を得て訓練を実施した。参加者に年配の方が比較的多かったため、携帯電話でのメール操作が不慣れであり、受信・操作方法の説明会を行った後に訓練を実施した。

この訓練に参加した住民は、津波被害に遭遇した体験があり、家族への安否確認情報が利用できることへの関心が高かった。写真5は、住民が高速道路への避難状況を示す。



写真5 高速道路上に避難した住民

5. 緊急津波避難情報の実用化に向けて

緊急津波避難情報は、数百人のコミュニティに対して発信し、個人個人にとって適切な避難場所・経路に関する情報である。この情報の生成・発信を行うシステムでは、避難終了後の安否情報も適切に処理することができる。この現状は十分評価できるものの、ハザードマップや避難マニュアルを超えた、津波避難を進める仕組みとしては更なる検討が必要であることは確かである。社会実験は、準備を整えた参加者が行うものであり、不意をついて発生実際の津波に対する有効性は実証されていないからである。

緊急津波避難情報システムの実用化に向けての課題を以下に示した。

1. 携帯電話のメール利用環境は、迷惑メールフィルターの設定方法が携帯電話の運営会社や機種で異なる。従って、緊急津波避難情報システムで配信されるメールが迷惑メールフィルターで届かないことを防ぐ工夫が必要となる。
2. 携帯電話やスマートフォンの利用範囲は、年々、広がっていることは事実である。しかし、地域によっては携帯電話への接続条件が悪いままで、緊急津波避難情報に関するメールの受信に大幅な遅れが生じることが分かった。全国一律は現実的ではないものの、できるだけ一律に通信環境を整備することが、緊急津波避難情報の実用化を支えることになる。
3. 今後、携帯電話やPCに代わってスマートフォンやタブレットの利用者が増加することが予想される。情報端末の進歩・発展に応じて、柔軟に対応できるような緊急津波避難情報システムとすることが必要となる。緊急津波避難情報の内容も、より高度なものとするのが望まれる。現状の多数を対象としたテキスト情報に比べ、個人に特化した地図情報も提供するという緊急津波避難情報は新しい試みであるが、陳腐化も早い。緊急津波避難情報システムと緊急津波避難情報の内容を、持続的に更新する努力が必要である。
4. 緊急津波避難情報は、数百名のコミュニティを対象とするところに特徴がある。具体的なコミュニティは、自主防災組織の他、企業、自治体および学校である。コミュニティの特性に応じて、緊急

津波避難情報の配信順序や内容を変更することも必要となる。実際、自治体の防災担当では、避難状況の報告という機能が追加されている。

5. 今後、本システムを高齢者などの災害弱者を対象とした安全・安心情報を配信可能とする機能を持たせたものに発展させる計画である。

参考文献

1. 気象庁；津波警報・注意報の改善に関するこれまでの取り組み、緊急地震速報を活用した津波警報・注意報の流れ、平成 18 年 10 月 2 日 <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/known/tsunami/newmethod.html>
2. 気象庁、緊急地震速報（警報）及び（予報）について
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/portal/shikumi/eew_shousai.html
3. 気象庁、津波警報・注意報、津波情報、津波予報について
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index_tsunamiinfo.html
4. 大保直人、今村文彦、寺田賢二郎、有賀義明、堀宗朗、山内芳朗、高田史俊、稲垣幸子；緊急津波避難情報システムの開発、地域安全学会概要集 No.31、2012
5. N. Ohbo, M. Hori, F. Imamura, K. Terada, Y. Ariga, M. Sugawara, Y. Yamauchi, F. Takada, and S. Inagaki, Development of System for Distributing Urgent Evacuation Information during Tsunami and its application, , 16WCEE, 2017, Paper N° 1320

2016年熊本地震後の高齢者住宅の被害実態 — 図面分析と事業者への聞き取り・ケアプラン閲覧調査から —

社会福祉法人敬友会 高齢者住宅研究所 志垣 智子

Survey of Received by Elderly Apartment to Accept Disaster Victims in 2016 Kumamoto Earthquake -Case Study on Interviewing by Care Manager Involved and Viewing from Care Plans-

Tomoko SHIGAKI

Institute of Elderly Housing Sciences, Social Welfare Cooperation KEIYUUKAI,
Osaka City, Japan

概要

地震災害による人間被害に基づく高齢者住宅の居住環境について図面分析（全国悉皆アンケート調査 632/2055 棟）を行い、その代表事例（キッチン廊下設置型、奥行/間口：2.0）を対象に、2016年熊本地震による高齢者住宅の被害と被災者受け入れの実態を明らかにした。4月14日、16日両地震による人命に関わる死傷はなかったが、比較的軽い要介護者が不安を訴え1階の共用空間へ避難した。居室内廊下に設置されたキッチン周辺は散乱、冷蔵庫は転倒し避難経路が阻止されたがベッド上が安全空間であったためそのまま居室で生活継続できた。被災者受け入れは家族が主に介入し、15日から始まり区内外の自立者が目立った。

Summary

The present study clarifies the state of health hazards present and supports of accepted disaster victims immediately after the earthquake in Kumamoto using elderly apartment as example. A questionnaire survey was conducted on 632 of 2055 elderly apartment buildings across Japan. Floor plans were analyzed and categorized into four types, especially focused the kitchens which damaged more severely, one is hall set type and surveyed by telephone and door-to-door visits in Kumamoto. The results showed that although there were no deaths, inability to secure an escape route to the front door because the amount of mess inside the home due to falling furniture. Residents lived in groups in first floor dining halls and other communal areas due to psychological instability such as panic caused by the earthquake and aftershocks. The large volume of requests received by elderly apartment from self-supported people to accept disaster victims supported by their families was attributable to earthquake damage making housing inhabitable nearest neighbor.

Keywords: Human casualties, Disaster Earthquake, Aftershocks, Family Support, Elderly Apartment

1. はじめに

地震災害による人間被害に基づく高齢者住宅の居住環境を調査・分析している。本報告では全国悉皆アンケート調査から図面分析を行い被害に影響を与えるキッチンの有無別配置場所別に4分類した中から1タイプを事例として、2016年熊本地震後の高齢者住宅の入居者の室内環境の変容、入居者の被災状況、安否確認、避難行動の有無とその支援の主体、被災者の受け入れの実態等の詳細を明らかにする。

2. 研究方法

1) 高齢者住宅の全国悉皆アンケート調査

「住み替えの住まい」としての機能評価¹⁾・注1)より全国悉皆アンケート調査(2012年12月末時点登録済632/2055、回答率30.8%)から得られた高齢者住宅の平面図を対象とし、室内変容に影響を与えるキッチンの配置場所4タイプ(キッチン無、キッチン廊下設置型、キッチン寝室設置型、キッチン独立型)と家具の配置等に影響を与える奥行/間口別(1未満、1.0 1.5未満、1.5以上2.0未満、2.0以上2.5未満、2.5以上)の5タイプに分類し居室内の安全空間を分析した²⁾(図1、表1)。

1. 間口3000mm以上でベッドの縦横の配置の自由度が高くなる。
2. 奥行/間口が1.5未満は避難経路が確保できるが2.0以上では難しく、ベッド上とその周辺の安全を確保することが最優先となる。
3. 地震時の人的被害に直接的・間接的に影響を与えるのは可動式・高さのある収納家具が住宅から提供されている場合やトイレの扉が一部アコーディオン(要介護度の高い入居者が多いキッチン無が主)、玄関ドアが開き戸等(自立者が多く入居するDK(ダイニング、キッチン)がある)。

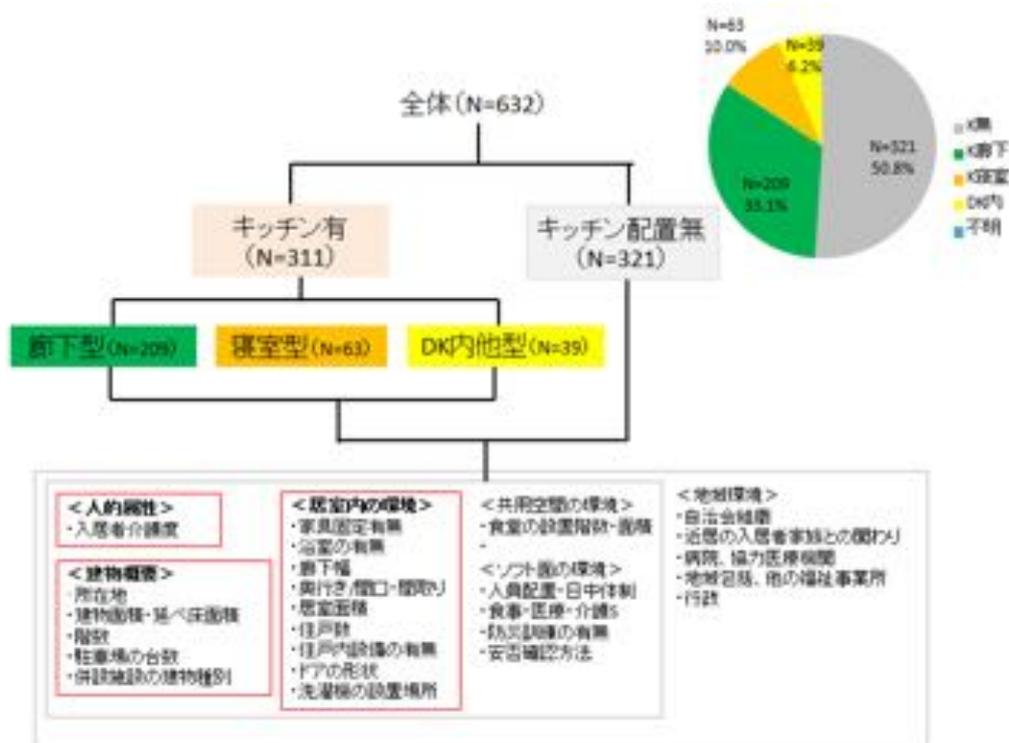


図1 図面分析によるキッチン有無別・配置場所別と各指標

表1 キッチン配置場所別・奥行/間口による安全空間確保の有無

キッチンの有無と 奥行/間口	a	b	c	d	e
	1.0未満	1.0以上1.5未満	1.5以上2.0未満	2.0以上2.5未満	2.5以上
K無	家具配置の自由度が高い 避難経路となる廊下を作る		ベッド周辺に家具等を置かないようにする		
K有	DK内	K→玄関(直通)は避難経路確保が難しいため、ベッド周辺の安全確保要 K→廊下⇒玄関の場合は避難経路確保に注意			
	寝室	避難経路確保可	Kから最も離れた場 所にベッドを配置	ベッドのレイアウト、 家具の備付の有無に注意	
	廊下	廊下幅によって避難経路確保可	廊下は危険度が高くなるため、 居室内、ベッド周辺の安全確保		
a,b,c ≧間口3000mm)					

2) キッチン廊下配置型の住宅を事例とした被害調査

本研究は熊本県熊本市A区にあるキッチン廊下配置型(d:奥行/間口=2.0)高齢者住宅(注2)3)に居住する高齢者を対象に2016年熊本地震発生直後の4月14日からそれ以降の時間軸と被害の実態、被災者受け入れの動向を明らかにし、災害時の課題と利点を整理する。

調査対象施設は熊本市北区にある高齢者住宅1棟である(表2)。調査実施回数は全4回で直接訪問した2016年5月30日6日2日を除くと電子メール、電話によるヒアリングを行った(表3)。地震発生前に福祉避難所として指定はされていない。ケアプラン等の文書調査による入居者の基本属性の把握を行い、施設管理者(介護支援専門員、以下CM)、生活相談員に人的・物的被害の実態、安否確認、避難行動の支援の有無、入居者の家族からの支援の有無、被災者受け入れの詳細をヒアリング調査した。1階に居室が2室、食堂(138.6m²)、相談室(12.24m²)、2・3・4階に居室が各15室あり、居室(間口3600mm、奥行7200mm)には廊下下面してミニキッチン、浴室、トイレが付帯し玄関に洗濯機が設置できるスペースが設けられている(図2)。

表2 対象とする住宅の基本情報

		介護付有料老人ホームA 特定施設入居者生活介護、 介護予防特定施設入居者生活介護)
法人種別		株式会社
延べ床面積		2,181.37m ²
敷地面積		2,342.93m ²
構造・階数		鉄骨造 4階
居室	住戸数	47室(1階:2名、2~4階:各15名)
	設備	洗面、暖房便座、緊急呼出装置、収納、 下駄箱、浴室、ミニキッチン、洗濯機スペース、 固定電話設置可能、玄関収納椅子・エアコン
共用	共用空間	食堂(1階)、相談室(1階)
	共用設備	冷暖房完備、エレベーター、 温水洗浄・暖房便座付トイレ、 特殊浴室、緊急通報システム、 来客者駐車場(7台可)、自転車置場(8台可)、 インターフォン、ゴミ置場
住戸プラン		1K 25.02m ²
開設時期		2011年8月
立地環境		徒歩15圏内に 商業施設、銀行、郵便局有、 主要駅から車で5分
料金	家賃	82,000円
	管理費※	32,400円
	食費	38,880円

3) 倫理的配慮

研究趣旨を説明し匿名性とプライバシーを遵守すること、および研究目的以外で利用しないことを明確に表明しヒアリングを行った。分析にあたっては、ヒアリング、ケアプラン等から得られた情報はすべてデータ化し、事業者および対象者の匿名性が確保されるようにした。

3. 結果

1) 地震発生時の入居者の属性

入居者の性別は男12、女29の計41名、平均年齢87.1(±7.8)歳(中央値87)年齢は53歳から98歳まであり、後期高齢者である75歳以上が全体の95%を占める(図3)。要介護度別をみると平均要介

表 3 調査の概要

調査日時	調査対象者	調査方法	調査内容
2016年5月30日 ～6月2日	地震前からの入居者 N=41) 地震によって転居した被災者 (N=9)	・文書調査 (ケアプラン、介護日誌等) ・ヒアリング調査 (CM、生活相談員他)	基本属性の把握 被害の実態、安否確認・避難行動、家族からの支援の有無、被災者受け入れの実態等
2016年7月8日	-	・メールによる質疑 (CM、生活相談員他)	地震後の地域との関係について
2016年8月8日	その後の入居者について N=2)		基本属性、入居の状況
2016年12月29日	地震後、避難行動の支援を要した入居者 N=4)	・電話によるヒアリング調査 (生活相談員)	基本属性、避難行動の支援の具体



図 2 1 階平面図兼配置図

護度は 2.3^{注 3)4)}、要支援 1～要介護 2 で 7 割を占める。障がい高齢者の日常生活自立度（寝たきり）は、日常生活が自立して生活できる J1・J2 は 7.3%、屋内での生活は概ね自立しているが、介助なしには外出しない A1・A2 は 63% である。認知症高齢者の自立度は 51.2% が自立であり、II a II b までは全体で 9 割を占める。各階の居住者を要介護度別でみると

- 1 階（要支援 1・2：無、要介護 1・2：1 名、要介護 3～5：無）、
- 2 階（要支援 1・2：2 名 要介護 1・2：6 名、要介護 3～5：4 名）、
- 3 階（要支援 1・2：3 名 要介護 1・2：6 名、要介護 3～5：6 名）、
- 4 階（要支援 1・2：無 要介護 1・2：11 名、要介護 3～5：2 名）であった。

2) 被害の実態

a) 人的・物的被害の実態と生活状況

2016 年 4 月 14 日、16 日の両地震では、ベッド上で寝ている時間帯と重なりベッド上が安全空間だったことや窓ガラスの飛散もなかったため人命に関わる死傷はなかった^{注 4)}。廊下に設置されたキッチン周辺は散乱し、冷蔵庫も一部の住戸で転倒したため避難経路を阻止された。建物被害は上階ほど居室内の散乱度が高かった。また 3 階居室、1・2 階階段、1 階相談室の壁にクラックが見られた。設備ではエコキュートが一機故障し、3 階の廊下中が水浸しとなった。電気は 30 分後に復旧し、自家発電機が作動していたため支障はなかった。上下水道は半日で復旧した。IH 使用のため厨房での調理が可能であつ

た。エレベーター（以下、EV）は直後から故障し業者による修理後、21日午後から再開した。玄関ドアは開き戸であったが階にかかわらず歪み等はなかった。

b) 職員による安否確認と職員が避難行動の支援を行った5人の詳細

14日は管理者1人が車で10～15分圏内に居住していたため施設へ向かうことができ、また近隣の職員5名が集まり計6名で対応した。4月14日22時半：館内一斉放送（入居者は居室で待機）、その後上階から各居室入居者全員無事を確認し、23時～24時には全入居者の家族に電話を入れ安否確認が終了した。同時に全職員の安否確認をメールにて行った。14日24時頃、居室を出て共用空間へ避難したいと自分の意向を訴えられる5人を優先的に避難させる一方で要介護度の高い入居者は地震の揺れに対して精神的に驚かれず避難の意向はなかったため、居室で待機した。14日24時半頃スタッフ6名で全居室のベッド上の落下物がないか点検をし、特になかったことから点検終了した。

14日の地震直後より不安のため3階の居室から1階の共用空間へ避難したいと訴えたAさん（3階居住、女、96歳、介護度：要介護2、寝たきり度A2、認知症：自立、以下同様）は屋内階段で避難する際に横について体を支えるかたちで職員が一部移動介助した。同様に他の4名Nさん（2階居住、女、89歳、要介護2、A2、I）、Oさん（4階居住、男、95歳、要介護1、A1、自立）、Tさん（4階居住、女、91歳、要介護2、A1、II b）Sさん（4階居住、女、86歳、要介護1、A2、II b）も屋内階段を利用して職員1名がそれぞれ移動介助を行った。地震発生直後からEVが使用できなかったため、入居者にとって慣れない階段を使用した移動に伴う負担に疲労の様子が見られた。夜中、明け方になると居室で寝たいと訴えられるケースが多かった。

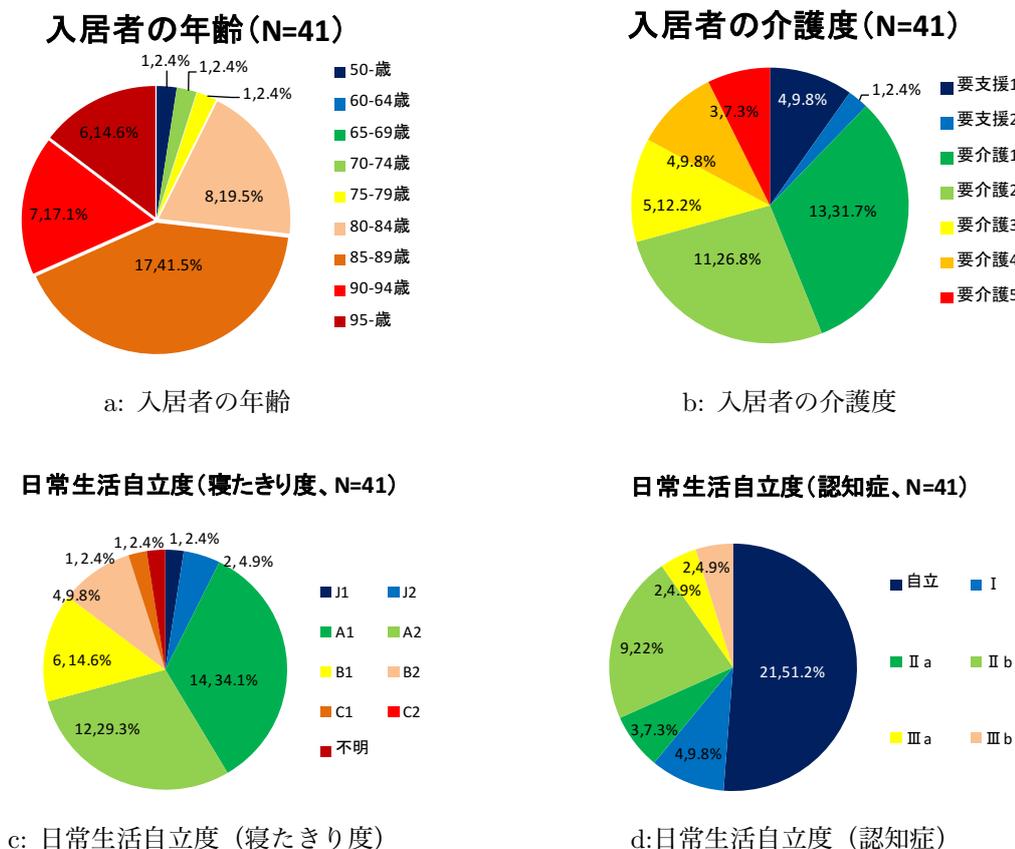


図3 地震発生時の入居者の属性 (2016年4月14日時点)



図4 居室の間取りと室内の様子（2016年6月1日筆者撮影）

16日の地震後、動悸の症状が地震前からあり精神安定剤を服用していたBさん（4階居住、女、86歳、要介護3、A1、自立）にパニック症状が見られたが、足腰に力が入らず1階へ避難希望するもののお部屋で待機するようにお願いし、職員の見守りによる頻度を高めた。

c) 入居者の家族からの支援の有無、サービスの提供状況他

4月14日の地震後、入居者の家族2名は翌日に来訪し、他の入居者も1週間以内には来訪し散乱した居室の環境整備等の支援を行っていた（一部主介護者が他県に居住、死別し身寄りのいない居住者を除）。医療巡回の頻度は通常2週間に1回で、地震後サービスの停止はなく平常通りであった。歯科巡回は毎週であったため地震によって1週間はサービスが停止した。その他の理由として断水していたので治療再開の目途がつかなかったこともある。食事については居室配膳での対応であった。お元気な方に対してはアルミホイルを使用し、包装したものを提供し、介助や見守りが必要な方については各階空き居室にて食事提供を行った。15日朝、本部とのweb会議の結果、備品と食料の援助を受けることと同時に余震が続くため15日から1週間の間夜勤を2人体制に、4月末まで最大7名の職員派遣を要請した。行政への要請は行っていない（注5）⁵。要介護4、5の寝たきりの方は備蓄していた液体OS1、高カロリー飲料等で数日間をしのいだ。

地震災害後に直面した困難な生活支援は入居者（男、86歳、要介護1、A1、II a）が4月19日肺炎になり、職員が病院へ車で搬送したものの（通常は20分程度）地震後で人出不足もあり移送が困難であった。また近居している家族も被災者であり通常通りの来訪ができず、職員による居室散乱後の片付け等の生活支援が1か月程度続いた。

d) 地域への支援他

両地震の発生直後とそれ以降で地域から支援してほしいとの要請は無く、本部から提供されていた食料について提案したが、町会として物資受け入れを停止しており公には受付けていなかった。普段の交

流は町内会には入っているもののイベント等の出席はなく地震後の交流も行われていない（2017年1月時点）。反省点として近くに一時避難場所として小学校があり、もう少し施設の情報を公開していれば地域住民が避難できたかもしれない、と高齢者住宅の利点を生かせなかったことを挙げている。

表 4 2016 年 4 月 16 日以降の被災者 9 名（8 世帯）の受け入れ詳細（2016 年 6 月 2 日時点）

D	1	2	3	4	5	6	7	8
性別	女	女	男	女	女	男	女	男
年令	80	不明	89	86	82	73	72	75
介護度（入居前）	自立	自立	自立	自立	要介護 4	自立	自立	要介護 1
介護度（入居後）	要支援 1	自立	要支援認定（特）	要支援認定（特）	変化なし	自立	自立	要介護 1
居住地（従前）	中央区大江	北区清水新地	南阿蘇	南阿蘇	中央区	北区龍田	北区龍田	中央区九品寺
一時・実入居	一時→実	一時	一時→実	実	実	一時	一時	実
世帯状況	独居	独居	同居	同居	独居	夫婦	独居	同居
同・別居	無	別居	別居	同居	同居	同居	別居	同居
子の居住地	無	近居	福岡	不明	不明	不明	近居	不明
入居期間	～ 5/31、6/1～	～ 5/14	4/16～4/20	5/20～	5月13日15時～14日14時まで	5月13日	5/29～	5/22～
直前の居場所	自宅	通所介護施設	避難所	避難所	老人保健福祉施設	自宅	病院	病院
入居理由	自宅が被災し、住めないため	デイ施設に長期入居できなかったため	自宅が被災し、避難所ではじりたでの起居が不便なため	自宅が被災したこと、パニックで落ち着かないため	老健が被災したため	罹災証明が発行されるまで、仮）福祉避難所として受け入れ要請があったため（時的）	退院後の体では自宅が上階にあり、EVI 無く不自由なため	自宅被災し、医療措置（インシュリン）要で娘が在宅介護に不安を覚えたため
紹介者	居宅介護事業所 N CM	家族（息子・妹の妹）	家族（息子夫婦）	家族（孫）	居宅介護事業所 N CM	行政	A 病院 MSW	B 病院 M SW
見学者	司法書士、CM、本人	家族、本人	次男と本人	不明	見学無	夫婦	息子	娘
状況	自宅が高層階級年数古いマンション。地震で住める状態ではない。夫とは死別。身寄りもなく、司法書士が保証人として動いている。	在宅で通所介護サービスを受けていた。自宅被災して、デイ施設に一時避難していた。デイに友人がおり戻りたいと、体験入居・食費のみ 1 日 1200 × 日数。	住宅が半壊。家族は入居してほしい。仮入居の申込あったが、本人が自立で元氣。本人は一人で暮らしたいということで、震災をきっかけに受け入れをすること。	パニック症状が見られた。地震の揺れがあまりにショックを受けて診察を頼む。本施設 1階の食堂と一緒に暮らすようにしたが、暴れ、暴言を言う 照明を見て砂が落ちてきた。1 週間は落ち着いたら呼び寄せたい。数か月程度の入居期間予定。	居宅介護事業所の紹介者からお付き合いはなかった。特養に申込希望で短期入所を繰り返す。一時入居（1 泊）。	行政から要請、北区龍田の方。罹災証明書の手続きが終わるまではここにいた。体験入居だが、食事無、一時入居（1 泊）。	自宅が被災し、足のリハビリで病院に入院する予定だった。息子が会社運営、会社の上司に自宅有、足が悪く上階にEVI投えず、在宅生活できない。自宅→病院→リハビリ進まず、過去の教員の娘（配偶者無）が不安がり、入居に至る。	糖尿病あり、医療措置インシュリン要。足悪くて入院→リハビリ、歩行可能となった。自宅が被災し、今後を考えると、一緒に生活は無理。教員の娘（配偶者無）が不安がり、入居に至る。

3) 事業者による被災者支援の実態

地震直後 16 日早朝より共用空間をすべて開放し入居者、職員の家族等含めて 70 名程度が廊下、食堂、倉庫、各階のエレベーターに隣接する看護介護室（9.7㎡）に一時避難した。被災者の受け入れ要請は、行政、CM、家族、医療ソーシャルワーカー（以下、MSW）からの電話での要請があり 16 日から被災者計 9 名（一時・実際の入居を含）の受け入れを行った（2017 年 4 月 16 日時点で空き居室が 7 室有）（表 4）。性別では男 3 名、女 6 名、年齢は 70～80 歳代、要介護度別では入居前で自立 6 名、要介護 1・要介護 4 は各 1 名であった。当施設が介護付有料老人ホームとしての登録のため、入居条件に必要な介護認定を受けて実際に入居（以後、実入居と記す）する割合が高い。被災者受け入れ要請は本人から直接連絡する事例はなく、行政書士、福祉関係者といった専門職、行政、家族等が介入し、家族・本人の見学を経て実入居に至っている。被災時は独居世帯が 5、同居世帯 3（その内夫婦 1）であった。普段は病院、居宅介護事業所、HP を閲覧して連絡するが多いが、震災後は主に病院からの要請が多く、中央区に病院が多い理由もあり、退院後の自宅が被災し居住できないことから退院先を探していることが理由に挙げられる（3,4 件/日）^{注 6),6)}。その後、病院からの要請が 2 件あり、退院が決まったものの自宅の損壊があり居住できず転居先として当施設に入居している（男：要介護 2、現病歴：高血圧症、腰部脊柱管狭窄症、腰椎分離症、女：要介護 1、心原性脳梗

4. 結論と今後の課題

本研究は、図面分析から得られた室内変容に影響を与えるキッチンに注目しキッチン廊下配置型の高齢者住宅 1 棟を事例として 2016 年熊本地震による被害の実態と被災者受け入れの動向を明らかにした。上階ほど室内変容が大きく廊下のキッチン周辺は食器や用具が散乱し冷蔵庫も転倒したため避難経路が阻止され居室内で待機しなければならなかったが、居室内はベッド周辺に背の高い家具等がなく直接的な人的被害はなかった。14 日の地震発生直後から上層階に居住する比較的要介護度の軽い入居者が不安を訴え、職員 1 名がそれぞれ移動介助し屋内階段を利用して 1 階共用空間へ避難した。職員、家族への安否確認はメール・電話等で行い発災後 1 時間以内に終了した。また 15 日から夜間を 2 名体制にし、日中は 6 名と 4 月末まで県外から職員 7 名を派遣されていた。入居者の家族は近居が大半であり、同時に被災者でもあるため直後は一部を除いて来訪者は無く居室の環境整備は職員が生活支援を行い負担増となった。被災者受け入れは家族、CM、MSW、行政が介入し自宅が被災し在宅継続できない比較元的元

な高齢者が入居条件である介護認定を申請し入居する事例が見られた。今後はより多くの県内の高齢者施設を対象とし、図面分析に基づく室内変容とその後の支援・ケアの負荷の関係、熊本地震後に入所した高齢者の実態を家族の被災状況別に明らかにするとともに、後方支援の有無が決まる高齢者住宅の事業種別・規模ごとの支援の具体を長期的に検証する。

謝辞

本研究の一部は研究助成（課題番号：26750020）に基づいている。また対象となった住宅事業者より資料提供や貴重な意見をいただいた。記して、謝意を表します。

注釈

1. 高齢者住宅研究所は 2012 年 12 月末日開設済みのサービス付き高齢者向け住宅を対象に「住替えの住まい」としての機能評価（948 棟/2055 棟対象・回収率 46%。アンケート・契約書・平面図・登録事項説明書等・パンフレットを回収）を行っている（2013 年 4 月に実施）。
2. 有料老人ホームは全国で 11901 施設 3）（介護付 3763、住宅型 8,080、健康型 18、介護付+住宅型 40）（2017 年 1 月 4 日付）、熊本県は全国上位 10 位である（介護付 39、住宅型 347、健康型 0、介護付+住宅型 0）。
3. 厚生労働省：平成 27 年介護サービス施設・事業所調査の概要 4）の中で用いられている平均要介護度の算式を採用した。平均要介護度＝在所者の要介護度の合計/要介護 1～5 の在所者数の合計。
4. 各居室のレイアウトをヒアリングしたところ、図 1 のように奥行長辺に平行にベッドを配置し（頭の位置は開口部と反対側にして背臥位）、背の低い家具を反対側の長辺方向と平行に配置する居室が多くみられた。3 階に居室で高さ 190 センチ、奥行き 50 センチ、横 120 センチの柵を設置していたが、ベッド上には倒れてこなかったため負傷を免れた。バルコニーのエアコンの室外機がずれる、特浴室の裏、給湯器の固定する鎖が外れた。4 階全居室の廊下に設置していた冷蔵庫が転倒、破損した。2、3 階南側角部屋のみ収納柵空けられなくなった。比較的要介護度が軽い入居者が多いため浴室は福祉用具等が少なく地震後の室内整備の際、物置として利用できたことは利点であった。
5. 社会福祉施設に対する福祉人材の応援体制は 4 月 17 日付で、社会福祉施設への要援護者の受け入れ等に伴う必要な福祉人材の応援体制について自治体・関係団体に対して必要な措置を要請する通知を発出。4 月 22 日付で、社会福祉施設に派遣可能な福祉人材の登録について関係自治体への要請に係る通知を発出。4 月 29 日から、派遣可能な福祉人材と施設のニーズのマッチングを開始。※ 8 月 31 日までの間に、約 60 施設に対し、約 6,400 人日の福祉人材を派遣 5）。
6. 熊本市救急災害医療協議会の資料 p14 によると、熊本地震関係出場の外因及び内因出場件数は 4 月 16 日を境に外因>内因から外因<内因に逆転し、内因出場件数は 17 日と 21 日の 2 度ピークを迎える 2 峰性の特性に持つ。4 月から 8 月にかけて医療機関搬送統計によれば、一部の医療機関で前年比の 50 %増が見られた 6）。

参考文献

1. 高齢者住宅研究所：「サービス付き高齢者向け住宅の機能調査」PR、2014 年
2. 志垣智子：人間の地震被害分析に基づく住戸内の居住環境実態：サービス付き高齢者向け住宅を対象として、pp.1105-1106、学術講演梗概集 DVD. 建築計画、2015
3. 月刊シニアビジネスマーケット：総合ユニコム（株）、2 月号、p76、2017
4. 厚生労働省：平成 27 年介護サービス施設・事業所調査の概要
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kaigo/service15/index.html>、2017 年 2 月 2 日参照
5. 内閣府：熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について
<http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/index.html>、2017 年 1 月 24 日参照
6. 熊本市救急災害医療協議会：
https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=997&class_set_id=2&class_id=170、2017 年 2 月 2 日参照

岐阜県域における地盤データ整備と地震動予測事例の紹介

岐阜大学 流域圏科学研究センター 久世益充

Estimation of seismic intensity distribution that used the updated database of soil structure models at Gifu Prefecture

Masumitsu Kuse
Gifu University, Gifu, Japan

1. はじめに

地震災害の軽減策の一つとして、対象地域で発生する地震を想定した被害予測が挙げられる。地域の地盤データや人口、建物などの各種データに基づいて推定した震度や各種被害は、各地の被害様相を知る手がかりとなり、事前対策の基礎資料として活用される。本報では、岐阜県を対象とした地震被害想定調査¹⁾における、地域の地盤データ整備について概説する。これに加えて、岐阜県内の地震動予測に関連し、地域のゆれの特徴について検討した事例について紹介する。

2. 岐阜県域におけるメッシュ地盤データの整備¹⁾

地表地震動は局所的な地盤条件に依存するため、地震動を予測する場合、各地の地盤条件を的確に与える必要がある。近年、ボーリングデータベースの公開²⁾や、地震基盤から地表までの地盤構造や表層付近の地盤増幅率が整備・公開³⁾されるなど、全国レベルの地盤条件に関する情報を容易に入手できるようになった。対象地域の地震動をできる限り正確に予測するためには、これらのデータを活用し、地域の地震動増幅特性を把握する必要があるが、各地の地震動をできる限り詳細に予測するには、前述の全国的なデータに加えて、表層地質図などの地域の平面的な情報や、県内のボーリングデータを追加することが重要である。

岐阜県でも、県内のボーリングデータに基づき、500mメッシュ単位の表層地盤モデルを構築し、地震動予測に用いてきた⁴⁾。1998年に整備されたメッシュ地盤データは、県内の地震被害想定¹⁾の基礎的な情報として長く活用されてきたが、最新の被害想定調査¹⁾においては、各地の地震動をより精度良く推定するために、現行の世界測地系に対応した、250mメッシュ単位の地盤データベースが整備された。地盤データベースでは、既存の地盤モデルと県内のボーリングデータ(基盤面まで到達している約4,100本)、微地形を基に、図1に示す48種類のモデル柱状図を、県内約16.6万メッシュに割り当てた。地盤モデルの分布図を図2に示す。

3. 想定地震の概説と地震動・被害予測に関する各種検討事例の紹介

3.1 断層モデルの概説

2.で前述した地盤モデルを基に岐阜県は、図3に示す想定地震を対象に、地震動予測を実施した。断層モデルの詳細は本報では省略するが、南海トラフ地震は内閣府が公開している断層パラメータ(基本ケース)⁵⁾を基に、等価な断層モデルを作成した。内陸地震については、養老桑名四日市断層帯地震は中

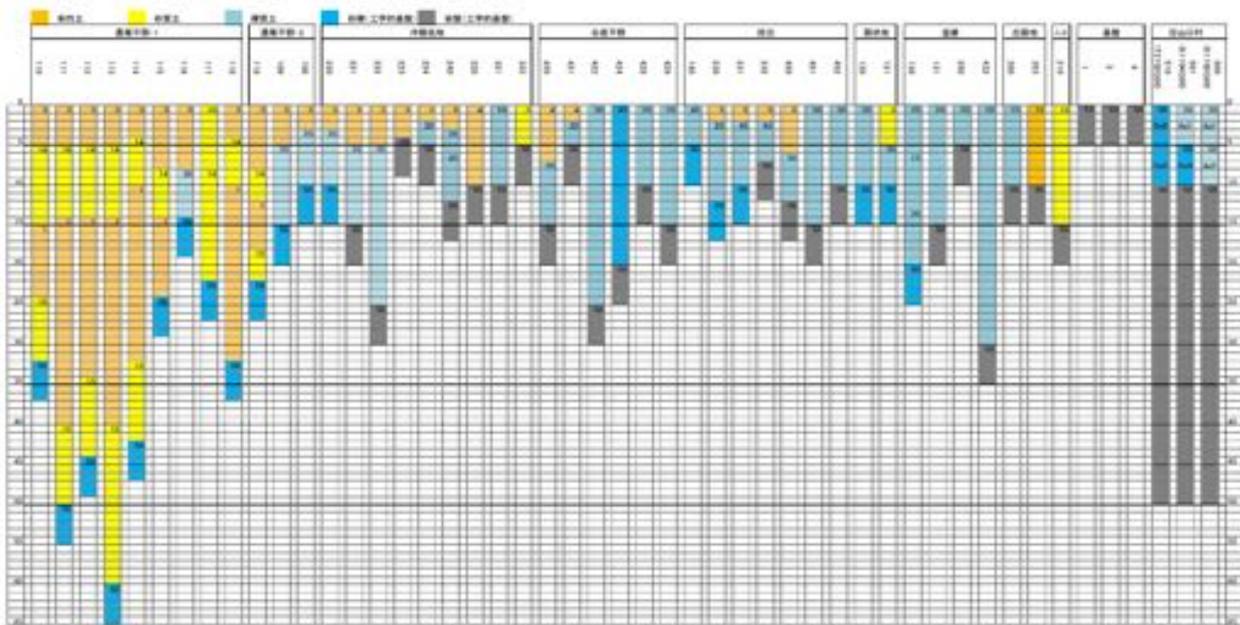


図1 岐阜県のモデル柱状図¹⁾

中央防災会議の資料⁶⁾を基に、等価な断層モデルを作成した。跡津川断層地震，高山・大原断層帯地震，阿寺断層系地震については，断層の大きさに基づいて経験的に設定されたパラメータ⁷⁾を使用した。

3.2 亜炭抗廃坑の影響による地震動増幅特性について

3.1に前述した断層モデルを用いて，岐阜県域の地震動を推定する。地震動の増幅特性については，2.に前述した地盤モデルを用いた。ただし，御嵩町内においては，亜炭抗廃坑の影響により，他地域と地震動増幅特性が異なることが指摘されている⁸⁾。亜炭抗廃坑の空洞を考慮した非線形2次元動的応答解析の結果，図4に示すように，空洞深度が5～15m程度あると地表地震動が大きくなった。そこで図5に示す空洞分布の中で，空洞深度5～15mのメッシュに対しては，推定した地表地震動に計測震度の割増(+0.2)を行った。

3.3 地震動予測結果

以上の検討を基に推定された，震度階分布を図6に示す。地震動の予測においては，非正常地震動予測モデル EMPR⁹⁾を用いて工学的基盤レベル ($V_s=500\text{ms}$ 相当)の加速度波形を算出した。EMPR によって算出した基盤地震動と2.に前述したメッ

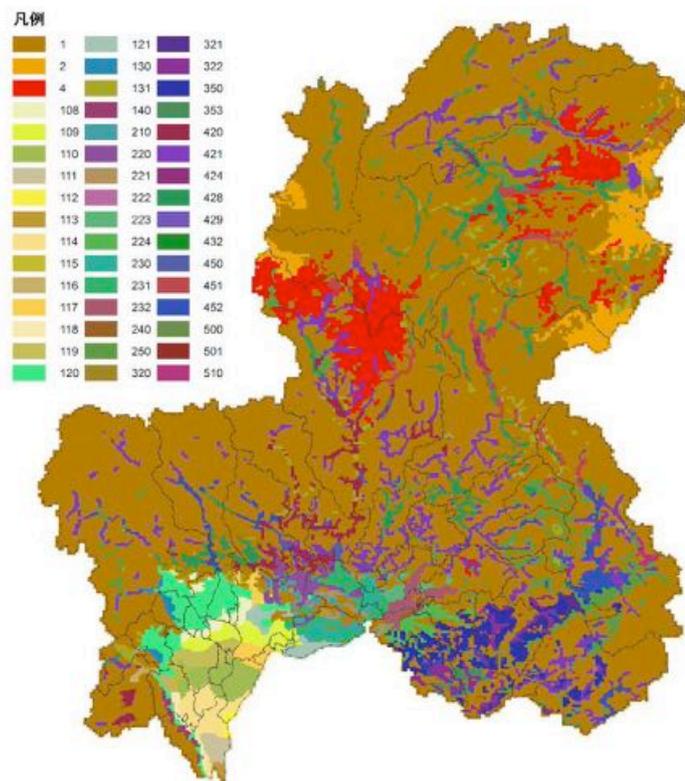
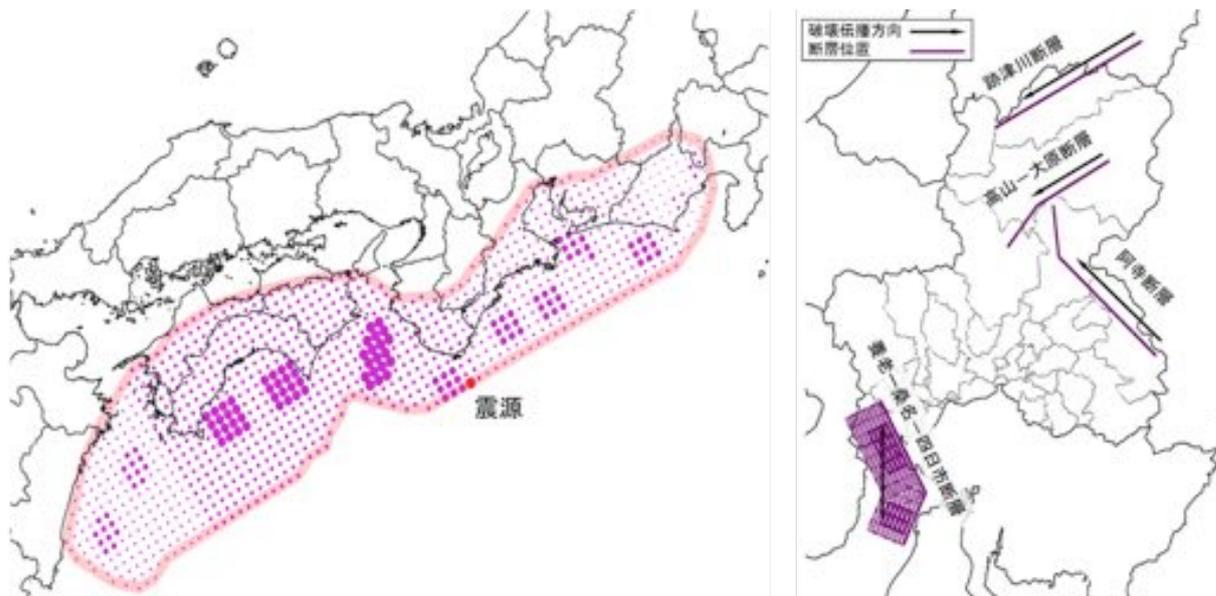


図2 岐阜県の地盤モデル分布¹⁾



(a) 南海トラフ地震

(b) 内陸地震

図3 想定した断層モデル (図中, (a)の丸は小断層位置, 丸の大きさは強震動生成域の分布, (b)の格子は小断層で, 太線の小断層が強震動生成域を示す)

シュ地盤データベースを用いて, 周波数依存型等価ひずみによる地震動応答解析法 $FDEL^{10)}$ により各地の地表地震動を算定した. 図6(a)に示すように, 南海トラフ地震では岐阜県全域で震度5強以上となった. 図6(b)~(e)に示す内陸地震については, (e)の跡津川断層以外は断層近傍で震度7が予測される.

4. 濃尾平野における地震動特性の推定と地震動予測事例の紹介

以上の検討に加えて, 筆者らによる, 濃尾平野特有の地震動特性の検討事例¹¹⁾について紹介する. 図7に示すように, 濃尾平野は深い基盤構造を有しており, 図1,2に前述したように, 比較的軟弱な地盤が厚く堆積している. 本章では, このような深い基盤構造に起因すると考えられる濃尾平野固有の地震動増幅特性について, 観測記録と地震動予測法⁹⁾を用いて推定を行い, 地震動を予測した事例を示す.

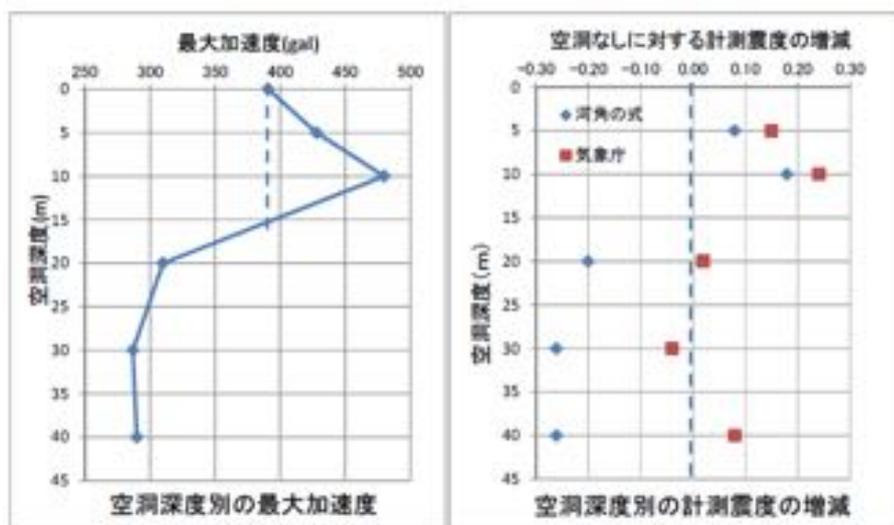


図4 垂炭抗空洞深度の違いによる最大加速度 (左) と計測震度 (右) の比較¹⁾

4.1 推定手法の概説

非定常性を有する地震動は、次式で表現できる。

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{4\pi \cdot G_x(t, 2\pi f_k)} \cdot \Delta f \cdot \cos(2\pi f_k t + \phi_k) \quad (1)$$

ここに、 $G_x(t, \pi f_k)$ は時刻 $t = 0$ 、周波数 f_k における非定常パワースペクトル¹²⁾ ($\text{gal}^2/(\text{rad}/\text{sec})$)、 Δf は振動数の刻み幅、 ϕ_k は $t = 0$ における初期位相角 ($0 \sim 2\pi$ の一様乱数) である。

*Sugito et al.*⁹⁾ は、国内で観測された地震動記録、水平 118 成分を工学的基盤相当に変換した。これを基に、マグニチュード M と震源距離 R に対する、非定常パワースペクトルをモデル化した。さらに、断層の広がりや破壊伝播方向を考慮した大規模断層による非定常パワースペクトルを、小規模断層破壊の重ね合わせとして次式のように表現した。

$$\sqrt{G_x(t, 2\pi f_k)} = \frac{\beta(f_k, M_0) \cdot N_G(M_0)}{N_x \cdot N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sqrt{G_{i,j}(t, 2\pi f_k)} \quad (2)$$

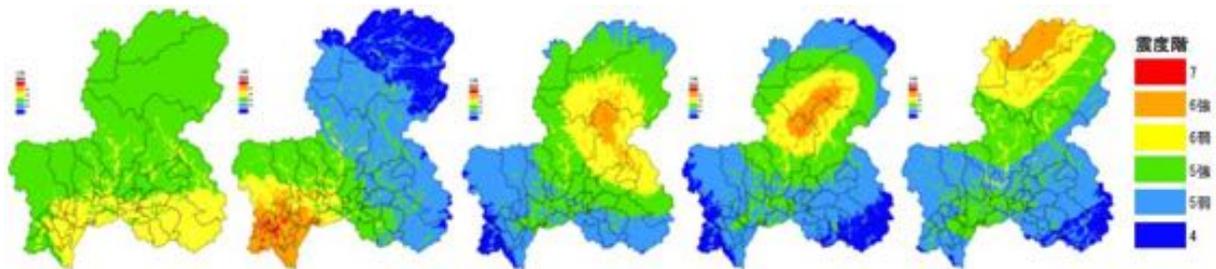
ここに、 $\sqrt{G_y(t, 2\pi f_k)}$ は $M=6$ 相当の非定常パワースペクトル ($\text{gal}^2/(\text{rad}/\text{sec})$)、 N_x, N_y は断層の長さ方向、幅方向の小断層分割数、 $N_G(M_0)$ は地震モーメント M_0 に対する、EMPR が対象とする全周波数帯 ($0.13\text{Hz} \sim 10.03\text{Hz}$) の平均的な非定常パワースペクトルの重ね合わせ数 (以下、本文では、「平均的な重ね合わせ数」と表記する)、 $\beta(f_k, M_0)$ は、周波数ごとに非定常パワースペクトルを補正する係数である。

式 (2) に示すように、EMPR では、モデル化された $M=6$ 相当の非定常パワースペクトルを、 $N_G(M_0)$ 、 $\beta(f_k, M_0)$ を用いて補正することで、所定の地震規模に対する非定常パワースペクトルを算出する。なお、 $N_G(M_0)$ と $M_0(\text{Nm})$ については、次式の関係がある⁹⁾。

$$\log N_G(M_0) = -13.02 + 0.4088 \log M_0 \quad (3)$$

前述の考えに基づき、ある地震の観測記録に対して、EMPR における $M=6$ 相当の非定常パワースペクトルに対する比率、すなわち、観測記録の持つ平均的な重ね合わせ数 $n_g(f_k)$ は、次式より算出できる。

$$n_g(f_k) = \frac{\int_0^T \sqrt{G_{obs}(t, 2\pi f_k)} df_k}{\int_0^T \sqrt{G_{x,M=6}(t, 2\pi f_k)} df_k} \quad (4)$$



(a) 南海トラフ (b) 養老-桑名-四日市断層帯 (c) 阿寺断層系 (d) 高山大原断層帯 (e) 跡津川断層

図6 海溝や断層で想定される地震の震度階分布の比較

ここに、 $\sqrt{G_{x,M=6}(t, 2\pi f_k)}$ は EMPR における、 $M=6$ 相当の非定常パワースペクトル、 $\sqrt{G_{obs}(t, 2\pi f_k)}$ は、観測記録より得られる非定常パワースペクトル、 T は観測記録長さ (sec) である。地域固有の地震動特性推定は、規模の異なる複数の地震により観測された、複数地点の地震動観測記録を使用する。EMPR における、等価な地震モーメント M'_0 は、式 (3) に基づき、次式で算出できる。

$$\log M'_0 = \frac{13.02 + \log \tilde{N}_G}{0.4088} \quad (5)$$

$$\tilde{N}_G = \frac{\sum_{i=1}^m n_{g,i}(f_k)}{m} \quad (6)$$

ここに、 m は用いた観測記録数である。 \tilde{N}_G は式 (6) に示すように、観測記録より得られる周波数軸上での平均値として、 $n_{g,i}(f_k)$ が算出される。すなわち、着目する地震における、地震の規模を考慮した補正パラメータ (式 (2) の $N_G(M_0)$ に相当) である。

式 (5)、(6) に基づき、 M t_0 における、EMPR の重ね合わせ数に対する、観測記録の重ね合わせ数の比 $\gamma_0(f_k)$ は、次式より得られる。

$$\gamma_0(f_k) = \frac{n_g(f_k)}{\beta(f_k, M'_0) \cdot N_G(M'_0)} \quad (7)$$

地域固有の地震動特性の補正係数 $\gamma(f_k)$ は、複数の地震、複数の観測記録より得られた $\gamma_0(f_k)$ の平均を用いる。ただし、 $\tilde{\gamma}_0(f_k)$ の高周波数領域では、ごく表層付近の地盤増幅の影響を受けていると考えられるため、 $\gamma(f_k)$ は、式 (8)、(9) により、高周波数領域を除外した係数として定義する。

$$\gamma(f_k) = \tilde{\gamma}_0(f_k)^{a(f_k)} \quad (8)$$

$$\gamma_0(f_k) = \begin{cases} 1.0 & f_k \leq 0.5 \text{ Hz} \\ 1.33 - 0.67f_k & 0.5 \text{ Hz} < f_k \leq 2.0 \text{ Hz} \\ 0.0 & f_k > 2.0 \text{ Hz} \end{cases} \quad (9)$$

以上の補正係数 $\gamma(f_k)$ を用いて、地域固有の地震動特性を考慮した地震動を算定する場合においては、 $\gamma(f_k)$ を式 (2) に加えた非定常パワースペクトルを用いて、式 (1) により加速度時刻歴を算出する。

$$\sqrt{G_x(t, 2\pi f_k)} = \frac{\gamma(f_k) \cdot \beta(f_k, M_0) \cdot N_G(M_0)}{N_x \cdot N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sqrt{G_{ij}(t, 2\pi f_k)} \quad (10)$$

4.2 濃尾平野における地震動増幅特性

図 9 に、紀伊半島沖地震 (2004.9.5, $M7.1$)、東海道沖地震 (2004.9.5, $M7.4$)、能登半島地震 (2007.3.25, $M6.9$)、東北地方太平洋沖地震 (2011.3.11, $M9.0$) の地震に対して、重ね合わせ数を比較した結果を示す。

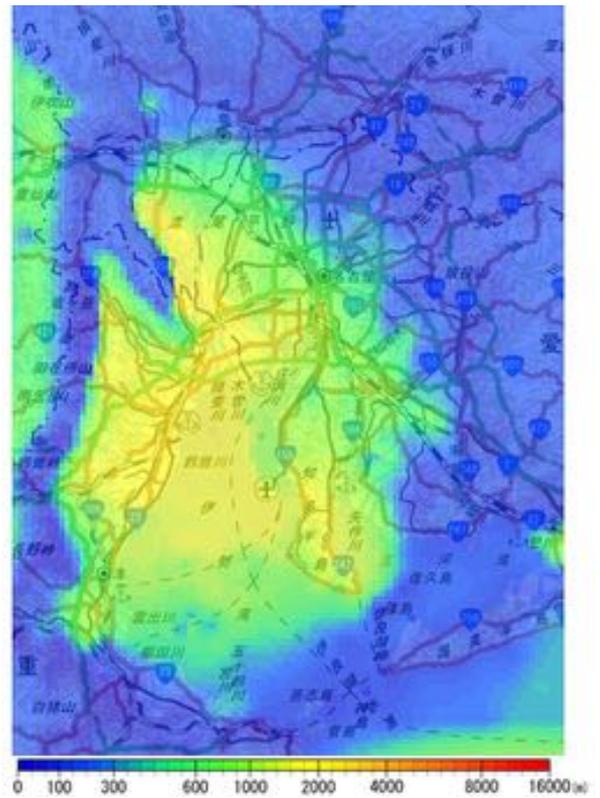


図 7 濃尾平野と周辺の地震基盤震度分布¹¹⁾

なお、地震ごとの比較を容易にするため、観測記録は水平 2 成分の平均値で示し、図中の縦軸は、EMPR の重ね合わせ数に対する観測記録の重ね合わせ数の比で示した。また、図 9 中の黒線で示した東海地方の平均値は、濃尾平野を含む、東海地方とその周辺の K-NET 観測点より算出した値である。この平均値は、EMPR モデルの重ね合わせ数 (図 9 の 1.0)、すなわち、過去の強震記録に基づいた平均的な地震動特性に対する違いであり、当該地震の平均的な地震動特性を現していると考えられる 11)。EMPR モデルの重ね合わせ数、ならびに黒線の平均的な地震動特性と着目地域の違いを比較することで、他の観測記録と異なる、地域特有と思われる傾向を確認することができる。

図より、青で示す濃尾平野内の地点においては、観測地点によって重ね合わせ数の比にばらつきが見られるが、概ね 0.2~0.6Hz 付近の卓越が共通していることが確認できる。なお、図 9(d) の東北地方太平洋沖地震は、他の地震 (図 9(a)~(c)) と概ね同様の傾向を示すが、その比率は小さな傾向を示した。

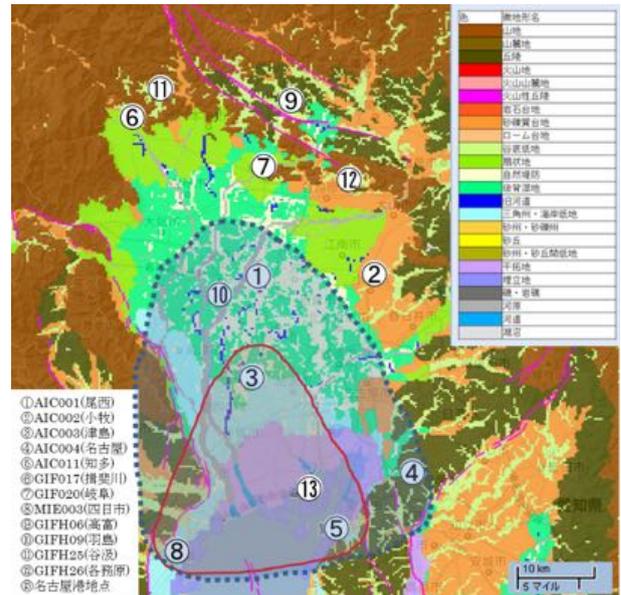
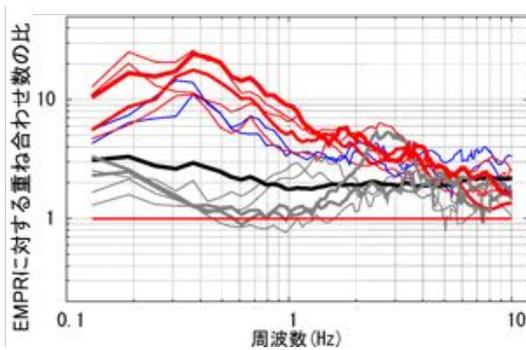
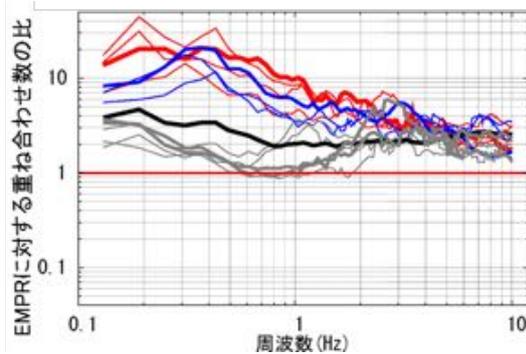


図 8 濃尾平野の地形区分と観測点分布 (J-SHIS に加筆)

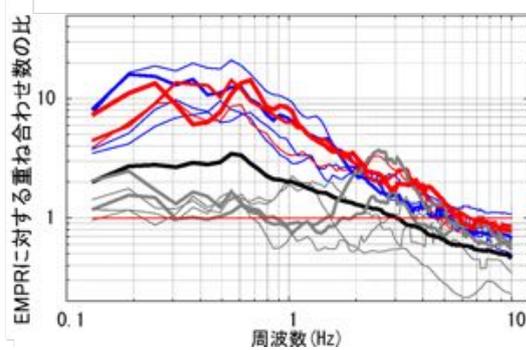
これらの観測地点は東北地方太平洋沖地震の震源



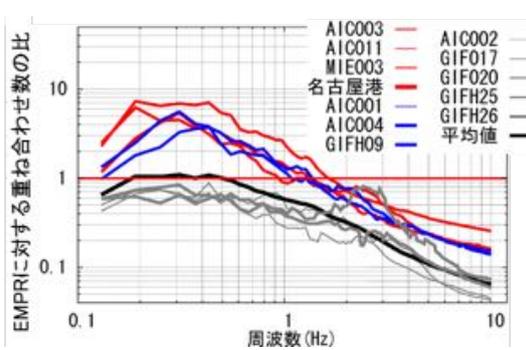
(a) 2004 年 紀伊半島沖地震



(b) 2004 年 東海道沖地震



(c) 2007 年 能登沖地震



(d) 2011 年 東日本太平洋沖地震

図 9 濃尾地震における重ね合わせ数の比較

域から 500km 以上離れており、EMPR の適用範囲外であるため、平均的な地震動の特性に正しく評価できていない可能性はあるが、図 9(a)~(c) と同様に、周波数軸上での相対的な卓越の傾向が認められる。

以上の考察結果より濃尾平野固有の地震動特性を推定し、名古屋港地点の地震動を算定した結果を示す。図 10 に濃尾平野の地震動特性を、補正係数として示した。補正係数は 4.1 で前述したように、観測波形の平均値より、式 (8), (9) を用いて高周波数領域を除外した補正係数を用いた。補正係数の算定では、後述の地震動算定で使用することを考慮して、想定地震と地震波の伝播経路が等しいと考えられる図 9(a) の紀伊半島沖地震、図 9(b) の東海道沖地震を使用した。両地震の重ね合わせ数より、図 9 中の赤・青線で示した観測記録の平均値を用いた。

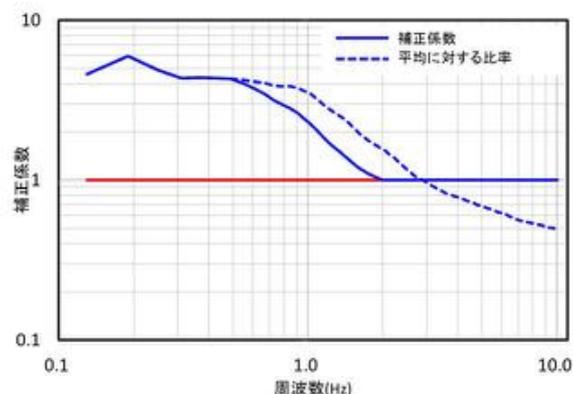
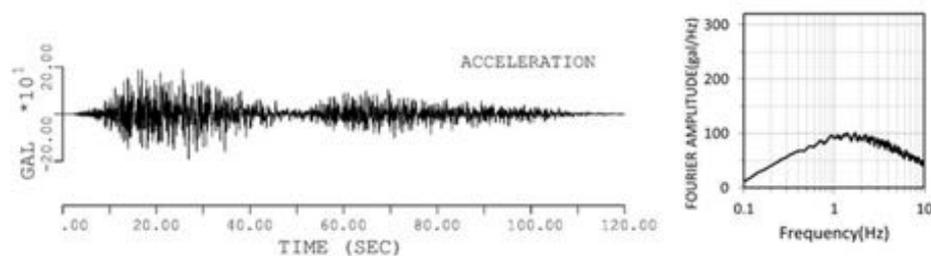
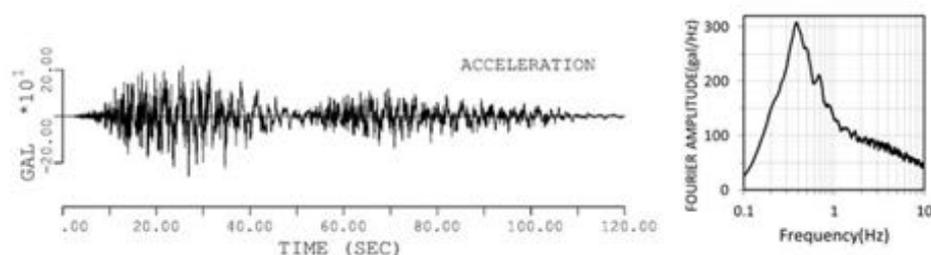


図 10 濃尾平野における地震動補正係数

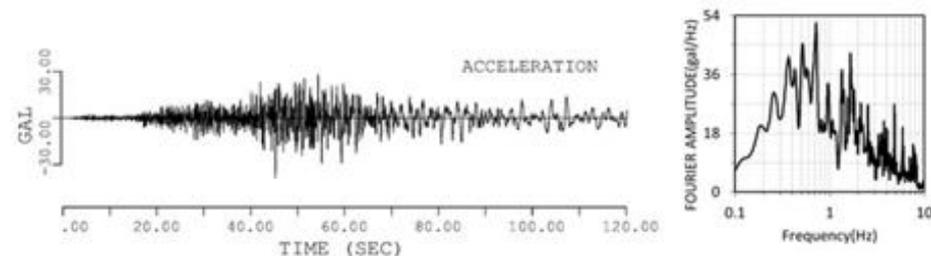
図 11 に、図 10 の補正係数を適用した地震動算定結果を示す。想定地震は複合型東海地震 (東海・東南



(a) EMPR による地震動算定結果 (基盤波形)



(b) 濃尾平野の地震動特性補正した結果 (基盤波形)



(c) 東海道沖地震の観測記録 (EW 成分, 地表波形)

図 11 名古屋港地点における地震動算定結果の比較 (想定地震：複合型東海地震)

海の連動型地震)として、断層パラメータは、中央防災会議¹⁴⁾、地震調査研究推進本部¹⁵⁾の断層モデルを基に、筆者ら¹⁶⁾が設定した断層モデルを使用した。比較のため、EMPRによる地震動算定結果(図11(a))と、名古屋港地点で観測された、東海道沖地震の観測波形(図11(c))を示す。図10に前述したように、2Hz以上の周波数では地震動特性の補正は行わないため、2Hz以上のフーリエ振幅は図11(a),(b)同じである。図10の補正係数により、1Hz未満のフーリエ振幅が増大しており、図11(c)の観測波形に見られる、0.5Hz付近のピークも見られる。前述したように、伝播経路の違いについて注意する必要があるが、南海トラフで発生する海溝型地震を対象とした地震動予測においては、図10の補正係数を用いることで、濃尾平野固有の地震動特性を考慮した地震動を算定することができた。なお、中小地震では長周期成分の卓越が見られないため、地震動特性の推定においては比較的規模の大きな地震による観測記録が必要である。さらに、図9に前述した地震ごと、地点ごとのばらつきについては、伝播経路特性の影響や表面波などの後続波の影響が考えられるため、より正確な地震動特性推定を行うには、いくつか検討が必要と思われる。

5. おわりに

本報では、岐阜県の地震被害想定調査¹⁾におけるメッシュ地盤データベースと地震動予測結果について紹介した。岐阜県内の地震動予測事例として、3.では、岐阜県地震被害想定調査で想定された5地震の地震動予測結果と、亜炭抗廃坑の地震動増幅特性について概説した。4.では、濃尾平野特有の地震動増幅特性に関して、筆者らが検討した事例について紹介した。

参考文献

1. 岐阜県, 平成 23~24 年度, 岐阜県南海トラフの巨大地震等被害想定調査報告書, 2013.
2. 国土地盤情報検索サイト, KuniJiban, <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>
3. 防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
4. 岐阜県, 岐阜県地震被害想定調査報告書, 1998.
5. 内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 強震断層モデル編 強震断層モデルと震度分布について, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829_2nd_report05.pdf
6. 内閣府中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第 26 回), 中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布等の検討資料集, 2006.
7. 岐阜県, 岐阜県東海地震等被害想定調査, 2003.
8. 早稲田大学理工学総合研究センター, 御嵩町亜炭鉱廃坑の危険度予測, 亜炭鉱廃坑の危険度に関する調査研究会, 2007.
9. Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T.: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.2111, 2000.
10. 杉戸真太, 合田尚義, 増田民夫, 周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤震動解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.49-58, 1994.
11. 久世益充, 杉戸真太, 地域固有の長周期地震動特性を考慮した地震動算定法の検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学) Vol.69, No4 地震工学論文集第 32 巻, pp.I-291-I.297, 2013.
12. 亀田弘行, 強震地震動の非常常パワースペクトルの算出法に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第 235 号, pp.55-62, 1977.
13. 古本吉倫, 杉戸真太, 梅原秀哲, 非常常スペクトル合成法による 1995 年兵庫県南部地震における強震動の推定, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp.573-578, 2002.
14. 中央防災会議, 東海地震に関する専門調査会, <http://www.bousai.go.jp/jishin/tokai/senmon/>
15. 地震調査研究推進本部, 南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について(中間報告) <http://jishin.go.jp/main/kyoshindo/01b/hyoka.pdf>
16. 久世益充, 杉戸真太, 能島暢呂, 南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測, 自然災害科学, Vol.22, No.1, pp.87-99, 2003.

微動観測に基づく台南市の地盤震動特性について

京都大学地球環境学堂 清野 純史・奥村与志弘
台湾国立成功大学 李 徳河・呉 建宏
京都大学工学部 三木 拓人
京都大学大学院 土肥 裕史・大道 一步

Ground Motion Characteristics of Tainan City Based on Microtremor Observations

*Junji Kiyono**, *Yoshihiro Okumura**, *Der-Her Lee***, *Jian-Hong Wu***,
*Takuto Miki**, *Yuji Dohi** and *Kazuho Ohmichi**
*: Kyoto University, **:National Cheng Kung University,

Abstract

An earthquake of ML6.6 occurred in south Taiwan on February 6, 2016. The epicenter was located in Kaohsiung. The earthquake caused damage to buildings in Tainan city. Soil liquefaction, landslide of embankment and the displacement of bridges also occurred in the city. According to the reports of the Central Weather Bureau, Taiwan, Tainan City had a seismic intensity of level V. After the earthquake, we conducted microtremor observations to make clear the underground information and investigate the cause of damage to the collapsed building. The boring data and earthquake observation data were used to verify the distribution of natural periods obtained from microtremor observation data. This paper discusses the distribution of natural periods of the ground through the changes of sedimentary environment in Tainan.

1. はじめに

台湾南西部に位置する台南市では海側のフィリピン海プレートの下に大陸側のユーラシアプレートが沈み込んでおり、度々大きな地震に襲われている。近年では、1999年に台湾中部の南投県集集鎮付近を震源としてモーメントマグニチュード M_w 7.6 とされるプレート境界型の巨大地震が発生している。

また、2016年2月6日には台湾南部の高雄市美濃区を震央とする M_w 6.4の地震が発生し、台南市新化区で最大震度7が観測され、死者117名という大きな被害を引き起こした。台南市永康区では、16階建てのビルが横倒しに倒壊し、地震全体の死者の9割以上に当たる115名の死亡が確認された。写真1a,1bは倒壊したビルの様子である。

周知のように、地震による被害は、地震そのものの規模だけでなく、震源から地震基盤面に至る伝播経路特性や地震あるいは工学的基盤面から地表面に至る堆積層のサイト特性に強く影響される。このサイト特性を知ることは、地震防災を考える上で極めて重要な課題である。

台南市内の93か所において深さ30m程度までのボーリング柱状図¹⁾が存在する。しかし、ボーリング調査は多額の費用と労力が必要となるため、広範囲の地盤構造を知ろうとする場合には非効率的である。そこで、近年よく用いられている手法が常時微動観測による地盤構造の推定である。



(a)

(b)

写真1 倒壊した16階建てのビルの様子（ロイターおよびAFP通信より引用）

本研究では、2016年台湾南部地震における台南市内の地震計のデータ¹⁾や周辺地域のボーリング調査の記録がある地点を対象に常時微動観測を行った。観測で得られた微動の H/V スペクトル比²⁾を算出し、固有周期を求める。得られた固有周期を地震計のデータやボーリング調査の記録と比較することにより、台南市の地盤震動特性を主に固有周期の観点から検討する。

2. H/V スペクトルによる地盤震動特性の評価

2.1 台南市の地盤³⁾

台南市は嘉南平原に位置するため地勢は平坦であり、遠く東部には山地が連なるものの、市全域で海拔10~30mの間、最高でも海拔約40mという丘陵地が殆ど見られない特徴を有している。その域内は安平平原、台南台地、大湾低地、桜丘砂丘と分類することができる。安平平原は台南市西部の沿海部に位置し、地殻変動により隆起した海岸平原である。平原の標高は海拔2~3mであり、曾文溪三角州の一部を形成している。この地域ではオランダ統治時代は台江内海潟湖であり、外側は砂嘴を形成していた。時代と共に干拓開発が進み、現在では台南市の新中心部となっている。安平平原の東側はなだらかな傾斜で台南台地へと繋がっている。台南台地は台南市東部に位置し、孤立した楕円形の台地である。稜線の海拔は25~30m程度であり、台南市最高の海拔40mの地点もこの台地にある。東側は崖で大湾低地と接している。大湾低地の大部分は標高10m以下の地勢を成している。古くから集落が形成されていたこの地域では台南台地との境界が開発により曖昧になりつつある。桜丘砂丘は台南市南部に位置している砂丘である。

2.2 常時微動の単点観測

観測にはミットヨ社製の三成分加速度計とデータロガーが一体となったGPL-6A3Pを使用した。観測は日中に、自動車の通行や工事中などのノイズ源から離れ、微動計を安定して設置できるコンクリートやアスファルト上のスペースで行い、サンプリング周波数は100Hzまたは500Hzで、観測時間は10~15分とした。ボーリングデータのある地点92点と、2016年2月の台南地震の地震記録のある地点17点の合計109地点にて観測を行っている。台湾の地図を図1に、観測地点の全体図を図2に示す。図2では、黒い点で示している地点がボーリングデータのある地点の近くの観測点、赤い点で示している地点が地震記録のある地点の近くの観測点である。



図1 台南市の位置 (Google マップより)

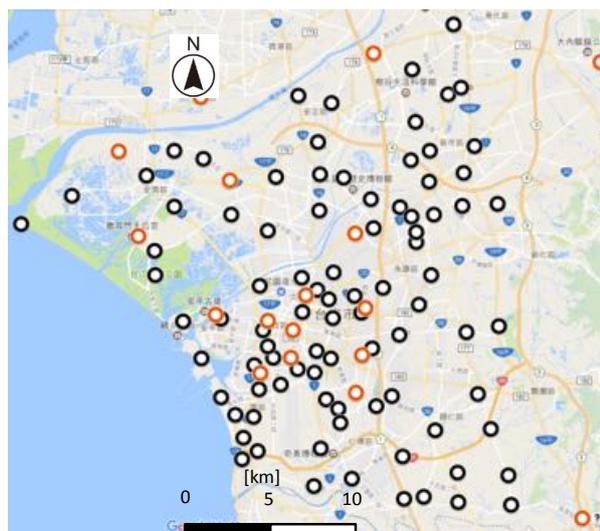


図2 常時微動調査の観測点

2.3 H/V による固有周期の算出と空間補間

本研究では、 H/V スペクトルの算出に $BIDO2.0^4)$ を用いた。 H/V スペクトル比は次式より算出している。

$$H/V(\omega) = \frac{\sqrt{(F_{NS}(\omega))^2 + (F_{EW}(\omega))^2}}{F_{UD}(\omega)^2} \quad (1)$$

ここに、 $F_{NS}(\omega)$, $F_{EW}(\omega)$, $F_{UD}(\omega)$ はそれぞれセグメント長を 10.24 秒とした微動時刻歴の NS, EW, UD 成分のフーリエスペクトルである。算出した H/V スペクトル比の例を図 3 に示す。赤実線は 10 区間を対象とした平均値を、青実線は平均値±標準偏差を示している。 H/V スペクトルは、その形状について以下の 3 つに大別することができる。

- 1 箇所にも明瞭なピークをもつもの
- 数箇所にも明瞭なピークをもつもの
- 明瞭なピークをもたないもの

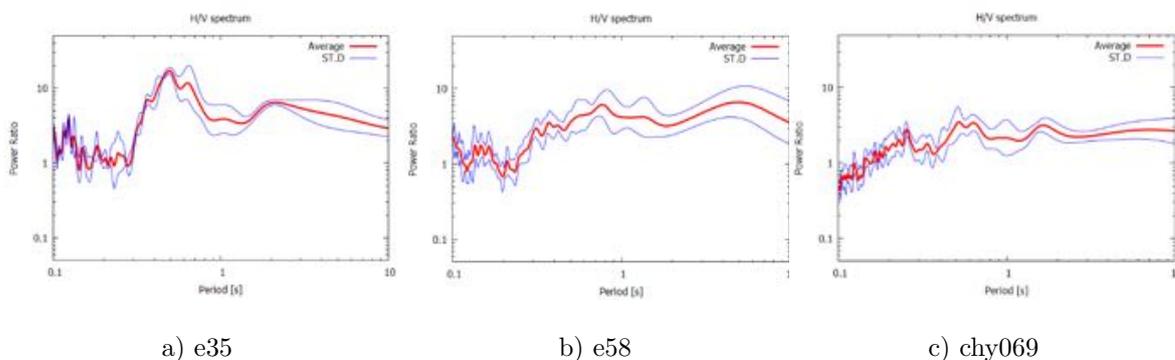


図3 H/V の算出例

また、固有周期の読み取りは以下の方法に従い行う。

- 0.1 秒以下の範囲は、ノイズが多く含まれると考えられるので除外する。また、微動計の特性から 3 ～ 4 秒以上の周期のピークも除外する。
- 最大ピークを示す周期を固有周期とし、明瞭なピークが数箇所ある場合は最も長周期側にあるピークの周期を一次の固有周期として読み取る。
- 明瞭なピークをもたないがなだらかなピークをもつものは、そのなだらかなピークの中心の周期を固有周期とする。

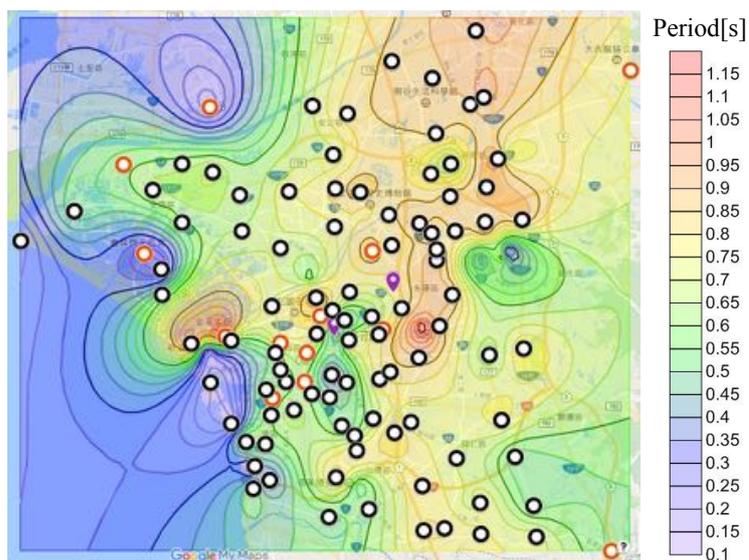


図 4 常時微動観測による台南市の地盤の固有周期のコンター図

固有周期における空間変動を表現するため、本研究では通常クリギング法⁴⁾を用いた。得られた H/V スペクトルの固有周期は観測された地点のみの点情報である。ここでは、この点情報からクリギングによる空間補間を行い、空間変動を求める。クリギング法とは、本研究では固有周期の既知点(確率場からの実現値とみなす)から、ある地点における値を推定する地盤統計学でよく用いられてきた手法である。ここではオーディナリークリギング法と呼ばれる推定法で任意の点の推定値を求め、コンターを描いた。

2.4 結果と考察

各観測点における H/V スペクトルの固有周期の空間分布を図 4 に示す。図中のはボーリングデータのある地点、赤丸は地震計による地震記録のある地点の近くの微動観測地点である。

固有周期の空間分布の図より、台南市の東側の大湾低地では 1 秒前後、西側へ行き成功大学の位置する台南台地では 0.5 秒前後、安平平原では、地点によって変動はあるが、0.3 秒前後となっており、内陸部から海岸部に近づくにつれて、固有周期が小さくなっていることがわかる。このことから内陸部から海岸部に近づくにつれ、地盤が硬くなっていることがわかる。

また、成功大学の位置する台南台地は周囲に比べて固有周期が小さく、ここも地盤が硬いことがわかる。つまり、相対的に見て、台南市の東部、大湾低地は地盤が弱く、中部の台南台地は地盤が硬くなっていて、台南台地の西部の安平平原もまた地盤が弱くなっていることがわかる。また安平平原からさらに海岸部に近づくとも固有周期がとて小さく地盤がとて硬いところと、反対に固有周期が大きく地盤弱いと思われるところがあることがわかる。

既往の研究³⁾より、台南市の地形の推移について以下のことがわかる。まず海岸線の推移については、数千年から数百年前までは台南市西部の海岸線は現在よりも東側、すなわち現在の内陸部に広がっていた。台南市西部の沿海部に位置する安平平原は、地殻変動により隆起した海岸平野である。台南市の海岸線の推移を図 5 に示す。この図より、台南台地は数千年から数百年前から陸地として存在し、台南台地の周辺の大湾低地や安平平原は海の中にあつたことがわかる。このことが、台南台地が周囲よりも固有周期が小さく、地盤が硬くなっていることの一理由の一つとして考えられる。

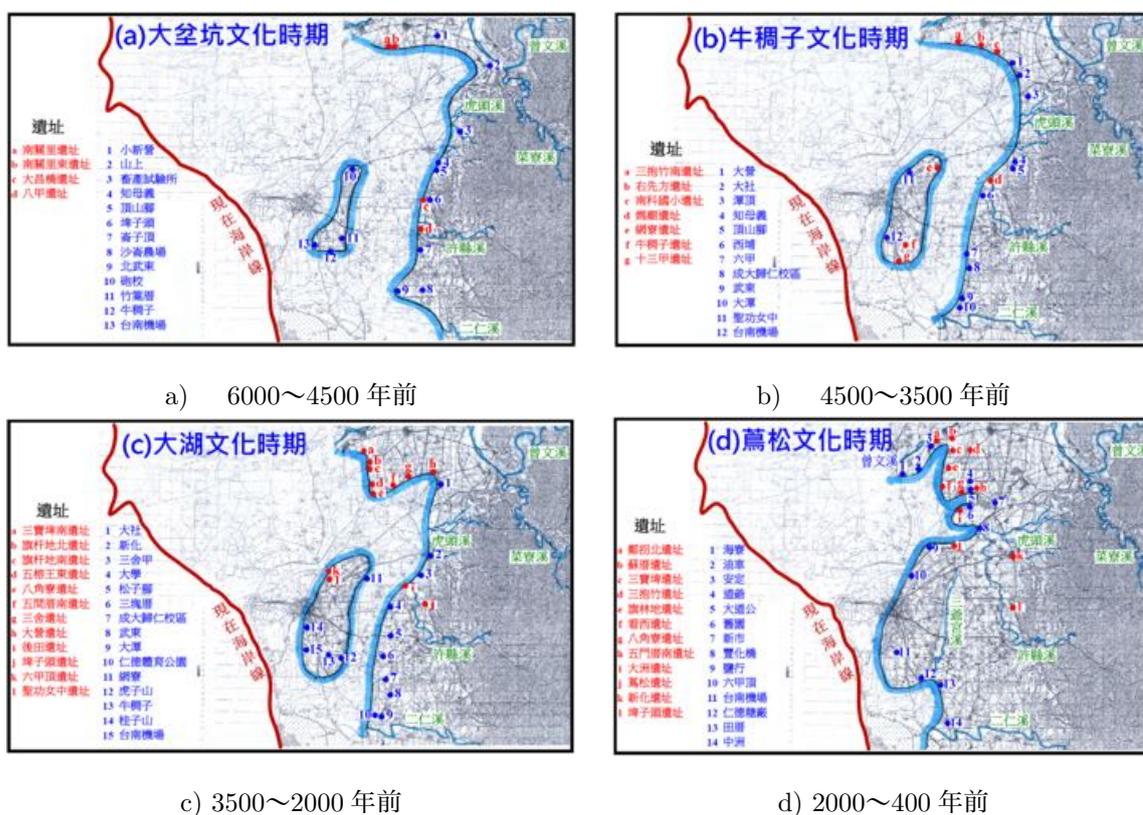


図5 台南市の過去の地形³⁾

また、台南市西部の沿岸部についてであるが、17世紀頃のこの地域の地図を図6に示す。この図から、この地域には17世紀頃に砂州が存在していたことがわかる。すなわち、17世紀頃、台南市西部の沿岸部は陸地と海が入り乱れていたことがわかる。このことが、台南市西部沿岸の砂州部分で固有周期が小さく地盤が硬いところと、その内海の埋め立て地で固有周期が大きく地盤が弱いところが入り乱れていることの原因の一つとして考えられる。

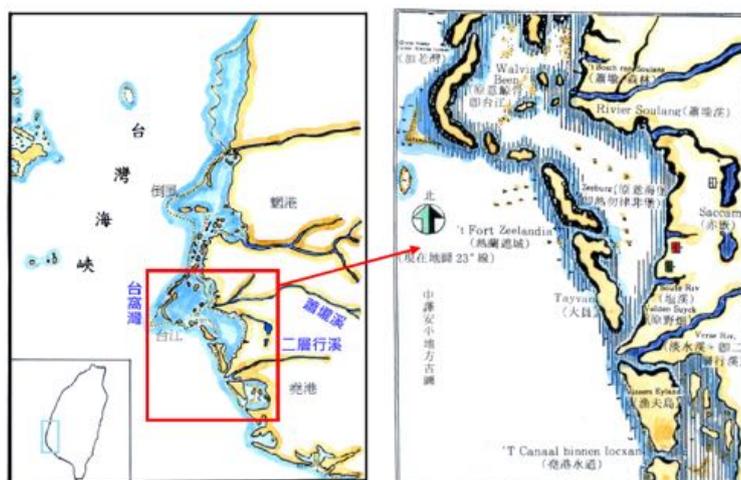


図6 17世紀の台南市西部の地図³⁾

3. ボーリングデータとの比較による常時微動観測の妥当性の検討

対象地域である台南市のボーリング調査は93箇所で行われている¹⁾。ボーリング調査に代わる安価でコストのかからない代替法として常時微動観測を用いるためには、ボーリング調査の結果と常時微動観測によって得られる結果が近似的であることが望ましい。そこで、ここでは2節で得られた微動観測の固有周期の空間変動のボーリング調査のデータがある付近の92地点での結果と、重複反射理論によって

得られるボーリング調査による地盤の固有周期の空間変動の結果とを比較し、固有周期に関する常時微動観測結果の妥当性の検討を行う。

3.1 ボーリングデータに基づく情報の抽出

得られたボーリングデータからわかる物性値には層厚、 N 値、密度、土質区分などがある。ボーリングデータから得られた地盤の柱状図のモデル化を行った。また、 S 波速度については、既往の S 波速度と N 値の関係式を使って S 波速度を設定することとした。今回のボーリングデータは粘土、砂、礫の区別はできるが、時代区分はできない。このようなことから、ここでは、以下の太田・後藤の式⁶⁾を用いて S 波速度を設定した。

$$V_s = 62.48N^{0.218}H^{0.228}F \quad (2)$$

ここに、 V_s は S 波速度、 N は N 値、 H は深度(m)、 F は土質区分係数で粘土に対しては $F=1.000$ 、砂に対しては $F=1.037$ 、礫に対しては $F=1.199$ である。

3.2 ボーリングデータに基づく地盤の固有周期の算定

ボーリングデータから得られた物性値と重複反射理論を用いて、入射波の各振動数における地盤の増幅倍率を求め、その1次の固有周期をもってボーリングデータに基づく地盤の固有周期とした。

ボーリングデータから得られた密度、 S 波速度、層厚などの物性値と5%の減衰定数を用いて、重複反射理論により周期と増幅倍率との関係を、ボーリングデータのある地点93点それぞれについて求めた。重複反射理論で用いるそれぞれの地点での地盤の層構造は、30mのボーリングデータを N 値や土質区分などの違いによって9層以内に分けて、それ以深の地盤を基盤として $V_s = 400\text{m/s}$ と設定し、計10層以内の層構造を各地点で作成した。

得られた周期と増幅倍率のグラフからピークの周期を各地点で求め、常時微動観測における H/V スペクトルから推定した固有周期の空間変動と同様に、得られた固有周期の空間分布を求めた。これを示したものが図7である。

この固有周期の空間分布の図をみると、台南市の東側の大湾低地では0.7~0.8秒前後、西側へ行き成功大学の位置する台南台地では0.5秒前後、安平平原では、地点によって変動はあるが、0.3~0.6秒前後となっており、内陸部から海岸部に近づくにつれて、固有周期が小さくなっていることがわかる。すなわち、内陸部から海岸部に近づくにつれ、地盤が硬くなっていることがわかる。また、台南台地も周囲より固有周期が小さく、地盤が硬くなっていることがわかる。

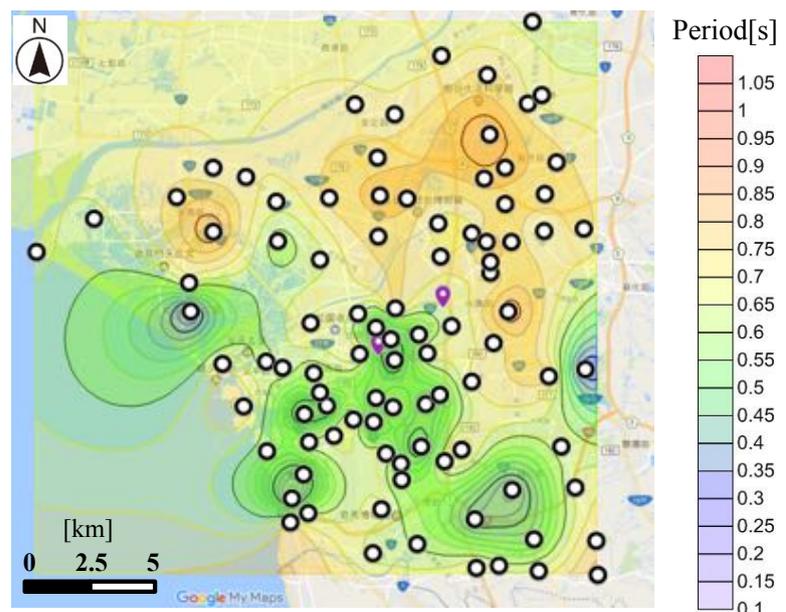


図7 ボーリングデータに基づく台南市の地盤の固有周期のコンター図

3.3 ボーリングデータと常時微動観測による空間分布の比較

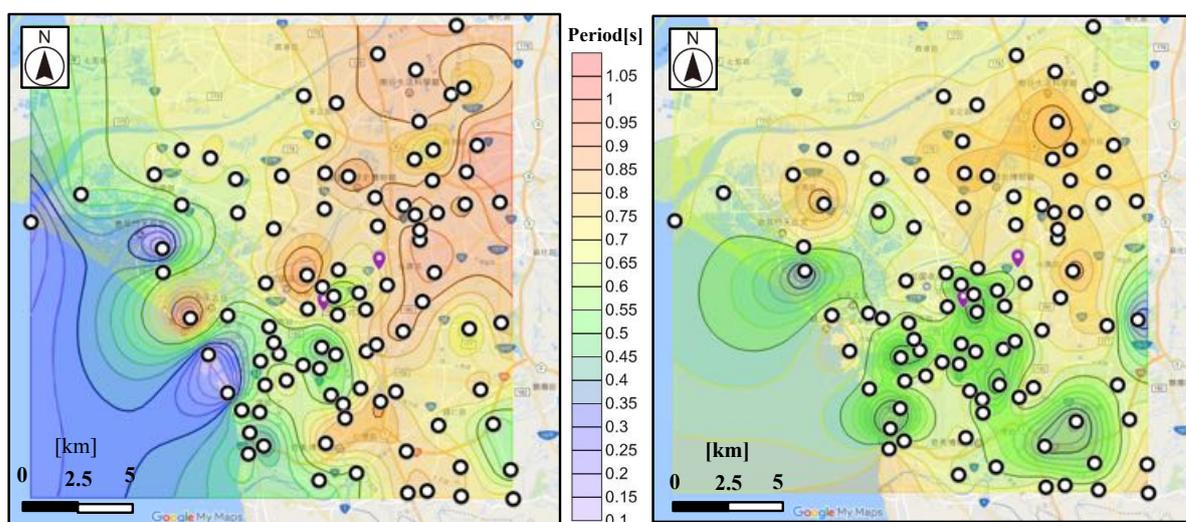
常時微動観測による地盤の固有周期の空間分布と、ここで得られたボーリングデータによる地盤の固有周期の空間分布を、同じスケールの固有周期のコンター図で比較したものが図8である。

全体的に0.2秒前後の違いは見られるが、内陸部から海岸部に近づくにつれ、地盤が硬くなっていることや、台南台地が周囲より固有周期が小さく、地盤が硬くなっていることなどの共通点があることがわかる。このことから、常時微動観測で地盤の固有周期の詳細の判断はまだ議論の余地があるが、地盤の硬軟や地域的な地盤の硬軟の分布などはボーリング調査から得られた結果と整合性がとれていることがわかる。ボーリングデータから得られた固有周期について、ボーリングデータが地下30m以浅のデータしかなく、地下30mの層を工学的基盤面として解析を行っている。この基盤面の設定も双方の地盤の固有周期の違いの一因となっている可能性もある。

また、横倒しに倒壊した16階建てのビルの周辺での常時微動観測における固有周期は0.77[s]で、ボーリングデータを解析して得られた固有周期は0.63[s]となっている。値に違いは見られるがどちらも1[s]より小さい値となっている。一般に、建物の固有周期は(建物の高さ[m] × 0.02 ~ 0.03)[s]とされている。倒壊したビルが16階建てで高さ16 × 3~4でおよそ50mとすると、固有周期は1.0~1.5[s]程度になるはずで、一見関係ないように見える。しかし、図3に例示したH/Vスペクトルのうち、倒壊したビルに最も近い(b)のe58を見ると、確かに固有周期が0.77[s]と推定できるが、この地点のH/Vスペクトルはピークが平坦なパターンである。1.0~1.5[s]あたりのスペクトル比も0.77[s]のときのスペクトル比と同様にのピークが見られることがわかる。すなわち、ビルが倒壊した要因として、ビルの耐震構造が適切でなかったからという理由だけではなく、ビルの固有周期とビルが建っている地盤の固有周期が一致して共振を起こしたからという理由も考えられる。

4 地震記録との比較による常時微動観測の妥当性の検討

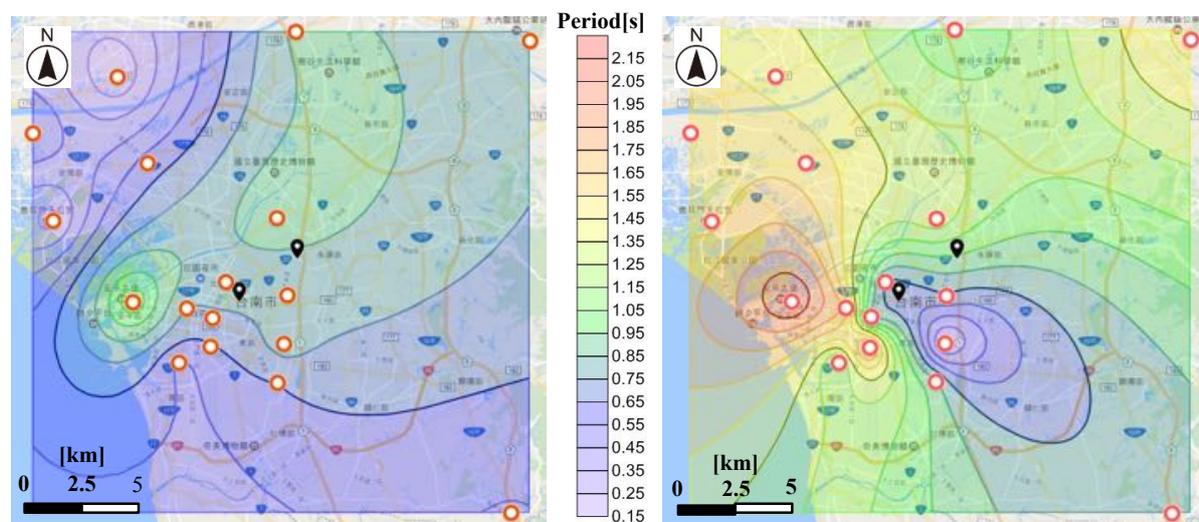
対象地域である台南市の2016年の台湾南部地震での地震記録は45箇所得られている。時間などの関係で、地震記録のある付近での常時微動観測は17箇所で行った。ここでは地震記録から得られる各地点での地盤の固有周期と、地震記録のある地点の周辺17箇所で行った常時微動観測によって得られた地盤の固有周期とを比べる。



a) 常時微動観測に基づく分布

b) ボーリングデータに基づく分布

図8 ボーリングデータと常時微動観測による固有周期の空間分布の比較



a) 常時微動観測に基づく分布

b) 地震観測に基づく分布

図9 地震観測と常時微動観測による固有周期の空間分布の比較

4.1 地震記録の解析手法

地震記録のある17地点すべての加速度波形，フーリエスペクトルと応答スペクトルを算出し，フーリエスペクトルのピークを示すときの周期の値をその地震に対するその地点の地盤の固有周期として読み取る．フーリエスペクトルはNS, EW, UDの3成分算出されるが，その3成分の中でも振幅の値が一番大きい所をピークとして読み取った．

4.2 地震記録と常時微動観測による空間分布の比較

3.3のボーリングデータの場合と同様に，ここでは地震記録で得られた台南市の地盤の固有周期と，地震観測の行われた17点のデータのみを用いた常時微動観測による台南市の地盤の固有周期を比較する．それぞれのコンター図を示したものが図9である．

ボーリングデータや常時微動観測では平常時の地盤のサイト特性がわかる．それに対して，地震記録は，サイト特性だけでなく，震源や経路の影響も含んだ形で現れることになる．

地震記録と常時微動観測の結果を比べてみると，東北と台南台地の西側の沿岸部に相対的に周期の長い地域があり，両分布とも似た傾向を示しているが，広範囲において固有周期が1秒以上異なっていることがわかる．地震記録から得られる固有周期の方が大きい値となっている．前述のように，常時微動観測では，表層地盤の微動を測定することにより，H/Vスペクトルから地盤の固有周期を推定し，当該地盤のサイト特性に着目している．それに対して，地震記録から得られるデータでは，地震の発生する震源での震源特性や，震源から地震基盤面や工学的基盤面に至るまでの地盤の伝播経路特性，さらには工学的基盤面から地表面に至るまでの表層地盤のサイト増幅特性などを含んでいるため，今後は地震記録のサイト特性を抽出した結果との比較が必要である．

5 まとめ

本研究では、台湾の台南市を対象とした常時微動単点観測を行い、その観測記録とボーリングデータや地震記録を解析することにより、台南市の地盤震動特性について検討を行った。本研究で行った事、および得られた知見を以下に示す。

1. 109地点で常時微動単点観測を行い、その観測記録から得られた H/V スペクトルの固有周期をそれぞれの地点で推定し、その地点の地盤の固有周期を算出した。
2. クリギング法を援用して求めた固有周期の空間分布から、固有周期は台南市の東側の大湾低地では1秒前後、その西側で成功大学の位置する台南台地では0.5秒前後、安平平原では、地点によって変動はあるものの、0.3秒前後となっており、内陸部から海岸部に近づくにつれて、固有周期が小さくなっていることがわかった。
3. 台南台地が周囲よりも固有周期が小さく、地盤が硬くなっていることの原因の一つとして考えられるのは、台南台地が数千年から数百年前からずっと陸地として存在し、台南台地の周辺の大湾低地や安平平原は海の中にあつたことである。また、台南市西部の沿岸部で固有周期が小さく地盤が硬いところと、固有周期が長く地盤が相対的に緩い所が点在していることの原因の一つとしては、この地域には17世紀頃に砂州が存在しており、この影響で西部の沿岸部には固有周期の長い所（海の埋立地）と比較的短い所（昔の砂州）が存在するためであると推測できる。
4. 常時微動観測とボーリングデータによる地盤の固有周期の空間分布を比較すると、内陸部から海岸部に近づくにつれ、地盤が硬くなっていることや、台南台地が周囲より固有周期が小さく、地盤が硬くなっていることなどの共通点があるが、全体的に0.2秒前後の違いが見られることがわかった。ボーリングデータから得られた固有周期について、ボーリングデータが地下30m以浅のデータしかなく、地下30mの層を工学的基盤面として解析を行っている。この基盤面の設定が双方の地盤の固有周期の違いの一因となっている可能性が考えられる。
5. 地震記録と常時微動観測による地盤の固有周期の空間分布を比べてみると、広範囲において地震記録から得られる固有周期の方が1秒以上大きい値となっていることがわかる。常時微動観測では、地震動のサイト増幅特性に着目しているが、地震記録から得られるデータは、地震の震源特性や、震源から地震基盤面や工学的基盤面に至るまでの伝播経路特性、さらには工学的基盤面から地表面に至るまでの表層地盤のサイト増幅特性など全てを含んでいる。全体的な周期分布の特徴は似ているものの、今後の課題として地震動の震源特性や伝播経路特性を取り除いた形での比較が必要となる。

参考文献

1. ボーリングデータおよび地震記録：台湾国立成功大学の李徳河教授と吳建宏教授との私信による
2. 中村 豊： H/V スペクトル比の基本構造，2008.
3. 李 徳河，吳 建宏，蔡 百祥，林 宏明，清野純史：美濃地震台南震害區之大地環境特性，*土工技術*，No.148/2016.6，pp.45-57，2016.
4. *BIDO Version 2.0*: <https://staff.aist.go.jp/ikuochou/BIDO/2.0/bidodl.html>, 2010.
5. 佐藤 篤：インドネシアパダンを対象とした常時微動観測に基づく地盤構造の推定，京都大学修士論文，pp.6-10，2011.
6. 太田 裕・後藤典俊：横波速度を推定するための実験式とその物理的背景，*物理探鉱*，第31巻，1号，pp.8-17，1978.

リモートセンシングによる地震被害の把握

東京工業大学 環境・社会理工学院 松岡昌志
東京工業大学 大学院総合理工学研究科 賀川健人, 石井 友

1 ALOS-2 衛星の PALSAR-2 画像から観た 2016 年熊本地震

1.1 はじめに

2016 年 4 月 14 日以降に発生した日奈久断層帯および布田川断層帯に起因した一連の地震活動は、熊本県を中心に多数の死傷者と建物被害、ライフライン被害、地盤災害をもたらした。とくに、4 月 14 日 21 時 26 分の地震 (M6.5) では益城町で震度 7 を記録し、16 日 1 時 25 分の地震 (M7.3) では、益城町と西原村で震度 7 を記録するなど連続して大きな地震動に見舞われている。

本報では、2014 年 5 月に打ち上げられた ALOS-2 衛星に搭載された合成開口レーダ (PALSAR-2) により観測された画像から、熊本地震の地盤変動と被害を概観する。

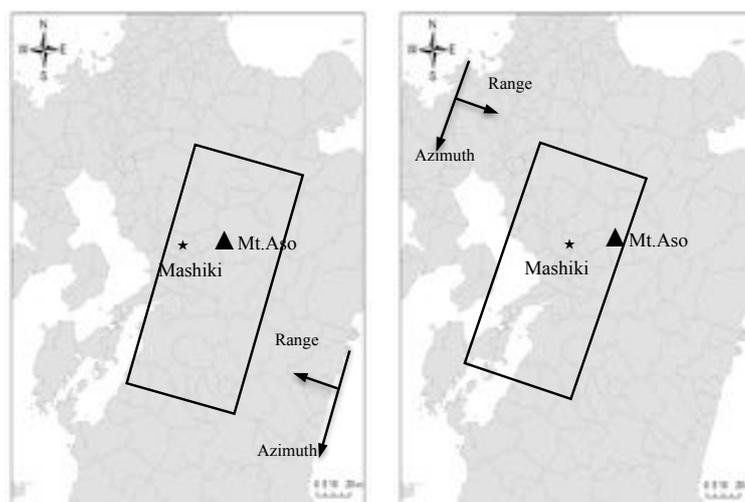
PALSAR-2 には、スポットライト (分解能 $1 \times 3m$, 観測幅 $25km$), 高分解能 (分解能 $3m \sim 10m$, 観測幅 $50km, 70km$), 広域観測 (分解能 $100m$, 観測幅 $350km$) の 3 つの観測モードがあるが、ここでは観測頻度が最も高い高分解能モードの画像を使用している。分解能は約 $3m$, HH 偏波である。表 1 に使用した PALSAR-2 画像のデータセットを示す。

なお、同じ観測条件の時系列画像からは、地表から反射したマイクロ波の振幅 (後方散乱強度) と位相の演算により、対象物の変化を抽出することが可能である。そこで、2014/11/14 と 2016/4/15 (M6.5 地震後) の組み合わせを条件①とし、2015/11/30, 2016/3/7, 2016/4/18 (M7.3 地震後) の組み合わせを条件②として以降での解析に用いることにした。観測条件と範囲を図 1 に示す。

表 1 使用した PALSAR-2 画像のデータセット

観測日	軌道	照射方向*	オフナディア角**
2014/11/14	下降	左向き	28.7°
2015/11/30	下降	右向き	32.8°
2016/3/7	下降	右向き	32.8°
2016/4/15	下降	左向き	28.7°
2016/4/18	下降	右向き	32.8°

* 左向き：西北西に位置する衛星から東南東に向けてレーダを照射
右向き：東南東に位置する衛星から西南西に向けてレーダを照射
** 衛星鉛直直下とレーダ照射方向のなす角度



(a) 条件①

(b) 条件②

図 1 観測地域 (矩形部分)

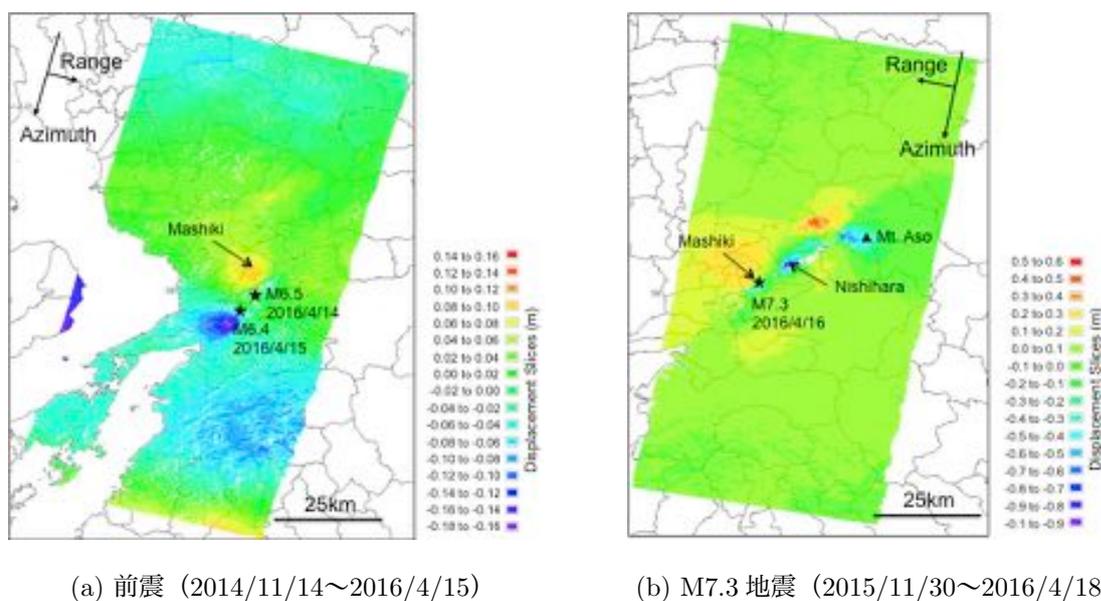


図 2 InSAR 解析による地盤変動分布

1.2 InSAR 解析による地盤変動

2014/11/14 と 2016/4/15 の条件①の観測ペアによる InSAR 解析の位相差から変動量に変換した画像を図 2a に示す。この 2 時期の間には 14 日 21 時 26 分の M6.5 の地震だけでなく、15 日 0 時 3 分に発生した M6.4 の地震も含まれているが、これらの地震がもたらした地盤変動は、震源の北側は衛星視線方向に約 12cm 近づき、震源の南側は約 16cm 遠ざかっている。図 2(b) には 2015/11/30 と 2016/4/18 の条件 ②の観測ペアによる InSAR 変動量を示す。断層が地表に現れたために地面が乱され、位相の干渉性(コヒーレンス)が低下している。したがって、断層近傍での変動量を正確に見積もることができないが、西原村では衛星視線方向に 1m 程度遠ざかっていることがわかる。通常の InSAR 解析では、これらのように衛星視線方向の変動しか測定できない。とくに、今回の地震を引き起こしたと考えられる布田川断層の走行は衛星進行方向にやや近いため、横ずれ成分の検出という点ではやや精度が落ちる。しかし、衛星進行方向の変動を検出することができる MAI (Multiple Aperture Interferometry) や、右向き・左向きの両方の照射方向から得られた 2 つのペアの InSAR 解析による 2.5 次元解析により、布田川断層に沿って上下変動を伴う右横ずれ変動が示されている¹⁾。

1.3 コヒーレンス比^{2),3)}による建物被害の抽出

2 時期の PALSAR-2 の観測期間内に、建物被害等のように地表に変化が生じた場合には、マイクロ波の位相も変化する。その変化の程度はコヒーレンスという指標で評価する

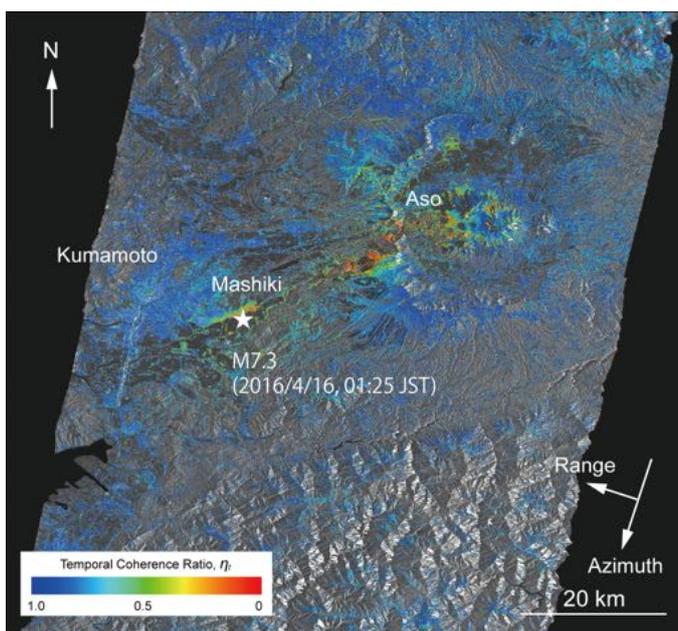


図 3 M7.3 地震 (2016/4/16) のコヒーレンス比の分布

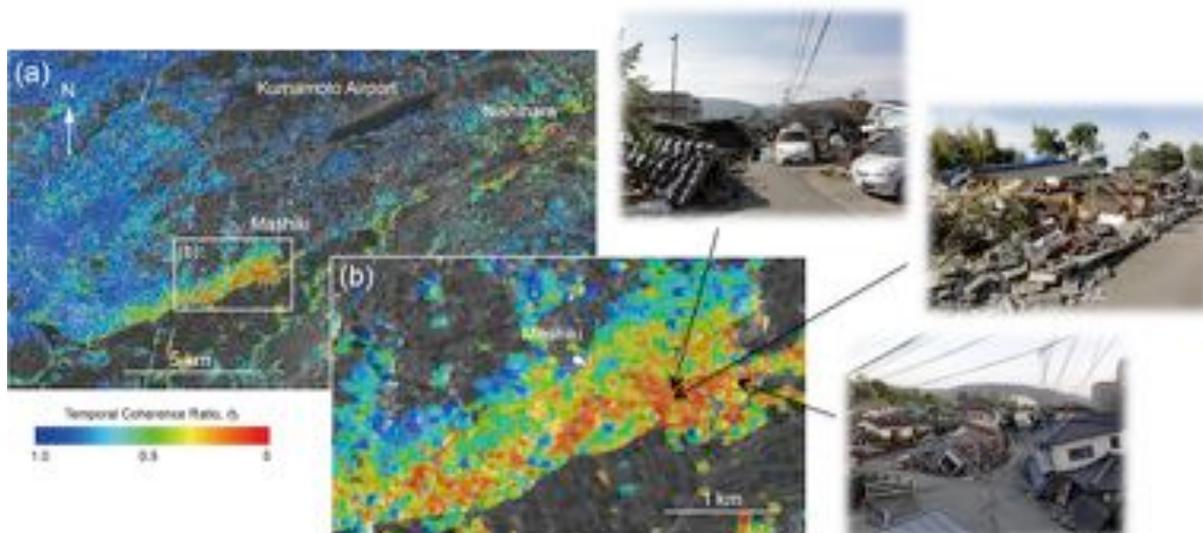


図4 M7.3地震(2016/4/16)のコヒーレンス比の分布(図3の拡大)と現地写真

ことが可能で、変化が大きい地域のコヒーレンスは低下する。したがって、地震前後の画像ペアから計算したコヒーレンスを用いることで建物被害を検出することが可能であるが、植生や水域のように季節変化や地震に無関係な変化も含まれるために、建物被害のみを分離することが容易ではない。そこで、地震前の画像を1シーン追加して、地震が発生していない状態での対象地域のコヒーレンス(γ_{bb})を地震前の画像ペアからあらかじめ求めておき、コヒーレンスの高い地域を選定する。そして、地震前後の画像ペアから得られるコヒーレンス(γ_{ab})を求めて両者を比較することで、地震に起因した変化を算出できるが、コヒーレンスは時間的な変化だけでなく、2つの衛星の空間的位置関係によっても変化することから、その値を衛星の観測条件から算出してキャンセルする。具体的には時間的なコヒーレンスの変化を次式のようにコヒーレンス比(η_t)として算出する。

$$\eta_t = (\gamma_{ab}/\gamma_{bb})(\rho_{bb}/\rho_{ab}) \tag{1}$$

ここで、 ρ_{bb} は地震前の2時期の衛星の空間的位置から求まるコヒーレンス、 ρ_{ab} は地震前後の2時期の衛星の空間的位置から求まるコヒーレンスである。

2015/11/30, 2016/3/7, 2016/4/18(M7.3地震後)の条件②のデータセットを用いて、コヒーレンス比を計算した結果を図3に示す。ここでは、 γ_{bb} が0.6より大きい地域を選定している。地震前後に変化があった地域はコヒーレンス比が0~1の範囲にあると考えられ、値が小さいほど地表の変化が大きい(甚

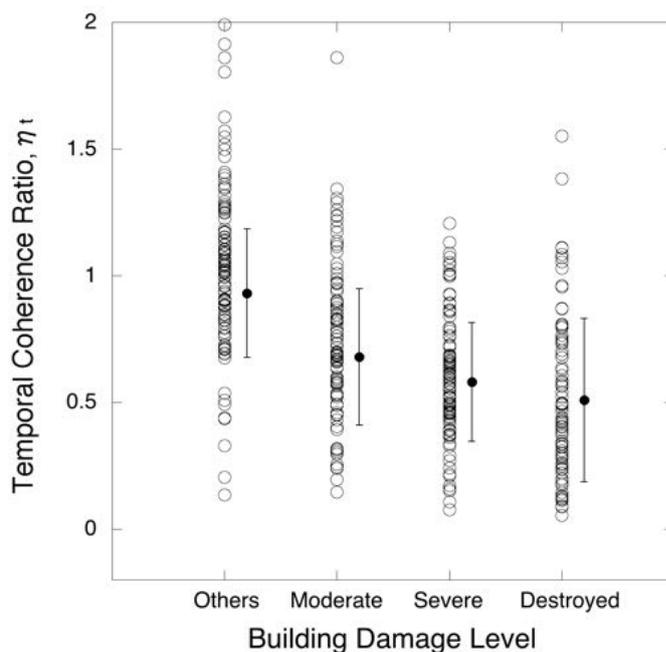


図5 2015年ネパール地震のバクタプルにおける建物被害程度とPALSAR-2画像のコヒーレンス比の関係

大な建物被害)可能性が高い。図3をみると、益城町から阿蘇にかけて南西から北東方向にかけてコヒーレンス比は小さく、建物被害や地盤災害の影響が示唆される。図4には熊本市東部から益城町、西原村の拡大図を示す。益城町の南側の地域や西原村でコヒーレンス比が0.5以下の地域が広く分布し、現地での被害状況とも対応する。参考までに、2015年ネパール地震のバクタプル市における建物被害程度とコヒーレンス比の関係を図5に示す⁴⁾。建物の形状や構造、被害形態がネパールと日本では異なるため直接的な比較はできないが、コヒーレンス比が0.5程度あるいはそれ以下の地域は倒壊被害の建物が分布していると考えられる。

なお、2016/4/14のM6.5および4/15のM6.4の前震で益城町では建物被害が報告されている。前震に伴う建物被害の抽出については、地震前の2015/11/30と2016/3/7の条件①のペア、地震前後の2014/11/14と2016/4/15の条件②のペアを用いたコヒーレンス比から検討をしている。文献⁵⁾を参照されたい。

1.4 まとめ

2016年4月14日から熊本県を中心に発生した地震の被災地を観測したALOS-2衛星のPALSAR-2画像を用いて、InSAR解析により地盤変動を、コヒーレンス解析により建物等の被害の抽出を試みた。

2. 地震後に撮影された現地写真と航空写真を用いた深層学習による建物被災度判別の試み

2.1 はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、10万棟を超える建物が全壊、14万棟を超える建物が半壊となるなど、建物に甚大な被害が生じた⁶⁾。そのような建物被害の情報は、災害直後の初動対応やその後の復旧・復興計画、被災者の生活再建などの判断材料に用いる情報となるため、非常に重要とされる。災害における初動対応ではより早い対応が必要である。リアルタイム地震防災システム⁷⁾やリモートセンシング技術⁸⁾の利用が考えられるが、前者は精度の問題があり、後者は専門的な知識が必要とされる。

また、復旧・復興計画や生活再建などでは1棟単位の詳細な被害状況の把握が必要である。広域における調査には時間と労力がかかること、判定を行う人によって結果に差が生じることなどが問題とされ、迅速かつ正確な被害調査手法が求められている⁹⁾。建物の写真や図面を基に被災度を判定する手法^{10),11)}などが考案されているが、専門家などが全ての建物の写真や図面を調査・審査することに変わりはなく、被災度判定の負担軽減や調査時間の短縮には限界がある。

近年、機械学習手法の一つである深層学習と呼ばれる手法が画像認識などの分野で注目を集めている。この手法は特徴量の設計が不要であるため、設計に必要な時間と労力を削減できる。また、深層学習のアルゴリズムの中でも、CNN(Convolutional Neural Network: 畳み込みニューラルネットワーク)と呼ばれる手法は人間を上回る精度で物体カテゴリ認識が可能であるという報告がなされている¹²⁾。CNNを用いて建物被災度を自動的に判別する手法を開発できれば、自治体職員や専門家などにかかる負担や時間を大幅に削減できる。

そこで本研究は、1995年の兵庫県南部地震で被災した建物を対象に、航空写真および現地写真にCNNを適用することで、建物被災度判別の可能性を検討した。

2.2 CNNを用いた画像認識

(1) ニューラルネットワークとCNN

ニューラルネットワークとは人間の脳神経系を模した数理モデルであり、深層学習の基盤となる機械学習手法である。このニューラルネットワークに畳み込み層と呼ばれる画像の特徴抽出に特化した層とプーリング層と呼ばれる画像の位置ずれを吸収する層を組み合わせ合わせたものが CNN である。図 6 に本研究の学習に用いた CNN の層構成を示す。全結合層とは通常のニューラルネットワークの層を指す。また、本研究の学習のミニバッチサイズは 100 とし、学習の反復は 15,000 回、学習率は 0.001、減衰係数は 0.0005、モメンタムは 0.9 として学習を行った。これらは層構成も含めて超パラメータと呼ばれる。どのように機械が学習するのかを決定する指標である。

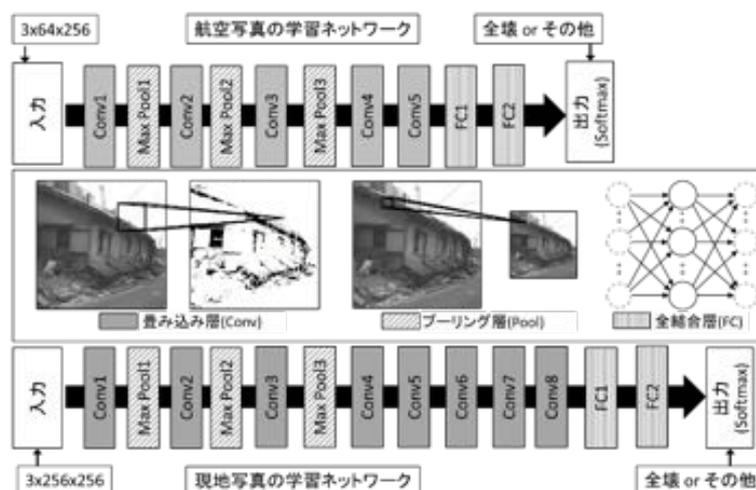


図 6 学習に用いた CNN の層構成

(2) 学習の推移と検証

CNN では学習と検証の段階が交互に行われる。それぞれの段階に用いるデータを学習データと検証データと呼び、異なるデータを用いるのが一般的である。学習段階では判別器の出力と正解との誤差が小さくなるように判別器の中身の更新を行い、CNN の判別器の精度を向上させる。一方、検証段階

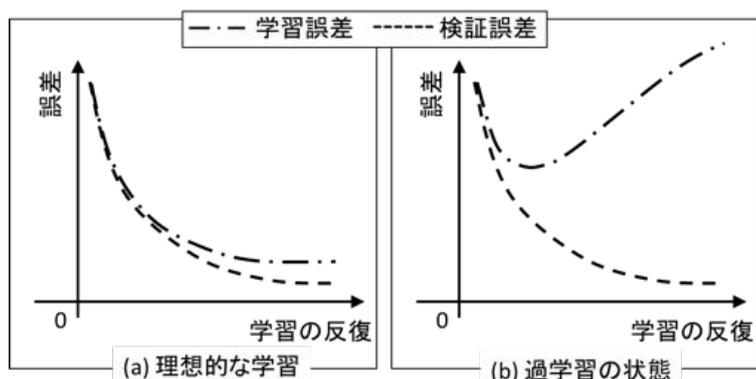


図 7 理想的な学習と過学習の状態

では判別器の出力と正解との誤差の増減を元に学習が正常に行われているのかの検証を行う。理想的に学習が行われた場合には図 7(a) のように学習誤差 (学習データに対する誤差) と検証誤差 (検証データに対する誤差) の値に大きな違いはない。一方で正常に学習が行われないと、図 7b のように学習誤差と検証誤差が大きく乖離する。この状態を過学習と呼び、過学習が発生すると学習データのみは正しく判別できるが、それ以外のデータは正しく判別できなくなり、判別器の汎用性がなくなる。過学習を避けるには、学習データの画像の反転・回転などを行い枚数を増やすデータ拡張と呼ばれる方法などが知られている。

さらに、判別器の性能を評価する指標である判別精度は、表 2 に示す混合行列で表され、「正例」を判別器に与え、正しく『正例』であると判別できた場合を実際を TP(True Positive), 「正例」を『負例』と間違えて判別した場合を FN(False Negative), 「負例」を『正例』と間違えて判別した場合を FP(False Positive), 「負例」を『負例』と正しく判別できた場合を TN(True Negative) とすると、

表 2 混合行列の例

		判別結果	
		『正例』	『負例』
正解	「正例」	TP	FN
	「負例」	FP	TN

$$\text{特別精度} = (TP + TN) / (TP + FP + FN + TN) \quad (2)$$

として算出する。以後、入力画像のラベル (判別したいカテゴリ) を「」で囲み、判別器の判別結果を『』で囲む。

2.3 航空写真からの被害判別

(1) 対象地域とデータセット

本研究は兵庫県南部地震の被害集中帯の中でも、1 棟ごとの被災度情報が得られている兵庫県西宮市全域を対象地域とした。被災度情報などのデータは震災復興都市づくり特別委員会の建物被災度判別結果について、建築研究所がデジタル化した GIS データ 13) に、西宮市り災調査データと航空写真、写真撮影ポイントおよび現地写真を統合した西宮 Built Environment DB14) (以後、西宮 DB と呼ぶ) を用いた。ここで、被災度情報は西宮 DB に含まれる西宮市り災調査データを用いた。これは「全壊」、「半壊」、「一部損壊」、「無被害」の 4 段階に分けられていたが、本研究では初期的な検討として、「半壊」、「一部損壊」、「無被害」を被害区分「その他」として統合し、「全壊」と「その他」を用いた。そして、建物ポリゴンと航空写真から、対象の建物が中心にくるように航空写真を 64 × 64 ピクセルで切り出した。「その他」のデータが「全壊」のデータより多かつたため、「全壊」のデータ数と同じ数になるように「その他」のデータをランダムに抽出した。そのデータを 8 : 2 の割合で学習データ、検証データに分割してデータセットを作成した。また過学習対策として、学習データのみを鏡像反転し、データ数を 2 倍に増やすデータ拡張を行ったデータセットも作成した。それぞれのデータ数を表 3 に示す。

表 3 学習に用いたデータ (航空写真)

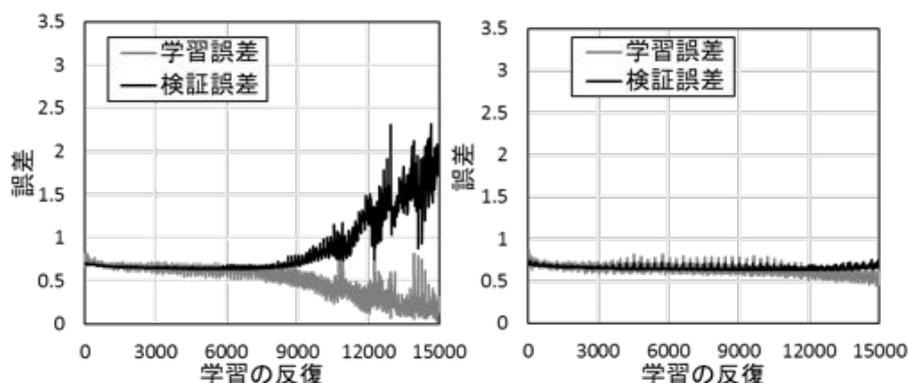
	「全壊」		「その他」	
	学習	検証	学習	検証
切り出し直後	9,376		9,376	
データ拡張なし	7,500	1,876	7,500	1,876
データ拡張あり	15,000	1,876	15,000	1,876

(2) 学習の推移と考察

図 8(a) にデータ拡張なし、図 8(b) にデータ拡張ありのデータセットで学習を行った場合の誤差の推移を示す。図 8(a) は学習の反復が 8,000 回を超えたあたりから検証誤差が増加しており、過学習が発生している。一方で図 8(b) は学習誤差と検証誤差に大きな乖離は見られず、データ拡張を行うことで過学

表 4 判別器の混同行列 (航空写真)

		判別結果			
		データ拡張なし		データ拡張あり	
		『全壊』	『その他』	『全壊』	『その他』
正解	「全壊」	1,187 (TP)	689 (FN)	1,191 (TP)	685 (FN)
	「その他」	953 (FP)	923 (TN)	680 (FP)	1,196 (TN)



(a) データ拡散なし (b) データ拡散あり
図 8 学習の推移 (航空写真)

習の発生を遅らせることが可能であることを確認できた。また、この学習によって生成された判別器の混合行列を表 4 に示す。判別精度はデータ拡張なしが 56.2%，データ拡張ありが 63.6% となり、後者は判別精度が 7 ポイント程度向上している。図 9 にデータ拡張ありの判別器の判別例を示す。画像上の数値は判別器がその画像が「全壊」であると判断した割合（以後、確信度と呼ぶ）であり、0.5 以上を『全壊』、未満では『その他』と判別した。TP の上段の画像など、画像内の建物の屋根に大きな被害が出ていたり、周囲に瓦礫が散乱していることが確認できる画像では、確信度が 1 に近づいて『全壊』と判断する例が多かった。一方で、TN の下段の画像など、屋根に被害が出ていない画像や瓦礫が少ない画像では、確信度が 0 に近づいて『その他』と判断する例が多かった。しかし、FN の左上の画像では画像中心の建物に大きな被害が確認できる。また、FP の右下の画像では被害を確認できない。

今回の被災度情報として用いた西宮市り災調査データは、外観から調査を行う 1 次調査と内観から調査を行う 2 次調査に分けて調査されている。その 1 次調査では①外観による判定、②傾斜による判定、③部位による判定が行われるが、②や③の判定や 2 次調査の判定は建物のごく一部に注目して行なわれるため、建物全体を写す画像では被害がわからない場合がある。特に航空写真で確認できる建物被害は、屋根の被害や周囲への瓦礫の飛散状況であるため、「全壊」画像の中に被害を確認できない画像が含まれていた。一方、「その他」の建物であっても屋根に被害が生じた建物の画像や、中心の建物に被害が見られなくても、周囲の建物に被害が見られる画像など、「その他」の画像の中に被害を確認できる画像が含まれていた。その結果、誤分類が発生したものと考えられる。

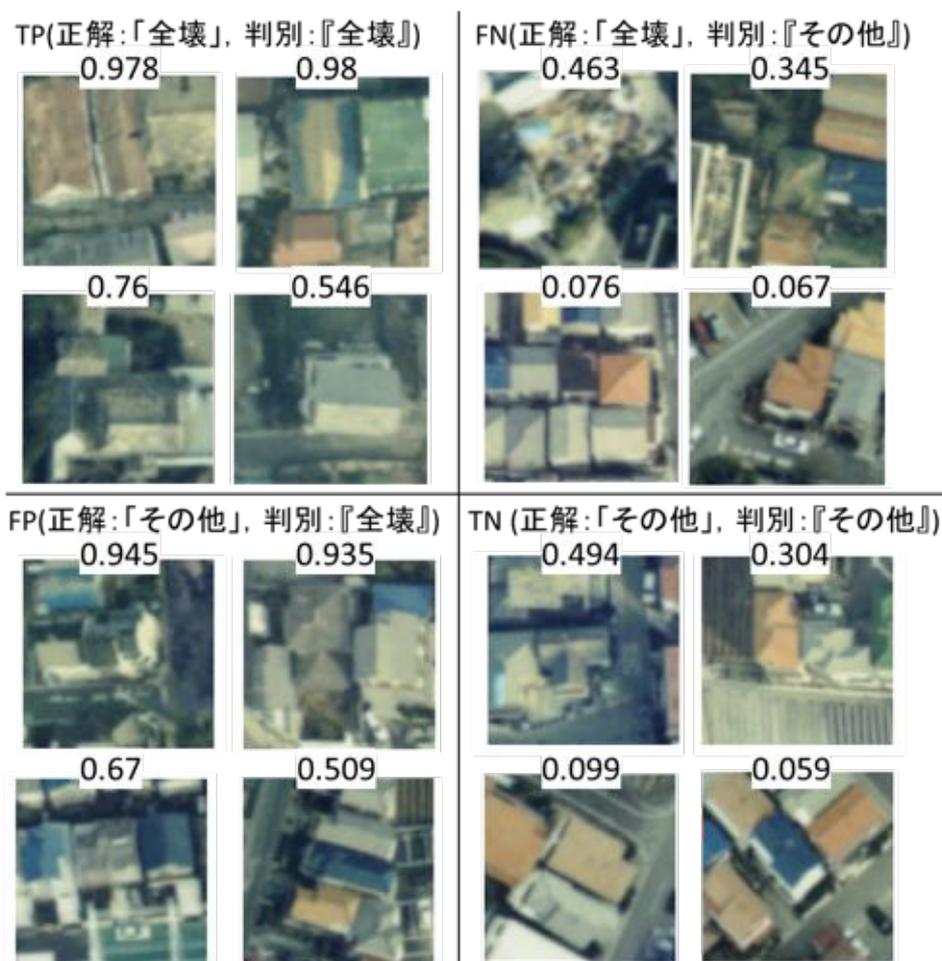


図 9 判別器の判別例（航空写真）

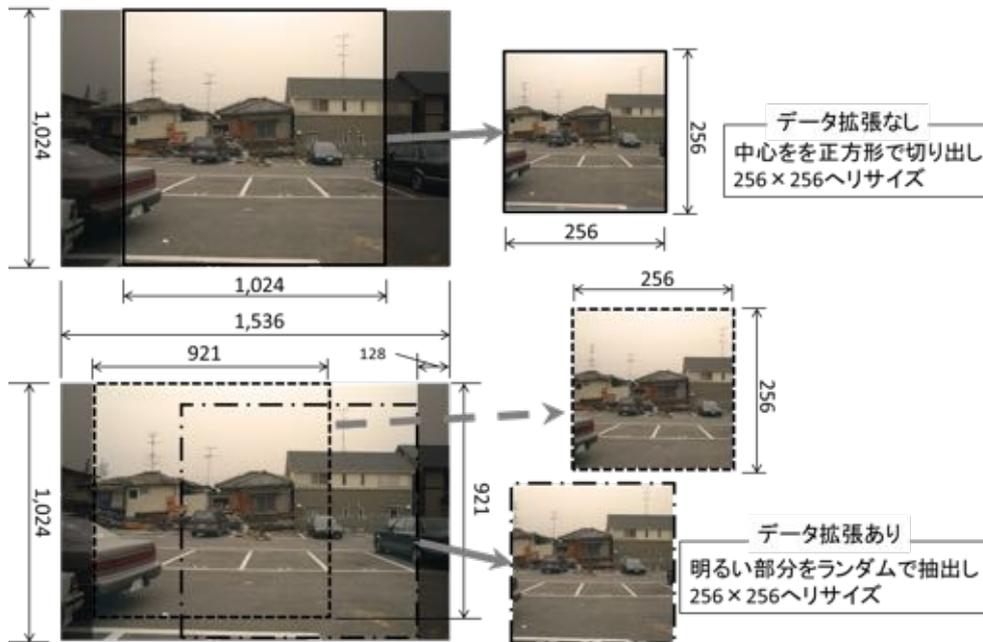


図10 学習データの拡張方法（現地写真）

2.4 現地写真からの被害判別

(1) 対象地域とデータセット

西宮 DBに含まれる建物ポリゴンと現地写真，写真撮影ポイントから現地写真の中心に写る建物を機械的に特定し，建物が画像の中心に来るように画像を切り出した。図10に切り出した画像の例を示す。まず，現地写真の中心から 1,024 × 1,024 のサイズで画像を切り出し，256 × 256 にリサイズした。「その他」のデータが「全壊」のデータより多かったため，「全壊」のデータ数と同じ数になるように「その他」のデータをランダムに抽出した。

その中から 8:2 の割合で学習データ，検証データを抽出しデータセットを作成した。また，過学習対策として鏡像反転の手法を試行したが，過学習の抑制効果が薄かった。そこで画像の中心付近をランダムに 921 × 921 のサイズで 20 回切り出し，データ数を 20 倍にさせたデータセットも作成

表5 学習に用いるデータ数（現地写真）

	「全壊」		「その他」	
	学習	検証	学習	検証
切り出し直後	1,249		1,249	
データ拡張なし	999	250	999	250
データ拡張あり	19,980	250	19,980	250

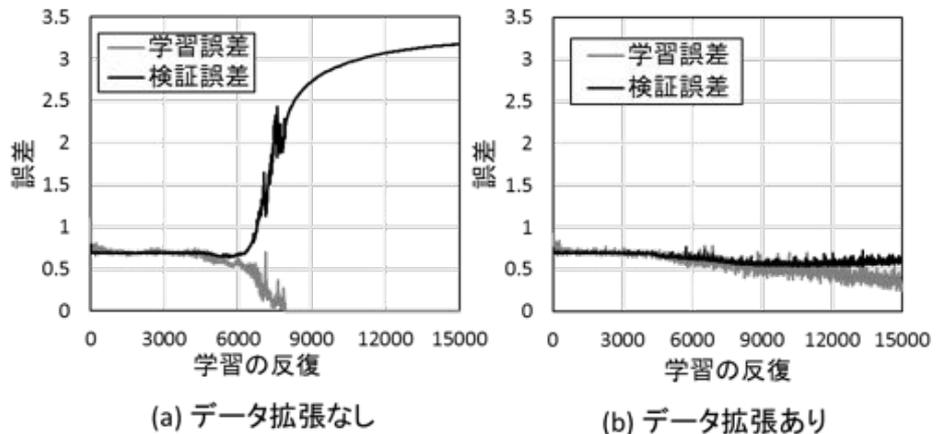


図11 学習の推移（現地写真）

した。それぞれのデータ数を表 5 に示す。

(2) 学習の推移と考察

図 11(a) にデータ拡張なし，図 11(b) にデータ拡張ありのデータセットで学習を行った場合の誤差の推移を示す。図 11(a) は学習の反復が 6,000 回を超えたあたりから検証誤差が大幅に増加し，過学習が発生している。一方，図 11(b) は検証誤差は微減しており，データ拡張による過学習の抑制を確認できた。判別器の混合行列を表 6 に示す。判別精度はデータ拡張なしが 54.8%，データ拡張ありが 73.6% であり，後者は判別精度が 19 ポイント程度向上している。図 12 にデータ拡張ありの判別器の判別例を示す。TP の上段の画像など，完全に倒壊している建物の画像では，確信度が 1 に近づいて『全壊』と判断する例が多かった。一方で，TN の下段の画像など，建物の形状が残っている画像では，確信度が 0 に近づいて『その他』と判断する例が多かった。

しかし FN の左上の画像では，倒壊した建物が確認でき，FP の右下の画像では形状が残っている建物が確認できる。今回用いた現地写真の大半は対象建物の周囲領域を含む全景画像であった。そのため 2.3 節の考察と同様に，1 次調査の②傾斜や③部位による「全壊」判定されるような外部に大きな被害が確認できない画像が存在していた。また「その他」の画像では対象建物の周囲に瓦礫や倒壊建物が確認できる画像が確認できた。現地写真では屋根だけでなく壁面の被害を確認できる。壁面情報を含んでいることが，現地写真が航空写真よりも判別精度が高かった理由と考えられる。

表 6 判別器の混合行列 (現地写真)

		判別結果			
		データ拡張なし		データ拡張あり	
		『全壊』	『その他』	『全壊』	『その他』
正解	『全壊』	126 (TP)	124 (FN)	205 (TP)	45 (FN)
	『その他』	102 (FP)	148 (TN)	87 (FP)	163 (TN)

しかし FN の左上の画像では，倒壊した建物が確認でき，FP の右下の画像では形状が残っている建物が確認できる。今回用いた現地写真の大半は対象建物の周囲領域を含む全景画像であった。そのため 2.3 節の考察と同様に，1 次調査の②傾斜や③部位による「全壊」判定されるような外部に大きな被害が確認できない画像が存在していた。また「その他」の画像では対象建物の周囲に瓦礫や倒壊建物が確認できる画像が確認できた。現地写真では屋根だけでなく壁面の被害を確認できる。壁面情報を含んでいることが，現地写真が航空写真よりも判別精度が高かった理由と考えられる。



図 12 判別器の判断例 (現地写真)

2.5 おわりに

本研究では、西宮 *Built Environment DB* の航空写真と現地写真、建物被災度情報からデータセットを作成し、CNN と組み合わせた場合の建物被災度判別の可能性を検討した。その結果、航空写真と現地写真のどちらのデータセットでも過学習が発生したが、データ拡張による過学習対策を行うことで、航空写真では 63.6%、現地写真では 73.6% の精度で全壊とそれ以外の被災度に判別できた。

以上より、CNN を適用するには膨大なデータセットを必要とするものの、航空写真を用いると広域かつ早期の被災度判定に、現地写真を用いるとより正確な被災度判定に使える可能性があることがわかった。しかし、現状で判別可能な被害は倒壊など全壊の建物の一部に限られ、上空からのみでは判断できない建物被害や局所的な建物被害の判別は困難であった。今後は、斜め写真などの建物の側面情報を含んだ画像や被害部位に注目した画像も用いることで被災度判別の精度が向上すると考えられる。

謝辞

ALOS-2 衛星の PALSAR-2 画像は JAXA 大規模災害 WG の一環として JAXA から提供を受けた。西宮 *Built Environment DB* については、京都大学の牧紀男教授、インターリスク総研の堀江啓氏との共同研究の一環で利用した。記して謝意を表します。

参考文献

1. 国土地理院：平成 28 年熊本地震に関する情報，
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>, 2016.
2. 伊藤陽介，細川直史：干渉 SAR データを用いた地震被害度推定モデル，電気学会論文 C, Vol.122, No.4, pp.617-623, 2002.
3. Y. Ito, M. Hosokawa, M. Matsuoka: A Degree Estimation Model of Earthquake Damage Using Temporal Coherence Ratio, Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, Vol.4, pp.2410-2412, 2003.
4. 松岡昌志：ALOS-2 画像を用いた 2015 年ネパール地震の建物被害判読，平成 27 年度第 2 回大規模災害衛星画像解析 WG 資料，2015.
5. 賀川健人，大申文誉，松岡昌志：2016 年熊本地震の被災地を観測した PALSAR-2 画像のコヒーレンスおよび後方散乱強度からの建物被害の抽出，地域安全学会梗概集，No.38, pp.185-186, 2016.
6. 内閣府：阪神・淡路大震災の概要と被害状況，内閣府 防災情報のページ，
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/pdf/101.pdf>, 平成 29 年 1 月 21 日確認.
7. 山崎文雄：リアルタイム地震防災システムの現状と展望，土木学会論文集，No.577/I-41, pp.1-16, 1997.
8. 三富創，松岡昌志，山崎文雄：最近の地震災害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み，土木学会論文集，No.703/I-59, pp.267-278, 2002.
9. 藤生慎，沼田宗純，大原美保，目黒公郎：東日本大震災における建物被害認定調査の実態に関する分析，社会技術研究論文集，Vol.10, pp.96-105, 2013.
10. 田中聡：建物被害認定自己診断システムの提案-自己診断-自己申告モデルの構築にむけて-，地域安全学会論文集，No.10, pp.233-242, 2008.
11. 藤生慎，大原美保，目黒公郎：大規模地震災害時における遠隔建物被害認定システムの開発と評価，日本地震工学会論文集，Vol.12, No.7, pp.19-37, 2012.
12. K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun : Delving Deep into Rectifiers: Surpassing Human-Level Performance on ImageNet Classification, IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), arXiv:1502.01852, 2015
13. 建設省建築研究所：平成 7 年 兵庫県南部地震被害調査最終報告書.1996.
14. 呂恒儉，牧紀男，田中聡，林春男：阪神・淡路大震災被災地 *Built Environmental Inventory* データベースの作成に関する検討：西宮市の事例，日本建築学会大会学術講演梗概集. B-2, pp.81-82, 1999.

2016年度開催の研究委員会報告にみる地震防災の研究動向

東濃地震科学研究所 太田 裕

Characterization of Recent Research Topics on Earthquake Disaster Prevention Issues Based on Presentations at the 2016 Meeting promoted by the Institute

Yutaka Ohta

Tono Research Institute of Earthquake Science

概要

2016年7月に実施された地震防災研究委員会では、従来とは違って、伝統の理工学を大きく越え、多方面にわたる研究者20名強による研究成果が報告された。開催が2016年熊本地震の直後であったことから、必然この地震に注目した課題が多いが、一方、これらの発表に関わる課題群を質的資料とした上で—近年発展の著しい—Text Miningの手法を多用することで、発表の全体像把握に加え、さらに地震防災分野の現況とか近未来における拡がりや深さについて理解を進めるべく可能性があり、その予備的考察を行った。このようなアプローチは地震関連分野では未だ活用は未だしであるが、本研究は同様の手順・手法が今後さらに多用されて然るべきことを主張した研究でもある。

Synopsis

This short paper aims at elucidating current trend on earthquake disaster prevention-related studies in positive use of recently developed Text Mining technology, since the basic information prepared by the 20 speakers, under the specific situation executed in a short time later than the occurrence of the 2016 Kumamoto earthquake, are given in terms of non-metric form at the special research meeting held in the Institute in the late July last year. What found are summarized as follows; first as that the earthquake disaster prevention discipline traditionally and so commonly accepted has gradually been renewed over the well-known scope and so variety of professionals should be welcome from the areas far over than the existing research field. Secondly, we ascertained the significance of use of the Text Mining technology for better understanding of non-numerical data and the necessity of positive use for plausible solution findings toward the future.

1. はじめに

本論は2016年7月に実施された当地震研究所防災分野の20編に及ぶ発表話題について、報告内容を話題毎にKeywords化した自然言語からなる「定性情報群」を用意することで、従来の量的分析限定とは違った分析を実施する手法-Text miningと総称される一の適用事例であり、通例の数値情報のみから想定される領域を越えて地震防災分野の近年の変容(=拡がりとか深さ等)について理解を深めようとする場合等、従来のアプローチとは一線を画す分析法として有用となるとの思いから考究を続けており、

このためのツールとなる *Text mining* 法の活用に向けて、*Data* の取得に始まる、一連の手順、そして成果の一端を記述しておく。

2. *Text mining* の手法：概観と本論における活用手順

まず、第 1 表を見ていただきたい。これは *Data* 処理の一般法について纏められたものであり、*Text mining* 技術の種類を難易度によって段階別に整理したものである。これらのうち、レベル 1 とか 2 については、対象がもっぱら数値 *Data* であり、よく知られている手法である。一方、レベル 3 の諸技術はいずれも「非数値情報を含む」*Data* 処理を可能とする手法であり、近年発展したものが多く、

表 1 *Text mining* 技術の段階別区分 (那須川, 2006)

処理のレベル	処理の概要	技術的要素
レベル 1	検 索	情報検索
レベル 2	分 類 整 理	基礎統計 系列分析
レベル 3	分 析 (新知見獲得)	多変量解析 自然言語処理 視覚化表現

那須川: テキストマイニングを使う技術・作る技術(2006)を簡略化



本論ではレベル 3 の手法のうち、特に「自然言語処理」を可能とし、さらに視覚化表現も可能な *Text mining* 手法の 1 つ — “Polaris と総称” — を活用させていただくこととしている (大澤, 2006 等)。ちなみに、筆者はこの手法を使って今までに地震災害分野のうち、とくに地震に伴う死者発生の実状を世界的視点で捉えるべく、医学分野で周知の PubMed (Public Medicine, National Inst of Health, USA) 活用による分析実施の経験を持っている (太田他, 2008)。また、我が国の地震工学研究の先達である金井清先生の研究活動を総括するための手法として活用した経験をもっている (太田, 2009)。本論はこういった経験を背景として研究展開されている。

2.1 定性的 *Data* の取得：方法一般と今回の場合

当該研究委員会では一地域への公開講演を含めて一 20 人近い研究者が 20 分/人程度の発表を実施しており、このときの発表内容を分析の原資源として話を進めていく。しかし、各人の発表内容をそのままに入力情報とするのは冗長に過ぎるし、内容の確保 (全記録の収録) は容易ではない。それ故、何らかの代替え案導入が必須となる。この有力な手段として自然言語処理 — *Text mining* — の援用法がある。一般に、(非数値からなる) 文書情報を入力とする自然言語処理の手順は大きく 2 段階に区分される。前段は原文書から単一語句の抽出に向けて構文分析を行うことであり、単一語句群に分解する作業がこれに続く。そして、いずれもが *Text mining* 手法適用に向けて不可欠の前段準備である。しかし、今回は、話題提供者全員に対して話題毎に『名詞系の語句集合 (Keywords)、つまり、各 30 語句の提出』をお願いすることで前段作業の代替えとさせていただいた。特に、能島氏 (岐阜大) には通常発表者の 3 倍程度 (~ 100 語) を用意していただくよう、特段の依頼をした。これは公開説明会で 1 時間弱にわたる特別講演を依頼していたことから、必然関係する Keywords 群も多彩となることを考慮したためである。そんな次第で、第 1 段の語句抽出作業はほぼパス出来ることとなった。なお、話題提供者全員の氏名・所属は末尾 (= 謝辞の部) に記載させていただいた。

この結果をそのまま活用することで、主題となる語句間関係 (重要度、結合関係) の分析、そして背後に潜む「重要情報」を浮き彫りにしてゆく作業に直ぐにも移行できる筈であるが、実際には送られてきた Keywords 群が話題提供者毎に独自の判断で選別されていることから、本分析に先立って、若干の吟味が必要となる。

余談ながら、関係資料準備の最も手軽な手段として、各人が提案の「発表課題名をストレートに名詞化したものの組」を Keyword 群集合とする方法があり、これを簡便法として位置付けることも可能では

ある。しかし、この略式では多くの場合—情報量不足のため—、相応の成果しか期待できず、他に手段がない場合の「代替措置」として位置付けられるべきものであろう。

2.2 届けられた Keyword 群とその微細調整・度数分布等

上記の手順を経て、19人の方々から「30 Keywords/人」を平均値とする 600 語近い Keywords が用意された。これに能島氏からの 100 語を加えることで、合計で 700 個を越える Keywords 群を、研究委員会の後に集めることが出来た。第 2 表に各氏から Excel 形式で送付された原 Keywords 群の一部を載せておく。

こういった表では 1 行が 1 人分に相当し、30 語程度の Keywords が並ぶ。従って、こういった Keywords 群を原 Data として直ちに Text mining ソフトへの入力情報とすることも可能ではあるが、個別 Data に立ち入ってみると—各自が適宜(自由に) Keywords 群を与えているために—内容的には全く同一の対象(事象)が別の言語表示となっている場合が散見される。例えば、“人的被災度”と”人的被害度”とか、“避難所”と”地区避難所”等々、少なからざる語句が少しずつ違った形で届けられている。こういった問題は”話題提供者から送付された原 Keywords 群を個別に調べることで事前の”修正(ないしは同一化)”を済ましておく必要があり、当面、筆者自身が手動で改訂を試みた。そういった作業を終えた後の、Keywords 群に対する度数分布を第 1 図 (a), (b) に掲げておく。

第 1 図 (a) の高頻度 Keywords 群をみると第 1 位が「避難問題」となっているが、実際には講演者から届けられた Keywords は前述のような類似関係にあるものを筆者が集約した結果の全体数として扱ったものであることを特に注意しておきたい。他の Keywords 群についても適宜同様の少修正を行っている。2位の京都大は報告者数が多かったことを反映した結果である。次いで、3位が人的被害、4位が能島氏、5位が熊本地震等々となっている等、研究委員会直前の熊本地震発生を反映した状況が伺われる。参考までに、第 1 図 (b) には、出現項目数 2~1 の度数分布を掲げておくが、本論ではこれ等に対しては立ち入った議論はしない。ともあれ、上記の度数分布図はそれ自体が各 Keyword の重要度の 1 表現ではあるが、これらの図のみから読み取れる情報量はかなり貧弱なままであり、今一段の工夫が望まれるところであり、これに応えるべく(レベル 3 に属する) Text mining の手法が開発されているわけである。以下、大澤(2006)の説明を参考にしながら、Keyword 毎の重要度の判断・表現法について簡単

表 2 送付された原 Keywords(の部分).

2016熊本地震	避難問題	避難問題	災害復旧	益城町	家具固定	ベッド同伴	小学校	防災教育
2016年台湾	構造物被害	地盤変動	建物被害	耐力不足	地震動予測	微動計測	文化遺産	台南台地
2016熊本地震	被害想定	経済損失	直接被害	間接被害	推定式	少子化	高齢者化	南海トラフ
津波災害	2011年東	死亡率	年令特性	算法	吟味	改善	東北3県	沿海域
微動計測	地中レー	鹿野断層	地盤変動		位相速度	地震動予測	震源断層	地質
避難問題	障害者	石巻市	民生委員	アンケート	インタビュー	地震動予測	要援護者	協力委員
ネパール	パタン	組構造	ゴルカ地震	地震動予測	世界遺産	微動計測	フリー変	固有振動
熊本震災	医療機関	DMAT	医師会	自衛隊	知事会	医師	看護師	薬剤師
2016熊本地	木造	損傷度	暴震	人体損傷	避難問題	軽減率	死亡率	負傷
2016熊本地	高齢者者	人的被害	関連死	居住環境	室内被害	家具固定	高齢者者	キッチン
2016年201	益城町	人的被害	要因	関連死	負傷者	全壊率	半壊	現地調査
個人世帯	身体的被害	資産的被害	精神的苦痛	円	ISS	K6	BCP	DCP
事業継続	地域特性	地区防災	多様性	機能継続	連携	戦略	ボトムア	提案制度
2016熊本地	人口衛星	合成開口	画像	地盤変動	被害想定	干渉SAR	変動量	益城町カラ
2016年201	新聞報道	現地紙	全国紙	地元紙	新聞記事	記事内容	地震動予測	斜面崩壊
内陸地震	潜在断層	地震動予測	地表断層	建物被害	岩手宮城	福島県浜	長野神城	潜在断層
津波災害	避難問題	地域特性	石巻市	シミュレー	犠牲者	2011年東	逃げるこ	気象庁
リスク評価	津波災害	地震動予測	災害復旧	人的被害	グローバル	構築	災害復旧	2011年東
神戸市	防災コム	寄与	地域特性	活動特性	危険認識	課題点	要援護者	支援地震
避難問題	メカニズム	断層タイプ	布田川断層	日奈久断層	30年発生	被害想定	前震	本震
継続時間	兵庫県南	東北地方	KK-net	緊急地震	余裕時間	耐震化率	新耐震設	宅地被害
無鉄筋	地壊	建築基準	耐震改修	耐震補強	供給系	ライ	復旧・復興	電気
送電線	応急復旧	応急送電	一般道路	国道	県道	交通途絶	災害復旧	カーナビ情
老朽化	避難問題	医療機関	軒先避難	車中泊中	テント	体育館	支援物資	避難問題
防災士	防災リーダー							
沿道耐震	公助	自助	共助					

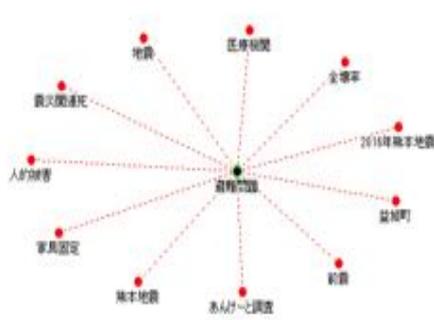


図2 ● 1点、● 1点とした場合.

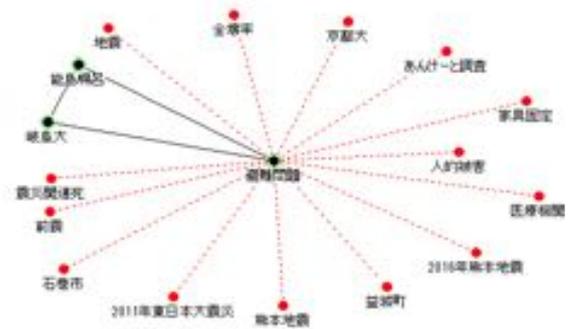


図3 ● 3点、● 14点とした場合.

3.1 少数の重要 Keyword に注目した場合

内容とか課題間の関係等はいきなり複雑な KeyGraph を描いても容易に把握できるものではない。「易より難に向かって進む」のが常道であろう。以下の KeyGraph 群はそういった方針で、重要 Keyword と位置付けている一の個数を”1”に始まり、順次増やしながら状況変化をみていくのが順当であろう。

そこで、先ず●1点（避難問題）を囲んで●11個の場合から話を始めることとする。これが第2図である。これにみるように第1義的に重要な Keywords 群 [●印] は避難問題となっており、度数分布図（第1図）の Top となった語句である。これが●印として「熊本地震、益城町」他の Keyword 群と one set で繋がる形となっている。第3図は●印を3点とした場合を対比的に並列表示してみたものである。ここでは「避難問題、能島暢呂-岐阜大」が●群を形成する。一方、●印として東日本大震災が新たに浮上していること、つまり、複数の地震が対象となっていることなど、また京都大の活躍の程も見て取れる形へと変化している。その他、「人的被害」、「家具固定」、「前震」、「全壊率」等など、在来枠に属す周知の Keywords 群が先行する様子が顕著にみられる。

以下、同様にして●を漸増し、併行して●を増やした場合の KeyGraph (2次元図) を以下に示す。

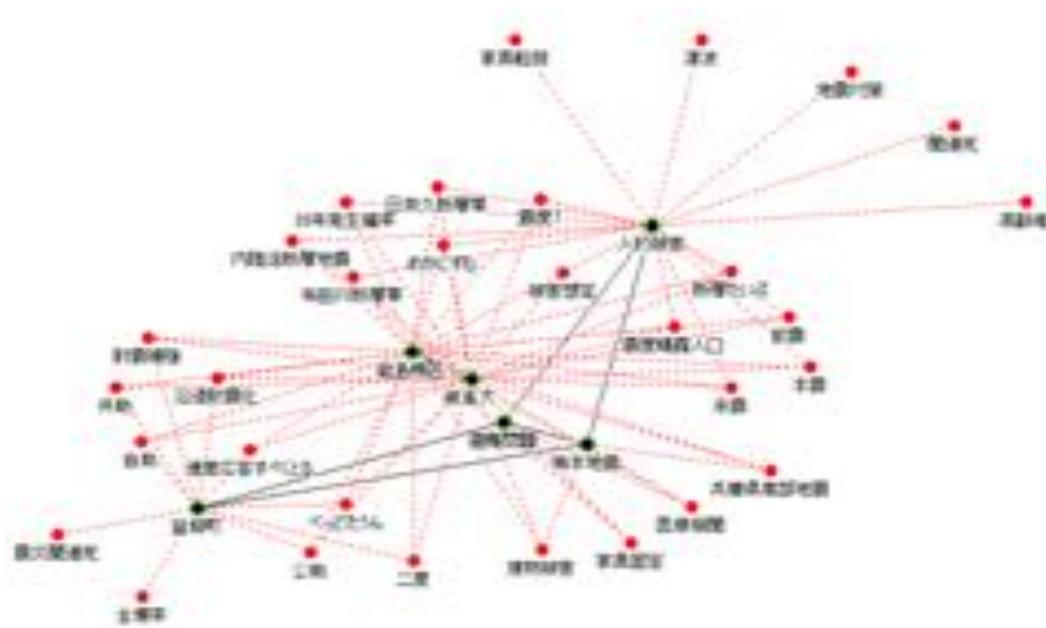


図4 ● 6点、● 30点とした場合

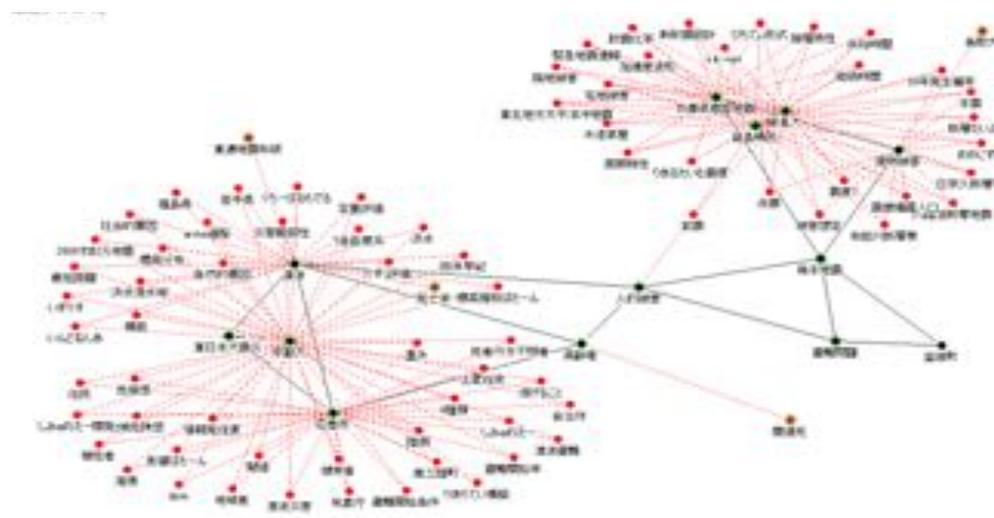


図5 ● 15点, ● 80点とした場合

第4図は● 6点, ● 30点とした場合の KeyGraph である。このとき重要語句となる●は「避難問題」を軸として「熊本地震・益城町」が続き、一方「人的被害」が他の地震を挟む形で出現している。能島(岐阜大)は当該研究委員会における長時間報告を反映したものであろう。一方, ●に注意を向けると兵庫県南部地震他の内陸起震断層系への関心とか、津波問題も議論の対象となっていることが判る。

3.2 ●を漸増させた場合

図5は● 15点, ● 80点とした場合の KeyGraph である。このとき重要語句となる●の分布は大きく左右に2分されており、この図では右側が「熊本地震、兵庫県南部地震」等に関わる語句群となり、一方、左側は主に「東日本大震災」関連の Keywords 群となっている。そして、これら両者の接合点に「高齢者・人的被害」項が位置し、古い/新しい地震群を繋ぐ共通項の役割を果たしている様子が明瞭である。このように一人一人の提供課題の多くは”深さ方向の考究を目指すものの”, そういった個別研究を2次元グラフに投影することで”地震防災課題がもつ広がり”を具体的に描き出すことが出来るといえる。

次いで、図6に● 20点, ● 80点とした場合を示しておくが、左側が東日本大震災関連の諸研究となるのに対して、右側が熊本地震・兵庫県南部地震関連の研究群となり、両者を結ぶ主要 Keyword として「人的被害、高齢者等々」となる一般性は● 15点の辺りで既に確定しているように見える。従って、●, ● 1をさらに増やしても本課題における KeyGraph の骨格構成はほとんど不変と思っていいであろう。逆に Graph が赤・黒の個点数が増えることによって却って見かけ上複雑になり過ぎる恐れもあろう。

4. 結果と今後の課題

4.1 結果の概要

大澤らによる *Text mining Soft* を活用させていただくことで、昨年7月に当研究所が実施した「地震防災関連研究委員会」における20人に及ぶ報告内容を“地震防災分野の広がりと深さを探る”といった視点で分析を試み、かなり目的に近い成果を得ることができた。そして、その結果を KeyGraph という2次元座標上に - Keywords 群を重要度に応じて「●, ●」表示することで視覚的認識にも耐える形で - 実現することが出来た。これを一口で言えば、「●となる Keywords を20個程度用意することで、話題提供者集団が主題とするところ、そして内容についても」相当程度まで理解できることである。

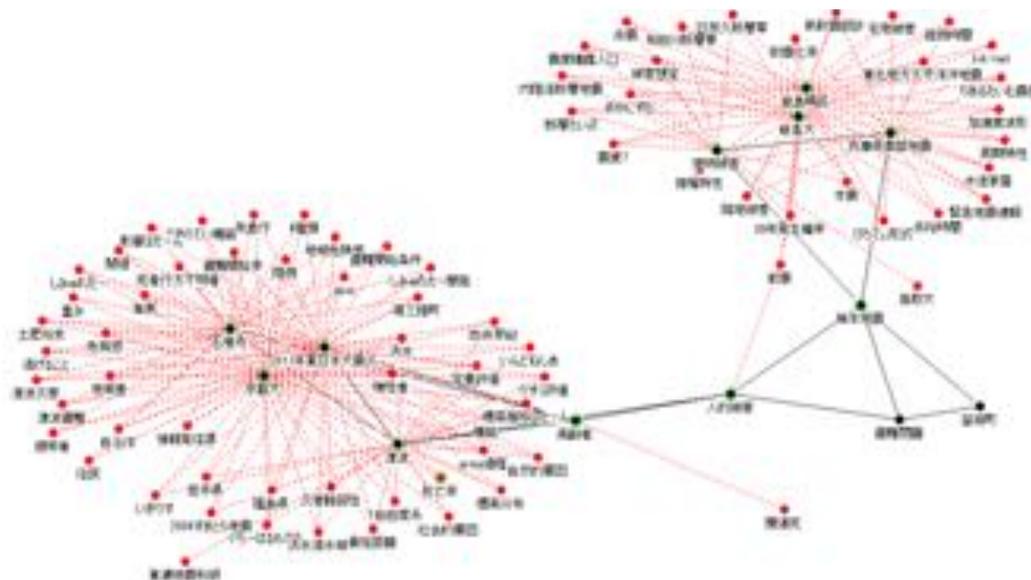


図6 ● 20点, ● 80点とした場合

4.2 今後の課題

今回の試行で一番の問題は話題提供者から届けられた *Keywords* 群の事前整理である。この問題は小さい。これは方針さえ決めてしまえば、後は力仕事で済むが故に時間労力の問題に還元されることから本質的な問題とはならない。

しかし、今回は取り上げなかったが、*Keyword* 群整理の段階で大きな問題が残っている。端的に言えば *Keywords* 間の階層構造を全く無視している点である。本題の事例でいえば、筆者が簡単のためということで避難関連の諸事項（実際には「避難誘導」に始まり「車中泊」等々に至る 10 数語がある）等がある。また断層関連でもやはり（地表断層、潜在断層、正・逆断層）等々のように多数の *Keywords* 群がある。つまり、各話題提供者による *Keywords* 群は実は”何段階かの階層構造を持っている”のが実情である。今後、検討すべき重要問題の 1 つである。

謝辞

この報告は東濃地震科研の地震防災研究委員会開催時（2016年7月）に発表いただいたメンバーの方々に話題提供毎に 30 語前後の *Keywords* 群を用意していただくことをお願いし、その集まりを原 *Data* として活用させていただいた。こういったお願いに協力いただいたのは次の方々である。以下、お名前と所属を列挙して謝意を表明しておきたい（敬称略、順不同）。・鈴木光（減災アトリエ）、清野純史（京都大）、野口竜也（鳥取大）、大西一嘉（神戸大）、古川愛子（京都大）、村坂建史（金沢医大）、中嶋唯貴（北海道大）、志垣智子（高齢者住宅研）、村上ひとみ（山口大）、岡田成幸（北海道大）、磯打千雅子（香川大）、松岡昌志（東工大）、北浦勝（金沢職人大）、大保直人（地震予知振興会）、吉田昌平（鳥取大）、土井裕史（京都大）、四井早紀（京都大）、岡田尚子（神戸大）、能島暢呂（岐阜大）の諸氏と筆者自身を加えた 20 名である。なお、当該研究員会を主導された谷口仁士（東濃地震科研副首席主任研究員）は当該研究委員会直後に急逝されたため、上記メンバーの一員としてのお願いは出来なかった。

一方、こういった *Keywords* 群を原 *Data* とした文書分析には大沢幸生教授（東大工学部）主導の *Text Mining Soft* - 呼称” *Polaris* -”，を活用させていただいた。記して、厚くお礼申し上げる。

参考文献

1. 那須川哲哉, テキストマイニングを使う技術/作る技術, 東京電機大学出版局, 1-236, 2006.
2. 大澤幸生, チャンス発見のデータ分析, 1-273, 東京電機大学出版 1-273, 2006.
3. 太田裕・野添篤竹・榊原真奈美, 地震に起因する文献学研究 (1 ~ 3), 東濃地震科研報告, Seq. No 22, 271-3930, 2008.
4. 太田裕, 資料: 金井先生の *Academic Activities* を概観する - 文献書誌学的視点から - 東濃地震科研報告, Seq. No 26, 187-198, 2010.

2016年熊本地震における避難所の分布と 避難所運営に関する実態調査報告

山口大学 村上ひとみ・野崎紘平・金 炫兌・内田文雄

Field Survey Report on GIS Distribution of Shelters and Management Conditions in Some Shelters after the 2016 Kumamoto Earthquake

*Hitomi MURAKAMI, Kohei NOZAKI, Hyuntae KIM, and Fumio UCHIDA
Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan*

1. はじめに

2016年熊本地震では、4月14日(木)21時26分頃にM6.5の地震が発生し、益城町で震度7を記録した。これが本震と思われ余震に警戒している最中、4月16日(土)午前1時25分頃にM7.3の本震が発生し、熊本県益城町、西原村、南阿蘇村を中心に甚大な被害が及んだ。熊本県の被害状況報告¹⁾によると、人的被害は、1) 検視により確認されている死者数が50名、2) 災害による負傷の悪化又は身体的負担による疾病により死亡したと思われる死者数が55名、3) 6月19日から6月25日に発生した被害のうち熊本地震との関連が認められた死者数が5名となり、合計110名の犠牲者が生じた。住家被害は、全壊8,166棟、半壊29,225棟である(2016年9月6日現在)。

熊本地震の特徴として、前震と本震が短期間の内に発生し、余震が非常に多いことが挙げられる。4月14日の前震から1か月で震度5弱以上を観測した地震が22回発生している²⁾。熊本県災害対策本部の資料によれば熊本県内の避難者数はピーク時の4月17日9:30現在で855箇所に183,882人に達した。避難所環境の調査として、サーベイリサーチセンターによるもの³⁾、日本財団によるもの⁴⁾、車中避難についての報告⁵⁾などがある。

本研究では、熊本県の資料から避難者数の推移を整理するとともに、避難所の地理的分布をGIS地図に示し、その特徴を考察する。さらに、2016年4月～6月の3回の現地調査でヒアリングした避難所の環境と運営実態を報告する。

2. 地震後の経過と避難所と避難人数の推移

避難所数と避難人数を熊本県の災害対策本部資料からエクセルデータに整理した。地震後の推移について熊本市、益城町、西原村の状況を図1に示す。ピークは熊本市が地震翌日の4月17日(日)午前9時半、108,266人、市の人口739,991人に対して避難率は14.6%となる。避難所の数は多い時で250箇所を超えている。益城町の避難人数ピークは4月17日14:30で、約16,050人に達し、町人口33,748人に対して48%の避難率に達した。西原村については、4月16日朝と午後の避難人数記録が混乱のため報告されていないが、17日9:30が最大で2951人の避難者に達し、村の人口6,792人に対して43%の避難率となる。

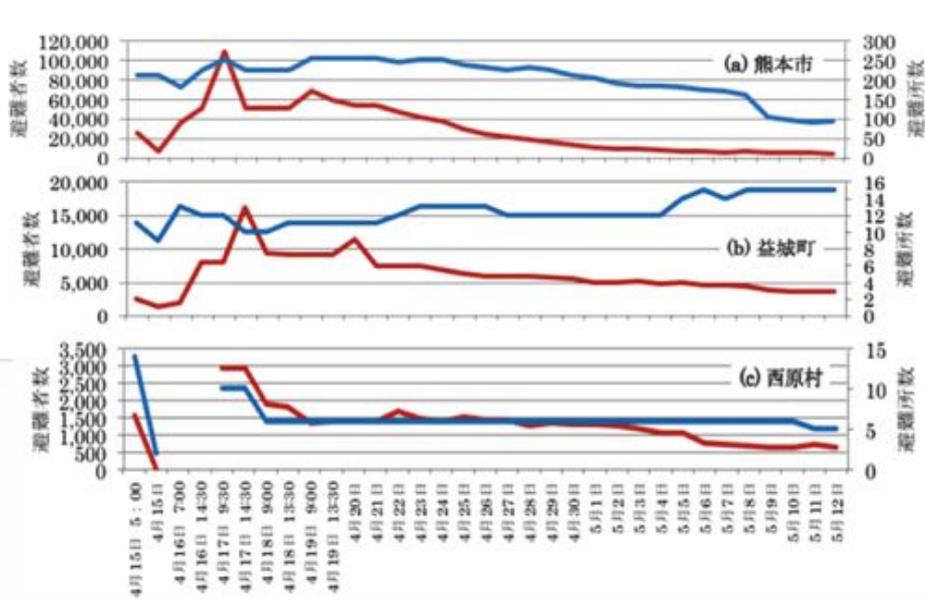


図1 避難所と避難者数の推移 a：熊本市 b：益城町 c：西原町

3. 避難所と避難人数の地理的分布

1) 熊本市

避難所の数は中央区、東区、南区が多く、東区の避難人数は 13,800 人と最も多い。5 区の避難者は合計 37,278 人となり、図 1 のピーク時 108,266 人の約 1/3 に相当する。避難所の平均人数は総計で指定避難所が 172 人となり、指定外の 78 人と比べて多い。

本震から 6 日目、前震から 9 日目における熊本市の指定・指定外避難所分布と避難者数を地図に示す(図 3)。なお、熊本市から提供して頂いた避難所リストの住所を yahoo 避難所情報サイトで照合し、住所からジオコーディング⁶⁾により緯度・経度を調べ、ArcGIS10.1 により XY 座標でプロットした。

表1 熊本市の避難所箇所数、避難人数、平均人数 (2016 年 4 月 23 日現在)

	箇所数			人数			平均人数		
	指定	指定外	総計	指定	指定外	総計	平均人数 指定)	平均人数 指定外)	総計
西区	30	11	41	6587	1224	7811	219.6	111.3	190.5
中央区	43	30	73	6820	1245	8065	158.6	41.5	110.5
東区	33	34	67	9720	4099	13819	294.5	120.6	206.3
南区	37	29	66	4418	1551	5969	119.4	53.5	90.4
北区	27	0	27	1614	0	1614	59.8		59.8
総計	170	104	274	29159	8119	37278	171.5	78.1	136.1

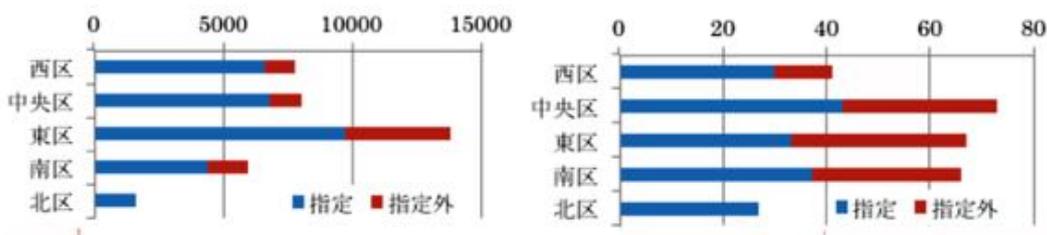


図2 熊本市区別の指定・指定外避難人数(左)と避難所数(右)

熊本市の東区と中央区を主な範囲とする避難所分布・名称を図4に示す。指定避難所は主に市立の小学校・中学校・コミュニティセンターなどが利用されているが、避難者の増大により県立・私立の高校、地域の集会所、公園、運動公園、役所、病院、お寺等、ショッピングモール駐車場など様々な施設が指定外の避難所として利用された。

2) 益城町と西原村の避難所分布

益城町と西原村の避難所分布を住所からジオコーディングにより緯度経度をもとめ、避難人数を図4に示す。なお、益城町の避難人数は4月24日現在の、西原村の避難人数は4月17日現在の報告による。益城町の避難人数は4月17日が計16,050人に対して4月24日は計6,728人と42%に減少している。西原村役場まとめによる各避難所人数の推移を図5に示す。4月17日時点では河原小学校の避難者が約700人と最大であるが、18日以降は西原中学校と山西小学校の避難者が各600名近くになっている。

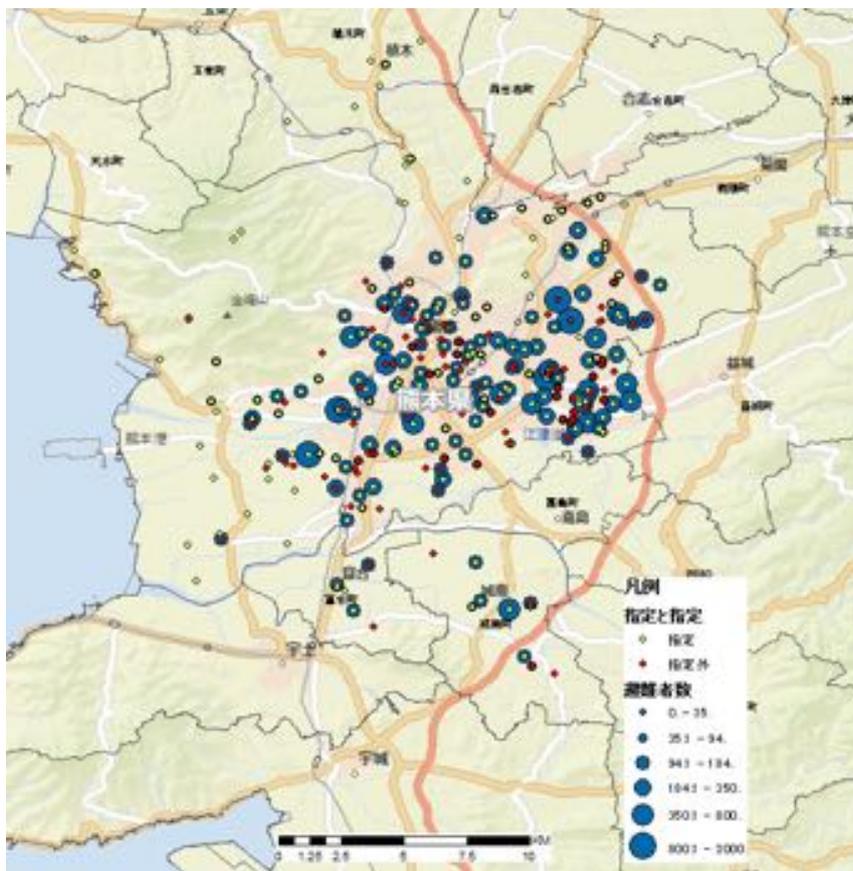


図3 熊本市の避難所と避難者数の地理的分布(16年4月23日現在)(地図で城南町富合町は南区、植木町は北区)

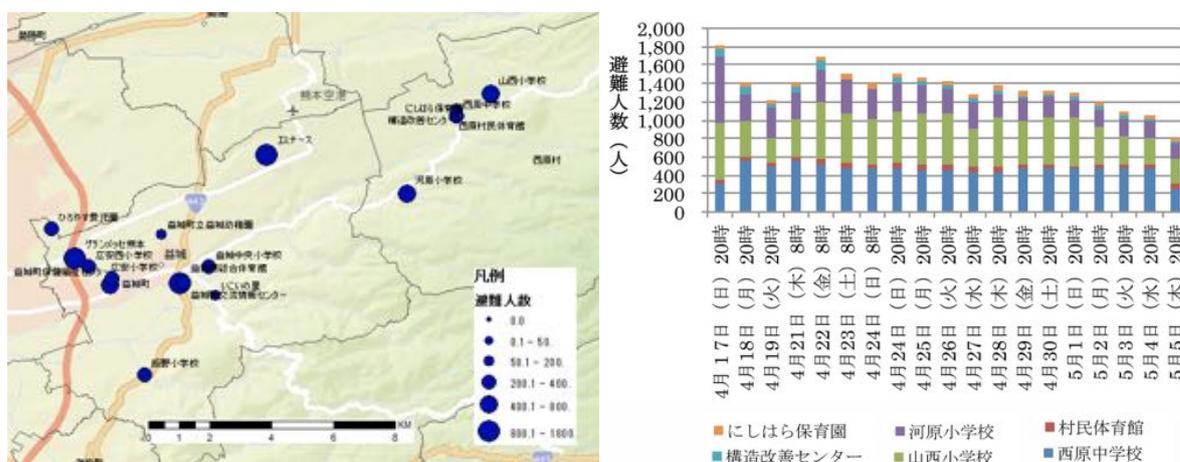


図4 避難所地理的分布と避難人数：益城町（4月24日付）・西原村（4月17日付）

4. 避難所でのヒアリング結果

1) 益城町の避難所

(1) 益城町健康福祉センター (写真1) 4月23～24日

町の防災計画では健康福祉センターが福祉避難所の設定であったが、一般の避難者でいっぱいになり、福祉避難所の役割は果たせず。益城町役場が被害を受けて危険になり、健康福祉センターに設置されている児童館が町の災害対策本部とするため、児童館にいた避難者には広安小学校に移動してもらったとのことであった。屋外に仮設トイレを設置し(写真2)、災害派遣の自衛隊が炊き出し、高校生ボランティアがゴミ分別をよびかけていた(写真3)。

(2) 益城町総合体育館 ○ (4月24日訪問)

屋外はマンホールが液状化で飛び出している。駐車場には避難者の車が満車で、車で出かける時は自転車、家財、雑貨等で場所を確保している。メインアリーナは天井と照明器具落下で使用不可となり、5月25日頃修理が完了して避難所に使用可能となった。武道館は畳敷きでフローリングより眠りやすいと思われる(写真4)。避難者にきくと、空気がこもる、トイレは水が出ない、屋外の仮設トイレに行くのが大変、雨の日は濡れるとのこと。廊下などには、段ボールベッドで過ごす高齢者や家族、ペット犬と共に過ごす避難者もいる(写真5)。

・益城町総合体育館、武道館の避難所

にてヒアリング(5月2日再訪)赤ちゃんを抱いた女性(30代か)、隣に60～70代の女性。家は熊本市中央区のマンション(築28年)、7階建の2階でドアが開き、閉しにくい状態、黄色注意の応急危険度判定。寝るだけに帰っているが、昼間はあちこち移動、今日はおばさんのいるこの避難所で過ごしている。

・窓際の家族、50～60代の夫婦と中学生女子の孫。女性：家は安永で要修理、配管・温水器も壊れた。井戸水はでる。1度目の地震で奥さんと孫が体育館へ避難。息子夫婦は車に避難。2度目の地震は息子夫婦は家の前に駐めた車内で体験した。今でも夫婦と孫の3人、ここで避難生活して、息子夫婦は車に避難している。洗濯はコインランドリーに行つて並んで洗って乾かして戻るのに6時間くらいかかる。友人の家でも洗濯させてもらっている。風呂は陸上自衛隊設営、最初は混んで大変だったが、海上自衛隊が来てから余裕が出てきた。入る方も混み具合を予想して、昼間いる人は早めに入る。

換気、通風について：地震の数日後、非常ベルが鳴って誤報だったが、廊下側の防火シャッターが下りた。シャッターに人が挟まると危険なので、その後、廊下側シャッターを下ろしたままで窓が開かない。昼間は高窓を開けているが、大勢



写真1 益城町健康福祉センター、食事に並ぶ避難住民(2016.4.24)



写真2 健康福祉センター外に仮設トイレが多数



写真3 ゴミ分別を指導する高校生ボランティア



写真4 益城町総合体育館の武道館(2017.4.24)

避難なので、においもあり、換気が足りない。

・壁際の高齢女性と息子の家族：木山宮園の家。男性はひざと下肢に包帯、サポーター。避難して足を着地の際ねじって膝の靭帯に損傷。避難所の温度について、昼間は良いが、明け方は毛布 1, 2 枚なので少し寒い。真冬や真夏だったらもっと大変。

○総合体育館避難所 (写真 6, 7) (6月12日)

指定管理者 (公益社団法人) 熊本 YMCA

災害対策本部 YMCA 益城ボランティアセンター長 企画部長 A氏 (総合体育館避難所責任者) にヒアリング。メインアリーナ (5月25日に修理完了)、サブアリーナ、武道館に避難者合計 747 名 (避難所プロジェクトチーム役場職員の説明)。建物内に 700 人、車中泊が 60~70 人 (合計 760~770 人) 隣接する町の交流情報センター「ミナテラス」に、156 人避難中。ピーク時には 1500 人くらい避難した。現在、屋外に仮設シャワー室 (男性 10、女性 10) を整備。午後 2 時頃~午後 9 時頃まで利用できるが、夕方や夜は待ち行列が長い。受付を YMCA ボランティアが担う。洗濯機、乾燥機も洗濯場として設置し、受付係がいる。物干し場も屋外に設置。トレーラーハウス：心のケア、相談室として開設 (平常の用途)。危機管理上は、感染性疾患が発生した場合の隔離用病室として整備。

総合体育館の平常時スタッフは、YMCA 15 名。4月14~16日本震の後、継続的に全国の YMCA から応援が来ている。YMCA は被災地 (熊本県) で他に、御船町のスポーツセンターも指定管理している。他、ボランティアセンター、一日に全国から YMCA スタッフ 10 名くらい、役割はコーディネータ。YMCA の強みは NPO、NGO とのつながり、被災者のニーズを支援のシーズにつなぐ役割を担う。ペットの預かり、世話など対応。介護ニーズへの支援。医療のソーシャルネットワーク。マシコンの会議。避難者には高齢者が多い、4割以上が 65 歳以上の高齢者 (3週間前に確認)

総合体育館の駐車場は避難者の車でかなりふさがっている。車が出かけている間は、ポリタンや椅子、自転車、段ボールなど何かしら物を置いて場所取り状態。駐車スペースの有効活用が難しい。地震直後はもっと駐車場が 1 杯だった (5月上旬調査時等)。

(3) 益城町広安小学校 (写真 8, 9, 10)

5月3日訪問 (馬水、保健福祉センターの北東側)

ぬれて汚れるのを防ぐため、避難所となっている教室棟を昨日から、廊下も土足禁止に変更した。。トイレ清掃中、まだ水が出ないが回復したらすぐ使えるように。この日はボランティアが多く、清掃している。普段は避難者が教室を、教職員や派遣応援隊が廊下などを清掃する。



写真 5 総合体育館通路の避難者とペット



写真 6 総合体育館と駐車場 (2016.6. 11)

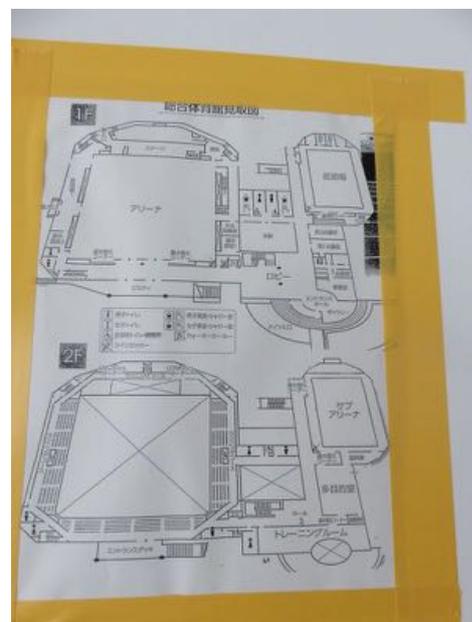


写真 7 総合体育館の 1 階・2 階平

教頭先生に、地震後の避難所開設、避難所運営のとりくみ経緯をヒアリング 児童数 712 名は全員無事、負傷は数名。教職員では 1 名骨折あり。

2、3 日前、避難人数は 231 名。一番多い時で 700~800 名避難していた。

前震時（14 日 21:25）は、次の日が授業参観で、教員が 10 名ほど、準備のために残っていた。すぐに学校を避難所として開設、校庭に避難、高齢者には体育館の椅子を出してすわってもらった。一昼夜大勢で避難していて、本震、16 日午前 1 時 25 分、また強い地震があり、体育館の壁が落ち、グラウンドに避難した。明け方寒く、明かりも無い状態であった。寒くて、体育館の暗幕を外して切って、衣類の代わりに体にまく、体操用のマットを出して、高齢の方には横になってもらった。校舎は被害なく、体育館は床が波打ち（擁壁盛土に被害）。校舎の 1 階から 3 階まで、避難者に開放したが、余震も多く、建物内に入りたくない人も多かった。教室から運動場（グラウンド）に避難誘導、役場職員も避難所運営にあたる。

救護所には AMDA（岡山の医療支援 NGO）が来て常駐し、リーダーのひとりがたまたま、広安小学校の卒業生であった。SAVE the Save the Childre、EARTH（神戸から、学校支援、学校再開への準備ステップやマニュアル提供する、支援）から先生方が避難所運営に忙殺されると、学校再開への準備が遅れるとアドバイスがあり参考になった。

避難所のリーダー会を日に 2 回、午前 8 時 30 分と午後 3 時 30 分に開いている。学校職員、役場職員、救護班、Save the Children、住民代表の区長さん 2 名（惣領、馬水の各区）、応援に来ている福岡県職員 10 名（1 週間後より）、ピースボートも参加する。

救護所として、AMDA が常駐支援。AMDA から派遣の Y 医師（東京の開業内科医）にヒアリング。5 月 1 日から 1 週間滞在予定。避難者の健康状態は、床に毛布を敷いて寝ている状態、安眠できない、床が固い、筋肉や腰・膝が痛くなる。ちりや埃でアレルギーや咳、ぜんそく症状の問題がある。段ボールベットは良いが、数が足りないの、高齢者や障がい者のみに提供。食事は当初は食べ物があるだけ、届くだけで有りがたかったが、質・バランスを考えていないので、持病が悪化する。トイレが使いにくい、遠い、暗い、ぬれるなどの状況で、水分を控えてしまい、健康状態に影響する。救護所の対応：薬がなくなった、治療が途切れている、片付けでケガが発生、子どもが風邪や遊具でケガなどあり。鍼灸の先生のマッサージはとても喜ばれる。ノロウィルスなどに感染していないが、大変な清掃と消毒の努力で衛生面を保っている。水がなくて手洗いができなくなる、簡易トイレの改善などが求められる。



写真 8 広安小学校校舎案内図



写真 9 広安小学校グラウンドと避難所用自転車（2016.5.3）



写真 10 広安小学校体育館、避難所に使用する前（2016.5.3）



写真 11 広安小学校体育館、紙管フレームと布カーテン

○広安小学校 6月12日再訪 (写真 11、12、13)

教頭先生のお話し (6/10 電話にて) : 5/9 頃学校再開して、避難所の運営は教職員から、地元の自治組織や役場、熊本県や他県からの応援職員の管理に移行した。基本的に体育館に避難している。教室も一部は支援を要する方、小さい子のいる世帯が避難中。車中泊は限定的、停めるところも範囲を限っているのでグラウンドの駐車はかなり減っている。子どもたちの屋外避難場所であり、体育のためグラウンドの安全が重要である。図 6 に体育館避難所の平面図を示す。

・惣領の区長、T さん夫婦 (惣領は 4 つの区にわかれている、その一つの区が 390 世帯である。民生委員も兼ねる、ひとつの区に二人の民生委員で担当。家の建て替え工事中、大手メーカーの住宅、地盤調査を 3 回行って対策していた。学校の近く、台地の方で比較的地盤が固いのではとの意見もある。建設中の住宅は被害無し。仮住まいしている借家が被災、半壊。前震のあと、健康福祉センターに避難、翌日片づけて、東区の娘の家に泊まっていたら、本震がきた。健康福祉センターに避難したが、児童館に対策本部をつくるため、広安小学校に移動した。教室に分散していた時は連絡・情報共有が大変だったが、体育館に移り、一斉放送、掲示など、通知しやすい。区の住民は健康福祉センターにも避難していて、また自宅に残っている方の中に高齢者もいて、見回り声掛け、必要な物資を支援している。町では仮設住宅 1000 戸くらい町では建設中。

・一人暮らし高齢女性、安永の住人。県道沿い、最初に学校へ避難した。子どもは独立している。お風呂やシャワーが無いので、介護施設の広安荘で入ったり、バス旅行保養の時に入ったりしている。一度は八代に行き、船で一泊、入浴もできた。天草にも一度バス旅行した。健康福祉センターにコイン式仮設シャワーがあるが、落ち着かない。近いといっても、敷地外なので行くのは面倒で、混みあっていると出直す。

無料の銭湯は 6 月 1 杯で終わる。移動式浴槽 (車に積んで)、ニチイ学館が浴槽・ポンプ式で給湯・介護用のお風呂を提供している。

(4) 益城町中央小学校 (写真 14、15)

避難所リーダー S.Y. さん : 地域づくりのボランティア団体立ち上げや運営を 20 年余り担ってきた。いくつも立ち上げて育て、後進の仲間へ渡してきた経験から、避難所に入ったとき、目指すべき避難所のコミュニティの有り方ビジョンを持っていた。



写真 12 シニアカーや買い物カートを利用する高齢者も避難

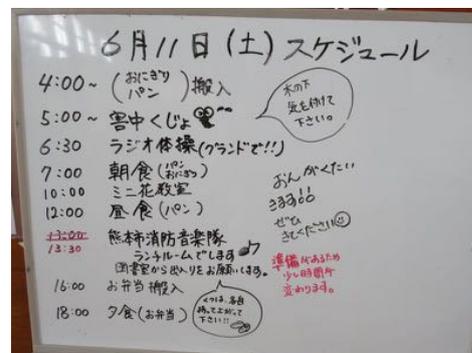


写真 13 広安小学校避難所の掲示板

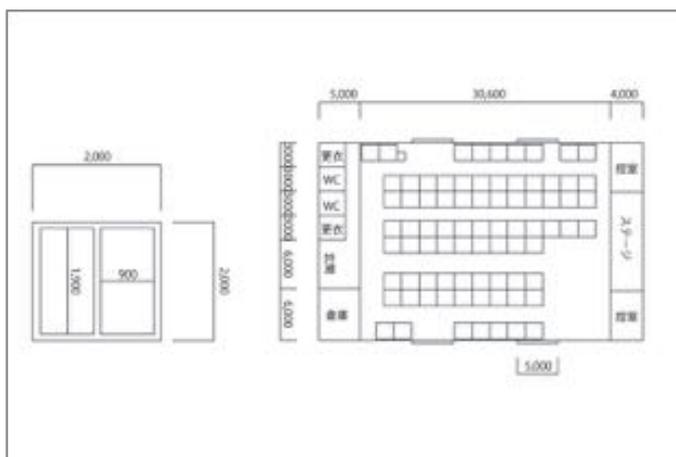


図 6 広安小学校の体育館配置図と段ボールベッドの寸法

最初の14日の前震では、外の空き地に避難して、近所の人と集まり、一夜明かし、明るくなるのを待った。15日朝になって家に帰り、かたづけをしたが、余震が続く。空き地で皆で炊き出ししようと近所の人と相談していたが、雨予報で家に戻る。16日未明に本震が発生し、家が傾き、最寄の益城中央小学校に避難したが、益城町の指定避難所でなかったため、当初、食べ物や水も届かず、総合体育館に行き、中央小学校に100人以上いるので、お弁当を要望した。飯野小学校に自衛隊が来ていて炊き出ししており、午後2時頃やっとおにぎりを届けてくれた。中央小は木山川、秋津川に近いので、浸水危険があり、指定避難所になっていなかった。

4月16日午後2時に避難所に入り、120人が避難していた。各々、避難者が自分の毛布で場所取り、あちこちばらばらの状態であった。秩序なく体育館に隙間なく雑魚寝する姿にショックを受けた。地震から2日～3日目に避難通路を確保するため、体育館の3つの非常口への通路をつくった。ルール(ソフトな)呼びかけは3点。1) 出かける時は布団をたたむ。2) 自分の布団のところは自分で掃除(コロコロ掃除具を貸出)。3) 自分の周りを掃除しながら、コミュニケーションを交わして皆で掃除につなげる。

最大で400名避難⇒その後、体育館と1教室(小さい子どものいる世帯)利用。コミュニティ、集えるコーナーをつくる(写真16)。キッズコーナー、子どもの居場所、食堂コーナー(段ボールベットを椅子に、テーブルも段ボール)にテーブル4～6人用が6つ=24～36席である。写真16役割分担は固いものではない、それぞれの事情があるので、負担に感じないように、自発的にできることを行い、支え合う。食事の搬入、配食分担も自主的に、当番を自発的に、お花の好きな方が自主的に花を活け、サポートする仲間づくり。益城中央小学校の避難所運営については読売新聞他の報道がある^{8),9)}。

5月15日に段ボールベット、段ボール紙管の柱・梁、カーテン布等のパーティション材料が届き、組み立てた(図7)。6月12日現在、111名の避難者(内、車椅子の方2名、視覚障害の方2名いるが家族がいて介護できる)。

お弁当だけでは野菜不足、飽きてくるので体育館の外に調理場(流しとガスコンロ、調理台など)を準備して、何かおかずを自炊できるよう努力しているが、プロパンコンロのカセット型しか使えず不便。一般ボランティア(清掃など)は不要なのでお断りする。マッサージ、体操指導、散髪屋さんなどのボランティアは受入、歓迎している。

当初ペットを連れて避難した方がいたが、家に戻った。今は外に犬が一匹いて、子どもたちが散歩させている。内閣府の防災アドバイザーがやってきて、マニュアルのま



写真14 益城中央小学校



写真15 益城中央小学校にて、紙管フレーム、段ボールベットを利用し、昼間はカーテンを開ける



写真16 避難所のコミュニティスペース

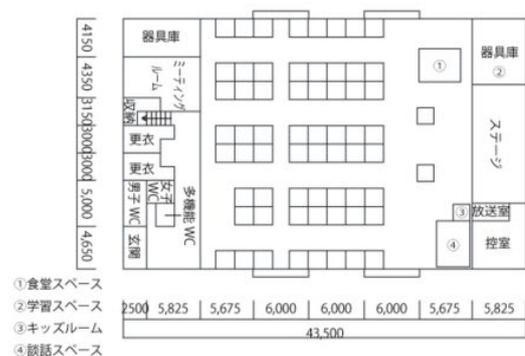


図7 益城中央小学校の体育館配置図

まの、組織化・役割分担・全体会議などを指導しようとしたが、この避難所にはそういう型にはまったマニュアルの押し付けは不要と断った。通路幅は車椅子が回転できるように 1.5 m を確保する。子どもたちが最初、トイレを使えず、プールの水を運んだ。外に仮設トイレ設置。

この避難所は、7月末または8月には閉鎖予定である。先日の仮設住宅抽選で、15世帯が当たった。内、12世帯は同じ仮設の地区になるよう、役場に要望を申し入れている。せっかく避難所で話ができるコミュニティ・つながりができたので、仮設でもそのつながりを生かしていくことが大切であると思われる。孤立、孤独を防ぐこと。7月中旬に第2回の抽選がある。それに外れたら、総合体育館の避難所に移動することになるだろう。

総合体育館は YMCA が運営しており、中央小学校を視察に来た。避難所でルールやコミュニティを作るには、2週間以内に取り組む必要がある。1か月では遅すぎる。2週間で思いを話せる、出せる関係をつくろう。被害が大きかろうが小さかろうが同じ被災者、思いやりが大切。避難している仲間自らで立ち上げることが大切で、外から来た人がマニュアル的にやろうとしても困難。人数が多い時も喧嘩もなかった。学校の先生方、当初は休校だったので、炊き出しを担ってくれた。時々全体会議を持つが、役場の職員に対しては、被災者はとても不満が多くなる。それをぶつけてしまい、職員はストレスが多い。職員は避難所運営を担うより、災害後は他に仕事が多い。職員は当初2名、その後3名派遣されていて、良好な関係を築いている。応援職員（福岡県等）の支援もある。

電動車いすの女性、50代くらい。

孫がいるそう。「段ボールベットは良いが改良が必要。段ボールの中に収納できるというが、内箱を出すのは握力の無い自分には無理。畳一枚分に6つの段ボールを置くが、中間の箱を引き出すのがやっと、他は上にマットなど載せているので、物の出し入れは難しい。紙管の柱も隣との隙間に不具合、2ユニットをつなげて使うとき、隙間に物が落ちたりおさまりが悪い。梁に物をかけたり下げたりして、柱や梁がゆがんでくる」。

(5) 益城町広安西小学校 (写真 17、18、19)

体育館と視聴覚室が避難所に。玄関から体育館へ、廊下を白線で仕切り、土足通行可の部分と、上履き限定の部分に分けている。体育館内は、土足不可。段ボールで靴箱をつくったり、ビニール袋に入れて靴を避難区画に持って入る。坂茂方式の紙管フレーム、段ボールベット、布のカーテンでの間仕切り、一人1畳の割り当て、4人なら2間(畳4枚分)、一人なら段ボールで半分に区切る。体育館非常口(扉)には防虫ネットを使用。避難者居住エリアのところどころ、避難者が減って余裕が出ているので、談話スペースもあり。ステージ部分は物品や食料保管スペース、管理者エリアとなっていて、避難者が勝手に入ってはいけない。必要なものがあれば、申し出る。



写真 17 広安西小学校外観



写真 18 広安西小学校のプランが複雑なので手描き案内図



写真 19 広安西小学校避難所

・5人家族の夫婦からヒアリング：夫婦と小4娘、小2娘、2歳男子

借家が半壊になり、大家さんから契約解除と言われてそれに応じて、アパートを出て住むところが無い。家は広崎、県道沿い、自営業の衣料関係の店も倒壊、店の再開もきびしい。仮設を申し込むが、町から、大規模半壊以上が対象と言われ、抽選の段階ではねられ、困っている。熊本市では、半壊でも仮設に入れるとのこと、国の通達が来ているというが、益城町では熊本県から通知が未だ無く、半壊は対象外といわれる。当初グランメッセに車中避難。子どもが小さいのと、家の中に入れない、建物内が怖かったので。コンパクトカーと軽乗用車の2台もっているが、妹家族の家が倒壊して車がダメになったので、1台車を貸し、残りの1台で5人の避難生活はきつかった。妻の両親も先に広安西小に避難生活していて、2歳男の子を夜は預けていた。両親への負担も大きく疲れ、自分も子供と離れているのがつらく、学校体育館に避難。子どもには友達の存在が心の支え。熊本は温泉が多いので、車で行ける。避難所に仮設シャワーを3台設置、来週から使えるそう。

・70代の夫婦：校区近く、家はもう住めない。子供の家に同居する予定。段ボールベットはまずまず。ご主人は話をしてくれたが、奥さんは避難がつからそう。

視聴覚室は要配慮者の避難用となっていて、ベット、車椅子に対応。車椅子用のトイレは、廊下出て最寄にあり。ここに入っている要支援の避難者は先日まで23名から20名、現在18名である。

2) 西原村の避難所

(1) 西原村役場・災害対策本部 5月1-3日

避難先：学校では体育館に避難。避難人数、広報を参照すべての避難所で、被災者自ら、自分たちで調理している。炊き出しもあり、学校給食施設を活用している。車を校庭に持ち込んでもルールをきちんと守る。地元のコミュニティで消防団が救助したり、安否確認を行った。発災対応型防災訓練を実施してきた。人口7000人の村で、2000人は参加する規模。何かあったら、区長さん、婦人会、消防団など連携。「自主防災組織」というような形でないので(国や県は形を作れと要請してくる)、コミュニティの組織が協力して対処する。

(2) 西原村立山西小学校 (写真20、21、22)

体育館が避難所に。武雄市など佐賀県の支援チームが受付等担当。車椅子を介助している、更衣室を被災した住宅のふすまで作成、段ボールベットもみられる。児童の励ましの絵など飾ってある。



写真20 山西小学校体育館



写真21 山西小学校校舎案内図



写真22 山西小学校体育館の避難所

○ 山西小学校 6月11日-13日再訪 (写真23~26) 避難者169人(内、子どもが34人) 段ボールや障子のような間仕切り、高さ90-100cmくらいで世帯ごとに、あるいは、地区ごとにしきり。体育館2階のバルコニーに洗濯もの干場。佐賀県(県と市町)からの支援職員

役場職員、総括責任者、T氏へのヒアリング。当初、ピーク時は4月17日に621人、6月9日に169人(西原村防災会議、資料より)。この避難所にて、前震・本震時の避難行動と人的被害についてアンケート調査を実施した⁹⁾。

教室と体育館両方使って満杯。5月9日頃の小学校授業再開のため、教室を空けて、体育館に集約する必要が生じ、再配置が難しかった。近くの障害者養護施設からも20人くらい避難していて、施設の状態を訊くと、建物に大きな被害はなく、室内の片づけができずに避難しているとのことだったので、窮状を話して、施設に戻るよう対応してもらった。

体育館の配置避難計画、避難路をしっかりと設ける、縦の幹線、横に避難口につなぐ。世帯ごとの区切りだけでなく、大きく集落や地区での区画割り当てを管理サイドから提案し、中の調整は地区住民で相談してもらった(図8)。役場側でこまかな面積や区割りを調整するのは困難であり、自主的な相談にまかせており、その方が話し合いが進む。

一般用エアコンを10台、避難所に設置している。室外機は体育館外に設置されている。避難所内に設置された空気清浄器の上に置いた温度計で室温をみながら、エアコンを運転している。室温の高くなる午後3時頃エアコンを入れている。大型エアコン(機械を5台くらい、全部屋外に設置、送風ダクト(直径30cmくらい)を体育館高窓から入れて冷風を送るタイプ)を、当初、山西小学校に設置する計画だったが、体育館北側に電線があり、エアコン機械が設置できなかったため、河原小学校に設置した。

(3) 河原小学校 (写真27、28)

棚田の広がる田園風景の小学校

6月9日現在の避難人数：113人(ピーク時、4月17日は724人) 避難スペースの仕切りは、プラスチックのパネルや段ボールなど利用している。組み立て式の棚も提供されている。

読売新聞(20160603付)記事¹⁰⁾によれば、この地区では地震前から地域住民の職能や経験を登録し名簿を作成し、災害時に自立的に動ける体制作りをしていたことが生かされ、外部の支援を待つ前に、避難者の協力で水をひいたり、給食調理室で自炊するなどの助け合いが目撃された。一方で避難生活が長引く中、住宅と農地両方への激甚な被害を被った避難者にはストレスも大きい様子が伺われた。



写真23 山西小学校体育館の避難所



写真24 山西小学校避難所、スペースは人数に応じて仕切り

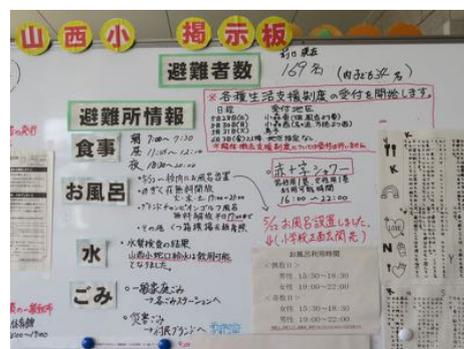


写真25 山西小学校体育館の避難所



写真26 山西小学校体育館のバリアフリートイレ

4.3 熊本市の避難所

(1) 熊本市東区東町小学校 (写真 29～31)

4月25日、校長先生にヒアリング

- ・全校児童は515人、全員の安否、ケガなしOK
- ・14日は教頭が開錠、体育館を開放。マニュアルに沿って、自治協議会の会長さんと教頭で当初指揮。相当の人数が来て名簿を作れず。H26年度に熊本市は学校の耐震補強を終了していた。

- ・16日未明の地震、体育館のブレース被害、北側のガラス破損、ステージ上部天井被害、市教委の施設課指示で、使用禁止。16日は運動場へ移動。14時に教室開放。21教室（ほぼ全部の教室開放、教室は普通が16教室、特別指導が5学級）。当初学校内に避難者が500名以上。車がグラウンドに100台以上。炊き出しが1400-1500人分はけた。

- ・体育館で自治会長さんが名簿をもとにグループリーダーを決めてもらい、教室への移動班を決めた。足の不自由な方を1階に。教室に20-30人くらい入ってもらった。名簿を各教室で作成、物資の配給に活用。

- ・5月10日に授業再開予定。人数、校舎内に150名くらい。南校舎（1F、2F）に移動してもらう。



図8 山西小学校の体育館配置図



写真27 河原小学校体育館

(2) 熊本市東区詫麻西小学校 (写真 32、33)

5月2日校長先生にヒアリング。児童数825名、職員51名（被災者もいる、家の損壊や家財が壊れたなど）。児童は全員無事で、県外に避難している子どもも多い。校区には白川沿いの市営住宅などもあり。4月14日夜の地震、住民避難が350名ほど、体育館に避難した。16日未明の本震、体育館後ろ側壁が落下、体育館から運動場に避難、校長・教頭が来て対応、当初は700-800名くらい避難した。食事に並ぶ、給水車に並ぶ住民など、大変な混雑状況だった。救援物資もだんだん届いてきた。体育館の後ろ半分は使用せず、前半分を救援物資の倉庫としている。

- ・91歳女性（Iさん）と61歳女性（Tさん）にヒアリング。新しい3階建南校舎の避難している教室にて。Iさん、自宅（戸建て）が被災。Tさん、コーポのような賃貸マンション、3階に住んでいて被災、ベランダが落ちかかるなど、危険な状態。家主が退去をきめて、行くところがない。市営住宅空き家の抽選に申し込んだが、厳しい。市の水道は戻ったがマンションでは屋上タンクや配管の被害があり水が出ない。かたづけに通っているが、疲れる。教室の避難生活は皆が助け合い、ありがたい。

(3) 東区シュロアモール長嶺駐車場と隣接のマンション



写真28 河原小学校周辺の農村地域



写真29 東町小学校校舎案内図

(写真 34～36)

N氏(男性72歳)、管理組合の改装工事担当(1号館は改修工事中に地震が起こった)、元・建設会社で建築職、国際部で海外にも勤務経験あり。マンションS.A.1号館の11階に住まい。

2号館のシニア男性、山口県出身。便利な生活、熊本でのマンション、目の前にスーパーとモールでの買い物や病院、交通に慣れるとUターンは難しい。地震対応、水は各フロアの共同水道蛇口が使える。住戸の方は各区分所有者の責任。2号館玄関ロビーにソファ、談話コーナー、救援物資、マンション防災コミュニティの旗が掲げている。S.A.2号館の北側中庭から玄関並びの壁をみると、壁にX字の亀裂が目立つ、1-3階に亀裂が多い、上の階は目立たない。2005年福岡県西方沖地震の際、警固断層の北東側に見られたマンション被害(ドアが開かない・閉まらない困難もあり)事例に似ている。シュロアモール駐車場にマンション居住者の車を置いて避難していた様子。マンションの居住者以外の被災者の車も多かった様子。シュロアモールは店内被害が大きく、しばらく営業できなかったため、駐車場を顧客でもある住民に提供したらしい。市の指定避難所ではなかったため、しばらく食料や物資が届かなかったが、後日改善された由。避難人数参照。



写真30 東町小学校避難所のお湯コーナー



写真31 教室避難の様子

(4) 熊本市東区若葉小学校 (写真 37)

東区役所から職員(生活保護課)

6/10(金)71名、6/11(土)53名、6/12(日)66名

ピーク時は211名避難。教室を使い、車中泊の方もグラウンドにいた。みなし仮設に移った方もいる、体の不自由な(車椅子)の方も以前はいたが、今は施設に移った。当初は自治会長さん達(校区に10自治会)が避難所運営に参加、掃除は皆で、トイレ掃除は当番で実施している。体育館の避難者仕切りは段ボール(高さ1mほど)で四角に区切ったり、丸くしきりにしたり、いろいろな形(図9)がある。避難人数も減って、空間的な余裕があるためと思われる。ゆったりしているが、通路は真っ直



写真32 詫麻西小学校体育館の外壁被害



写真33 詫麻西小学校教室棟廊下にも避難者



写真34 ショッピングセンター・シュロアモール駐車場に避難



写真35 S.A. マンション玄関に管理組合の災害対応センター

ぐになっていない。段ボールベットは全員ではないが、利用されている。

体育館妻壁の方の正面玄関と、第二の出入り口を活用しているが、サイドからの非常口4か所ほどは締め切りで使っていない。避難路としても利用しないと思われる。益城町や西原村に比べて随分天井の高い体育館で立面をみても2階建て分ある。舞台のそばには、集まるスペースあり、ボランティアが来てゲームなど10名くらい楽しんでいた。ステージ隣の器具庫に女子更衣室の看板、防犯のため、使用していない時はドアを開けるルール(写真38)で運用されている。

夕食は前々日の午後2時まで希望表にチェックを入れる規則で避難者(世帯)に番号をつけ、表は氏名でなく番号で表記されている。食事受け取りにはIDの番号や名札を付けて確認する。夕食の時に翌朝のパンと野菜ジュースを配給。ボランティアのめぐみJapanなどが炊き出し、メンタルケア、小さい子と遊ぶ、お茶会などを実施している。お風呂やシャワーは無いので、日中自宅に戻り入る方、市内の温泉つるの湯への送迎支援、山鹿温泉入浴ツアーなどあり。物資発注は市の方で、佐川急便で届く。看護師さん協力。

70代女性：住まいは秋津町秋田、秋津川が木山川に合流する地点、県道226号線がライフラインで、大雨の時の洪水が心配。この地震で上流の土砂災害、堤防に亀裂等弱くなっているのが心配。道路の亀裂、孤立が心配。大雨予報なら早めに避難したい。南側は矢形川の橋を渡り、秋津レクタウン。二人家族、地震の前に夫が入院して手術を受けたところだった。前震で東京から息子が帰省し、本震にあった。築40年の家は修理で住めそう。息子とスーパー駐車場に車中泊していた。1か月ほどして息子たちが東京に帰り、自分は若葉小に避難。

92歳女性：耳が遠い、段ボールベット使用、ベットはとも使いやすい。歩くのに杖を使う。自宅まで自転車で10分少々、自転車は女学校時代からずっと乗っていて、今でも愛用している。電動アシストではないが便利で楽。今日も自転車で帰宅、かたづけ、近所の方からおかずや豆、インゲンなどの差し入れをもらった、新聞を持ち帰り避難所で読む。お風呂は週3回、デイサービスに行くときに入浴。

・車椅子女性、50代くらい。一人暮らし、借家戸建て、大家さんが修理中、十分ではないが、節約しながら修理。14日屋根瓦の被害、シートをかけた。16日、震度7がきて、小学校に逃げた。友達と同じ避難所にして、日常の手助けしてもらっている。避難所で、お風呂が無いので、家に戻るときにウェットティッシュなどで体をふく。修理が済めば帰宅する予定、食事はヘルパーさんが作ってくれる。



写真36 S.A. マンションの玄関横の外壁にキレット



写真37 若葉小学校体育館



写真38 若葉小学校避難所の女子更衣室

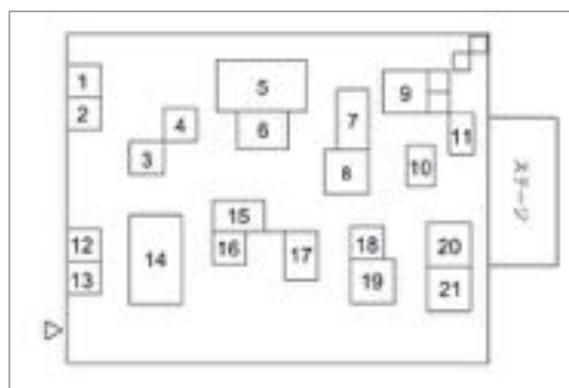


図9 若葉小学校の体育館配置図

5. まとめ

2016年熊本地震の避難所実態について、避難人数の推移と地理的分布を熊本市、益城町、西原村について明らかにした。避難所の数、人数、避難日数の長期化により避難生活の苦勞が伺われる。また1市2町の避難所11か所について、4月、5月、6月のヒアリング調査結果をまとめた。学校、総合体育館、マンションでの避難所運営者及び被災者へのヒアリングから、避難生活でも避難経路の確保、避難者が自発的に動き、互いに助け合うコミュニティづくりの大切さが明らかになった。本震では体育館が被災して教室への避難を誘導した学校が多く、過密状態での名簿づくり、断水が続くなかでの衛生と食事提供、健康維持、弱者への配慮、車避難者への対応など苦勞が多かったことがわかる。

謝辞：熊本地震の避難所他でのヒアリング調査に協力頂いた被災者や学校教職員の皆様、災害対応に多忙を極める中、情報提供に協力頂いた自治体職員の皆様に感謝いたします。2016年4月の現地調査に際して応用地質(株)調査チームの阿部恒平氏他、同社員の皆様に支援頂きました。本調査は文部科学省の科研費補助金「2016年熊本地震と関連する活動に関する総合調査」(特別研究促進費)の成果であることを付記します。

参考文献

1. 熊本県災害対策本部 第173報 2016年9月6日報告
http://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c_id=3&id=15459&sub_id=175&flid=80040
2. 熊本地方気象台 震度データベース <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>
3. サーベイリサーチセンター熊本地震被災地における避難状況およびニーズ調査, 13pp, 2016年5月17日報告、
http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/kumamoto_press2.pdf
4. 日本財団災害復興支援センター益城町内の避難所および避難世帯の状況調査分析結果 29pp 2016年5月16日報告、<http://www.nippon-foundation.or.jp/news/pr/2016/img/59/1.pdf>
5. 稲月正：熊本地震における車中避難の実態とその後の支援について、第12回福岡県防災講演会、2016.9.2、
<http://www.bousai.pref.fukuoka.jp/spc/images/2016bousaikouen/4inatsuki.pdf>
6. 谷謙二研究室(埼玉大学)：Geocoding and mapping, <http://ktgis.net/gcode/> <http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=201600000003-wordleafv-soci&p=1>
7. 平成28年熊本地震 いまできること 「「自分の家」という気持ちで、快適で楽しい避難所づくりの原動力に」、2016.09.13、http://imadekirukoto.jp/report/hinanjyo_community/
8. 「避難所の役割みんなが主役 益城 避難通路や集いの場、自ら設置」、読売新聞、2016.6.3朝刊
9. 村上ひとみ・野崎紘平・金炫兌(2016) 2016年熊本地震における住民避難と人的被害の実態調査：震度7を記録した西原村の事例、地域安全学会梗概集, No.39, pp33-36.
10. 読売新聞 20160603 付記事 熊本県河原小学校避難所、「うちは『待つだけの避難所』ではなかった」

地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会

委員等名簿 (任期 : 平成 27~29 年度)

【委員】

磯打千雅子	(国) 香川大学四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構	特命准教授
大西 一嘉	(国) 神戸大学大学院 工学研究科建築学専攻	准教授
岡田 成幸	(国) 北海道大学大学院 工学研究院 建築都市空間デザイン部門	教授
清野 純史	(国) 京都大学大学院 地球環境学堂	教授
久世 益充	(国) 岐阜大学 流域圏科学研究センター	准教授
崔 明姫	(学) 立命館 立命館大学 衣笠総合研究機構	専門研究員
志垣 智子	(福) 敬友会 高齢者住宅研究所	研究員
鈴木 光	減災アトリエ	主宰
豊田 祐輔	(学) 立命館 立命館大学 政策科学部	准教授
中嶋 唯貴	(国) 北海道大学大学院 工学研究院	助教
野口 竜也	(国) 鳥取大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻	助教
能島 暢呂	(国) 岐阜大学 工学部	教授
延原 理恵	(国) 京都教育大学 教育学部	准教授
古川 愛子	(国) 京都大学大学院 地球環境学堂	准教授
松岡 昌志	(国) 東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系	准教授
村上ひとみ	(国) 山口大学大学院 創成科学研究科	准教授
柳澤 孝一	(国研) 日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター地層科学研究部	特別嘱託
和藤 幸弘	(学) 金沢医科大学医学部 救急医学	主任教授
大保 直人	(公財) 地震予知総合研究振興会 地震防災研究部	副首席主任研究員
太田 裕	(公財) 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所	客員研究員

※ (国) 国立大学法人 (独) 独立行政法人 (学) 学校法人 (国研) 国立研究開発法人 (福) 福祉財団法人 (公財) 公益財団法人

敬称略 50 音順

第 1 回と第 2 回の地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会

今年度の地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会を 2 回、平成 28 年 7 月 30-31 日と同年 12 月 3-4 日に東濃地震科学研究所 1F セミナー・ルームにて開催した。出席した委員とオブザーバー、事務局員および話題提供者は 1 回が 20 名、10 名、3 名、2 回が 13 名、3 名、3 名だった。

これらの研究発表を平成 27 年度分を東濃地震科学研究所 Seq.No.39 として出版した。

今年度の研究委員会は 本研究所副首席主任研究員の谷口仁士が担当され、第 1.回委員会を企画、開催された。ところが、委員会直後に氏が急逝されてしまった。そのため、その後の委員会開催と報告集作成は 本研究所の木股文昭が担当した。

1) 平成 28 年度第 1 回地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会

日 時：平成 28 年 7 月 30 日 (土)～31 日 (日)

場 所：瑞浪地科学研究所 1F セミナールーム

出席者：磯打千雅子・大西一嘉・鈴木 光・能島暢呂・延原理恵・村上ひとみ・岡田成幸・清野純史
野口竜也・古川愛子・和藤幸弘・中嶋唯貴・松岡昌志・豊田祐輔・崔 明姫・久世益充
志垣智子・柳澤孝一・大保直人・太田 裕 (20 名)

オブザーバー：川崎一朗・北浦 勝・小山真紀・松多信尚・吉田昌平・四井早紀・土肥裕史・岡田尚子
村坂憲史・吉田昌平 (10 名)

事務局：本多 亮・村上 理・木股文昭・谷口仁士 (4 名)

研究活動の紹介と議論

1. 吉田昌平 国内の内陸地殻内地震を対象とした地表及び潜在断層地震の地震動特性の違い
2. 四井早紀 地震・津波による人間被害グローバルモデルの構築
3. 土肥裕史 津波災害時の「避難開始」に注目したシミュレータの開発
4. 岡田尚子 神戸市の防災福祉コミュニティの活動
5. 北浦 勝 現地紙と遠地紙と全国紙による熊本地震の報道の差 (仮題)
6. 大保直人 津波避難システムの紹介
7. 松岡昌志 人工衛星画像から観た熊本地震
8. 磯打千雅子 熊本地震をふまえた BCP・DCP と地区防災計画
9. 岡田成幸 個人世帯の地震被害の数的評価法：身体的被害・資産的被害・精神的被害の評価尺度構成法
10. 村上ひとみ 2016 年熊本地震における避難と人的被害について
11. 志垣智子 熊本地震による被災者の高齢者住宅への入居実態
12. 中嶋唯貴 熊本地震における前震が本震時の人的被害発生に与えた影響評価—現地調査結果を用いた逆解析—
13. 村坂憲史 熊本地震における医療救援
14. 野口竜也 1943 年鳥取地震で発生した鹿野断層における地盤構造調査
15. 鈴木 光 避難所の活動報告 (広安西小及び中央体育館の場合)
16. 大西一嘉 東日本大震災における石巻市での民生委員の要援護者避難支援行動
17. 古川愛子 組積造に関する研究
18. 太田 裕 2011 東日本大震災時に伴う死亡率を年齢特性でみる
19. 谷口仁士 熊本地震による被害尺度としての経済損失額推定

初日午後 3-5 時は東濃地震科学研究所が瑞浪市総合文化センターで開催した「地震防災フォーラム『熊本地震の声を聞こう：活断層帯で起こった熊本地震』」に参加した。

2) 平成 28 年度第 2 回地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会

日 時：平成 28 年 12 月 3 日 (土)～4 日 (日)

場 所：瑞浪地科学研究所 1F セミナールーム

出席者：岡田成幸・清野純史・古川愛子・久世益充・能島暢呂・和藤幸弘・松岡昌志・村上ひとみ
崔 明姫・志垣智子・柳澤孝一・大保直人・太田 裕 (13 名)

オブザーバー：川崎一郎・小山真紀・土肥裕史 (3 名)

事務局：本多 亮・村上 理・木股文昭 (3 名)

議事と研究紹介：12 月 3 日 (土) 13:30～17:10、12 月 4 日 (火) 9:30～13:00

研究活動の紹介

1. 村上委員 2016 年熊本地震における人的被害と西原村での避難行動
2. 崔 委員 熊本地震による観光業の経済的被害について
3. 能島委員 熊本地震におけるライフライン被害・復旧と教訓)
4. 土肥裕史 避難者発生シミュレーションの有用性と課題：南三陸町志津川地区の津波避難事例分析と解析結果の比較
5. 小山委員 東日本大震災における長期避難者の生活実態に関する調査－京都府の場合－
6. 志垣委員 地震災害後中・長期における高齢者住宅の課題と利点：熊本地震の被災実態より
7. 古川愛子 組積造に関する研究
8. 岡田委員 震災後復旧費用個人負担の地域間格差
9. 松岡委員 兵庫県南部地震の現地写真および空撮写真を用いた深層学習による建物被災度判別
10. 清野委員 2016 年 2 月 6 日台湾美濃地震における 台南市の地盤震動について
11. 久世委員 岐阜県域における地盤データ整備と地震動予測
12. 川崎委員 富山平野が抱える深刻な地震災害リスク
13. 太田委員 2016 年第 1 回地震防災研究委員会の「話題提供」をキー情報とする地震防災学の現況理解

東濃地震科学研究所報告 第39号 (平成28年度)
地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会報告書

公益財団法人 日本地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

Report of Bases Research Committee on Local Earthquake Disaster
Mitigation

Proceedings of the Tono Research Institute of Earthquake Science,
Seq. No.39, March, 2017

Association for the Development of Earthquake Prediction, Tokyo, Japan

発行 2017年3月 March, 2017
(公財)地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所
所長 石井 紘
〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-63
Tel +81-572-67-3105 Fax +81-572-67-3108
<http://www.tries.jp/>

Association for the Development of Earthquake Prediction(ADEP)

Tono Research Institute of Earthquake Science(TRIES)

Director General Ph.D. Hiroshi ISHII

509-6132 Yamanouchi 1-63, Akeyo, Mizunami JAPAN

印刷製本 株式会社 サン・ライン 瑞浪市土岐町 1022-3