平成 30 年 7 月豪雨災害調査報告

奥野 哲夫 吉河 秀郎 栗本 悠平 長谷部 雅伸 生富 直孝 鳴海 智博 南部 世紀夫

(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

1.はじめに

平成 30 年 6 月 28 日以降の台風 7 号や梅雨前線の影響によって、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な 大雨となり、全国各地で甚大な被害が発生した。気象庁はこの状況を踏まえ、平成 30 年 6 月 28 日~7 月 8 日に 発生した豪雨の名称を「平成 30 年 7 月豪雨」と定めた。

気象庁によると、台風を含めた気象現象(地震・火山現象は除く)のうち、顕著な被害(損壊家屋等 1,000 棟程度 以上または浸水家屋 10,000 棟程度以上の家屋被害、特異な気象現象による被害など)¹⁰ が発生した件数は、平成元年 ~平成 10 年の 10 年間では 1 件 ²⁰、平成 11 年~平成 20 年では 5 件 ²⁰、平成 21 年~平成 30 年(平成 30 年 8 月末 時点まで)では 7 件 ²⁰と、増加傾向を示している。その主要な原因となる集中豪雨の増加は地球温暖化の影響が 懸念されており、今後も増加することが危惧されている。このような背景も踏まえ、技術研究所では、災害対策部 風水害 支援・学術調査の一環として現地災害調査を実施したので、その結果を報告する。さらに、住民の避難に 関する課題や、防災・減災への衛星データの利用の観点から技術課題についても報告する。

2. 平成 30 年 7 月豪雨災害の概要

2.1 気象概要

図-1に平成30年7月豪雨の総降水量を示す。西日本を中心と した広い範囲で大雨となり、四国地方で1,800mm、東海地方でも 1,200mmを超えるところがあった。これは7月の月降水量平年値の およそ2~4倍となる。また、2018年7月上旬(7月1日~7月10日)に ついて、全国のアメダス地点で観測された降水量の総和を1982年 1月上旬から2018年6月下旬までの各旬(それぞれ約2週間の889期 間)の値と比較したところ、今回が最も多い値となった³⁾。すなわち、 過去の豪雨と比較しても前例の無いほど規模が大きいと言える。

また、図-2に示すように、今回の豪雨では西日本を中心とする 広範囲の府県で「大雨警報」や「洪水警報」が発表された⁴。さらに 2013年から運用が開始された「特別警報」についても、最大11府県 で「大雨特別警報」が発表された⁴。以下に豪雨発生のメカニズム などを示す。



図-1 「平成30年7月豪雨」の降水分布 (期間:6月28日から7月8日)³⁾



図-2 7月7日9時20分現在における特別警報、警報、注意報の発表状況(大雨、洪水)4

① 豪雨発生のメカニズム

「平成30年7月豪雨」では、西日本付近に停滞した梅雨前線に向けて極めて多量の水蒸気が流入し続けたことに よって「線状降水帯」が発生、記録的な大雨となった。以下に気象状況の推移を示す。

a) 台風7号の影響による梅雨前線の南下

図-3には、2018年7月4日12:00~7月5日9:00までの地上天気図を示す。対馬海峡上空を北東方向に抜けた 台風7号が日本海北部まで北上していた梅雨前線に接近し、温帯低気圧へと変わる際に梅雨前線を九州北部から 中国地方まで大きく南下させた。

b) 停滞した梅雨前線への水蒸気の供給

図-4には、西日本を流心とする各地で降水量が非常に大きかった、7月5日~7月7日の地上天気図を示す。 少なくともこの期間、梅雨前線は九州から中国、近畿にかけての地方でほとんど位置を変えていないことが わかる。図-5には図-4と同時刻の700hPa高度(上空およそ3,000m)の高層天気図を示すが、台湾から西日本の 領域にかけて点(ドット)のハッチ部分で示される湿度の高い気流が存在していることがわかる。この湿潤な気流 は太平洋高気圧の西側に存在する北東向きの辺縁流に流され、この期間梅雨前線に供給され続けた。また、この 高層天気図からは、梅雨前線が北に存在する上空の気圧の谷と、南に存在する太平洋高気圧に挟まれた格好で 配置されたことで停滞していることも確認できる。

②線状降水帯

中国地方の降雨の様子を詳細に見ると、図-6のように南下した梅雨前線の位置に対応して線状降水帯が形成さ



図-3 7月4日12:00~7月5日9:00までの地上天気図 5)



図-4 7月5日9:00~7月7日9:00までの地上天気図 5)



図-5 7月5日~7月7日の700hPa高度高層天気図(上空およそ3,000mの高度)⁶

れていることがわかる。南からの暖湿な風と西からの風が広島~岡山にかけての上空でぶつかり、強い上昇気流が 発生して、これが線状降水帯を形成・維持している。

後述の現地調査の主な対象地域である広島、呉、東広島の7月3日~8日12時までの降水量の時系列分布を図-7 に示す。いずれも7月6日18時~20時頃と翌7日早朝の2回の降雨ピークが認められ、後述の土砂災害の多くがこの 時期かその後1日程度のうちに発生している。この期間のアメダスの期間降水量分布を図-8に示す。広島、呉、 東広島周辺でこの5.5日の間に約440~500mmの積算降水量を示しており、中国地方の中で比較的大量の降雨を記 録していることがわかる。

2.2 災害概要

災害概要として、平成30年7月豪雨災害として公表されている全国の人的被害・建物浸水・ライフライン被害の 概要、調査地域周辺の土砂災害の概要について以下に示す。

① 人的被害・建物浸水・ライフライン被害の概要

表-1に、今回の豪雨災害による被害の全体概要を示す。日本全国に加え、特に被害が甚大であった広島、岡山、 愛媛の3県についての被害統計をまとめた。

広島県では人的被害が最も多く、これは土石流などの土砂災害が住宅地の付近を含む多くの箇所で発生したため と推察される。岡山県では倉敷市真備町など、洪水による広範囲での浸水被害が発生したため、住戸被害が多くなっ ている。避難者数も、広島県、岡山県で特に多い。





図-8 広島県周辺のアメダス期間降水量 (7月3日~8日12時)⁸⁾



図-7 広島・呉・東広島の降水量 (7月3日~8日12時)⁸⁾

表-1 平成 30 年 7 月豪雨による被害の概要 ^{9),}	10)
--	-----

項目	全国	広島	岡山	愛媛
死者 9	221 人	108人	61 人	27 人
行方不明者9	9人	6人	3人	0人
負傷者 9)	421 人	127 人	161 人	11 人
全半壊・一部損壊住家ッ	19,793 棟	5,815棟	8,505 棟	3,928棟
床上·床下浸水住家 ⁹⁾	29,131 棟	7,935 棟	8,894 棟	2,965 棟
避難者数 10	11,227 人	4,270 人	4,144 人	1,020 人
停電10)	約 5,100 戸	約3,100戸	約900戸	約900戸
断水 10)	268,760 戸	216,254 戸	21,157 戸	29,844 戸
鉄道運休 10)	10 事業者, 32	2 路線 (JR 西日	日本山陽線など)	

電気や水道などのライフライン、道路や鉄道などの交通網といった社会インフラへの被害も広範囲に発生しており、 市民生活や企業活動に大きな影響が発生した。特に鉄道は、新幹線は運行されたものの中国地方の在来線で多くの 運休区間が発生し、芸備線のように鉄橋が流される箇所が発生するなど、復旧が長期化する区間も発生した。道路 も県道、主要地方道、国道、高速道路において通行できない区間が多数発生している。広島市、呉市周辺の7月10日 12時時点の道路状況を図-9に示す。これらの被害の主なものは土石流等の土砂災害であり、そのほかにも河川氾濫 や河川増水に伴う橋梁などの被害が要因となっている。

2 土砂災害の概要

広島大学の調査団が広島市、呉市、東広島市を中心とする周辺地域の土石流・崖崩れの分布を調べている¹²⁾。この結果を図-10に示す。これは国土地理院の空中写真の画像分析に基づいて土石流と崖崩れを判別し、その源頭部を地質図に示したものである。この調査によると合計7,448箇所の膨大な数の土石流と崖崩れが確認されている。

この土石流と崖崩れの発生地点と地質の関係を表-2に示す。花崗岩地域と流紋岩地域で土石流はそれぞれ4,125 箇所と2,001箇所確認されている。図-10の花崗岩と流紋岩の分布面積を概観すると、これらの崩壊の発生数には 地質による大きな違いはないことが窺われる。また崖崩れよりも土石流の多さが際立っている。これらのことから 今回の土砂災害の発生数は、地質要因よりも降雨量が大きな要因であることが推測されるが、発生形態を含め後述 する現地調査で確認する。



高速道路、国道、主要地方道、県道を対象に表示しています。 ※現地調査、ETC2.0、民間ブローブデータを基に作成 図ー9 7月10日12時の主要道路の通行可能状況 ¹¹⁾



図-10 土石流・斜面崩壊地点と地質図 12)

	表	<u>-2</u>	土石流・	•	崖崩れ発生箇所数と地質	12
--	---	-----------	------	---	-------------	----

地質	土石流	崖崩れ	計
花崗岩	4,125	451	4,576
流紋岩	2,001	61	2,062
その他	726	84	810
合計	6,852	596	7,448

3. 広島市、呉市、東広島市の現地調査

3.1 調査目的

降水量・土砂災害の多さなどから、広島、呉、東広島を中心とした周辺被災地の現地調査を行った。調査は、土砂 災害と社会基盤施設の被害の実態を調べる目的のほか、住民の避難に関する課題や、今後の防災・減災への衛星データ の利用検討の目的から実施した。調査期間は、豪雨発生後約10日後の7月18日~19日の2日間である。調査対象地域 は合計12地域を調査したが、本報告では図-11、図-12、表-3に示す代表的な4地域(①~④)を報告する。以下 では、まず土砂災害と社会基盤施設の被害の実態や特徴を報告したのち、次章以降で住民の避難に関する課題や、 防災・減災への衛星データの利用の観点から検討した結果を述べる。

3.2 地形·地質概要

図-12に調査域周辺山地の地質 図を示す¹⁴⁾。調査域とその周辺は、 地形的には全般に急峻な山地が多 く、海岸部に平野が少なく、山間 部には比較的広く盆地が発達して いることが特徴である^{15),16)}。本地 域の主体となる山地は、中国山地 の南側に広がる吉備高原の南西端 にあたり、土石流の源頭域を含む 調査域周辺の山地の標高は300~ 850m程度である。

調査域周辺山地の地質は、多く が後期白亜紀の広島花崗岩類(黒雲 母花崗岩及び角閃石黒雲母花崗岩) からなる14)。安佐北区、安佐南区で は、山腹に部分的にジュラ紀の玖 珂層群及びその相当層の礫質泥岩 及び泥岩が分布する(図-11,12の 調査域南部に位置する野呂山 は、白亜紀後期の高田流紋岩類及 び匹見層群の流紋岩溶結凝灰岩か らなる(図-11.12の④)。野呂山北 側の盆地には、沖積層、後期更新 世~完新世の崖錐・扇状地堆積物 及び段丘堆積層、中期更新世の西 条層(礫、砂、泥、亜炭層及び火山 灰層を含む)が分布する。

表-3 現地調査対象地域 (図-11,12 参照)

地図 番号	地域名
1	安芸郡水尻地区
2	安芸郡坂町
3	安佐北区 (鉄橋崩落)
4	呉市安浦町中畑地区および 東広島市黒瀬







図-12 現地調査対象地域の地質図¹⁴⁾

また、花崗岩は容易に風化して極めて崩壊しやすい真砂となるため、本地域では、昔から豪雨のたびに各所で 斜面崩壊が起こり、土石流が発生し、多くの建物・人命が土砂にのみ込まれてきた^{15),16)}。

3.3 土砂災害と社会基盤施設等の被害調査

代表的な調査地点として安芸郡水尻地区(図-11,12の①)、安芸郡坂町(図-11,12の②)、安佐北区(鉄橋崩落) (図-11,12の③)、呉市安浦町中畑地区〜東広島市黒瀬(図-11,12の④)の調査結果を述べる。また、国土地理院 による被災前後の空中写真に基づく土石流発生状況についても示す。

① 広島市安芸郡坂町水尻地区

水尻地区の地質は主に後期白亜紀の広島花崗岩類の呉花崗岩(粗粒-中粒黒雲母花崗岩及び角閃石含有黒雲母花 崗岩)で構成され、一部には呉花崗岩(細粒黒雲母花崗岩及びアプライト)と岩脈類(花崗斑岩及び文象斑岩)も確認で きる¹⁴。また、水尻駅から国道31号線を北上/南下すると、沿線に沖積層(礫・砂・シルト及び粘土)も分布している¹⁴。



写真-1 水尻地区の被災前後の空中写真 17)



写真-2 広島呉道路の盛土崩壊(盛土流出)



写真-3 国道 31 号線沿い海岸の柵



写真-4 復旧した国道 31 号線(高架は広島呉道路)



写真-5 水尻地区の海岸に流出した土砂

国土地理院による空中写真¹⁰ (写真-1)から、天狗岩で発生した土石流は、元々の谷地形を水平距離で最大1km程 度流下している。特に調査地点は、谷の合流箇所であるため、土石流の規模が増大しやすいと考えられる。

調査範囲は、**写真-1**(右)に示すように土石流の下流から末端部までである。国道31号線沿いで、斜面崩壊や 土石流の痕跡が多数認められた。調査範囲周辺の斜面崩壊の状況も踏まえると、崩壊の発端は表土及び表層の 真砂土と推察され、土石流はそれらと大小様々な花崗岩の礫、流木で構成されている。その中には、2mを超える 巨礫もみられる(**写真-2**)。

広島呉道路の道路盛土の崩壊は、主要な降雨が終了して1日程度経過した7月8日朝に発生した。その原因は、土石 流の直撃と同時にその外力のみが原因となったのではなく、土石流が盛土上流側の盛土ポケットに流入し、大量の 土砂と流木が盛土内を横断する排水管の呑口を閉塞させて排水機能を失い、路面や盛土内への雨水の浸透が続き、 その結果盛土法面の侵食と盛土内の水位上昇により不安定になり崩壊した可能性がある^{18,19}。

土石流は、JR呉線、国道31号線を超え海岸まで達している(写真-3,5)。砂浜手前における土石流の厚さは60cm 程度である(写真-3)。ガードレールが倒壊せずに残っていることから、流れは砂浜に流出する前に減衰したと考え られる。被災により広島呉道路、JR呉線、国道31号線が不通となったが、国道31号線は調査時点(7月18日)では 水尻駅付近の海岸側に仮設迂回路を建設し復旧していた(写真-4)。

② 広島市安芸郡坂町総頭川

総頭川とその周辺の地質は主に後期白亜紀の広島花崗岩類の呉花崗岩(粗粒・中粒黒雲母花崗岩及び角閃石含有 黒雲母花崗岩)および広島花崗岩類(中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩)からなる¹⁴⁾。中流域以南では河道側方に沖積層 (礫、砂、シルト)、後期更新世〜完新世の新期崖錘堆積物および下位段丘堆積物(礫、砂、シルト)が分布し、 下流域は埋立地である¹⁴⁾。

国土地理院による空中写真(写真-6)から、総頭川では、主に2つの源頭域で斜面崩壊が発生し、それが土石流 となり元々の谷地形および川沿いに流下した様子が認められる。下流域に比べて中流域では越流・氾濫域が狭い と判断される。同地域において中流域で川沿いに観察を行った後、下流域に移動し、被害状況および堆積土砂の違い などについて調査した。

a)総頭川中流域

写真-7の地点Aから地点B方向へ川沿いに観察を行った。空中写真から、顕著な氾濫の範囲は河道から側方 に最大30m程度である。現地調査では、その広がりの詳細は確認できていない。観察範囲全体的に至る所で河 道の護岸が崩壊し(写真-8)、住宅の基礎部分が流出し倒壊の恐れがある家屋も見られた。河道には、主に礫や 崩壊した護岸の岩片がみられ砂質~泥質砕屑物は少ない。河道脇の道路には、真砂土等の砕屑物、流木、巨礫(直



写真-6 安芸郡坂町総頭川の被災前後の空中写真 17)

径最大1.2m程度、写真-9)がみられる。河道にかかる橋のガードレールで流木がせき止められており(写真-10)、 その部分で側方に氾濫が進んだと考えられる。

b)総頭川下流域

下流域と中流域では土砂堆積状況が異なる。下流域では河道に大きな礫は見られず、河道脇の道路や橋の ガードレールには流木の堆積が見られ、中流域と比べてシルト・粘土サイズの堆積物の量が多い(写真-11)。 調査地点周辺の近隣住民の情報によれば、被災後の降雨による二次災害を防止する目的から、調査時点(7月18日) では河道からある程度土砂が撤去され、河床には1.5~2m程度の厚さに細粒土砂が堆積している状態であった (写真-11)。しかし、災害発生時は河床から道路高まで約3m程度ある河道が全て細粒土砂(真砂土)で埋まり、 河道を河川水が流下できずに側方へ氾濫が発生したようである。河川の治水機能に関しては、河川水量のみな らず土砂災害にも起因した複合的な浸水被害とも言える。発災直後の浸水域には、氾濫して流れ下った痕跡と 思われる細粒土砂の堆積が見られた(写真-12)。



写真-7 総頭川中流域の調査範囲の空中写真 17)



写真-9 総頭川中流域の河道脇道路上の巨礫



写真-11 総頭川下流域の土砂堆積と流木



写真-8 地点 A 周辺の護岸崩壊状況



写真-10 地点 B 周辺の橋の流木と道路・護岸崩壊



写真-12 総頭川下流域の発災直後の浸水域

③ 広島市安佐北区(白木町白木山駅付近:JR芸備線鉄橋崩落箇所)

JR芸備線白木山駅~狩留家駅間およびその周辺の地質は、主に三畳紀~ジュラ紀の玖珂層群相当層(含礫泥岩及 び泥岩(一部砂岩を含む))、と後期白亜紀の広島花崗岩類(中粒弱斑状黒雲母花崗岩)、高田流紋岩類(流紋岩ガラス結 晶質凝灰岩)である¹⁴⁾。また、一部には後期白亜紀の広島花崗岩(中粒~細粒優白質黒雲母花崗岩)、後期完新世~完 新世の古期崖錐堆積物および上位段丘堆積物(礫、砂及びシルト)や新期崖錐堆積物および下位段丘堆積物(礫、砂及 びシルト)も分布している¹⁴⁾。

国土地理院による空中写真(写真-13)から、三篠川では川幅最大まで土砂が堆積しており、鉄橋(長さ83m)の 崩落が確認された地点では、氾濫の形跡が認められる。

鉄橋の橋脚は、左岸側にRC橋脚2本と右岸側に石積橋脚2本の計4本で構成されており、今回の豪雨で右岸側に 位置する石積橋脚全てが基礎上部から崩壊している(写真-14(左))。それに伴い、鉄道架線柱も大きく変形して



写真-13 JR 芸備線の鉄橋被災前後の空中写真 17)



写真-14 JR 芸備線 鉄橋の崩落状況



写真-15 石積橋脚の崩壊状況



写真-16 石積橋脚の崩壊場所周辺に堆積した砂

いることが分かる(写真-14(右))。また、上流部からの流木などの漂流物が橋桁や橋台部でせき止められている (写真-14,写真-15)。鉄橋が流出した地点のすぐ下流側は水衝部と考えられ、右岸側に流体力が集中しやすい地形 であると判断される。

今回の豪雨により河川法面の木々が下流方向に傾倒しており、河川の水位はその位置まで上昇したと考えられる。 右岸側においても、水位は川幅全体の高水敷から堤防まで上昇し、水流が河川脇の民家まで及んでいる。鉄橋崩落 箇所の周辺には、平行葉理が明瞭に認められる厚さ30cm程度の砂層(主に細粒〜中粒砂)の堆積がみられ、氾濫した 流れが土砂濃度・流速をある程度継続していたと考えられる(写真-16)。これより鉄橋崩落を起こした河川水は 土砂を多く含んでいたと考えられる。

④ 呉市安浦町中畑地区~東広島市黒瀬学園台

この調査地域の山地の地質は主に後期白亜紀の高田流紋岩類の野呂山溶結凝灰岩(流紋岩溶結結晶凝灰岩)からなる¹⁴⁾。私立大学の敷地がある黒瀬学園台には、河川成ないし湖沼成の未固結堆積物(礫、砂、シルト及び粘土)からなる中期更新世の西条層が分布し、同大学からすぐ南側の前平山の山麓には、後期更新世〜完新世の新期崖 錐堆積物(礫、砂、シルト)が分布する¹⁴⁾。

国土地理院による空中写真(写真-17)から、前平山をはじめ広域的に斜面崩壊・土石流の発生が多数認められる。 頂部周辺斜面から県道34号などの斜面基部まで土石流が達しているものもあれば、斜面中腹からその痕跡が追え ない箇所もある。崩壊が途中で止まっている場合、今後の豪雨等による二次災害につながる可能性がある。

県道34号に沿って中畑地区における斜面崩壊や土石流の発生状況、集落の被災状況を調査した。現地での斜面 崩壊の状況や空中写真(写真-17)から、本地域の土石流の発端は概して表層崩壊に起因すると考えられる。以下 では、土石流の発生状況に関して治山堰堤の崩壊も含めて重点的に観察した私立大学の南側に位置する前平山斜面 での調査結果を記す。この調査範囲は、前平山においては比較的長距離にわたり土石流が発生した場所であり、 土石流の中流から下流末端部までである(写真-17(右))。

この土石流は、主に流木、表土、岩石ブロック、崩壊した治山堰堤のブロック、流紋岩溶結凝灰岩(写真-18~ 写真21)のほか、崖錘堆積物と判断される礫・砂・泥からなる。土石流の末端部は私立大学の敷地に達している。 県道34号を挟んで上流側と比べて、末端部では、表土などの泥質堆積物をより多く含む。

この土石流は治山堰堤を複数崩壊(写真-22)させながら元の谷地形を下刻し、さらに土砂移動量を増加し規模 が大きくなったと考えられる。写真-23は、下流側を向いて谷軸を挟み左側斜面を主に侵食し、右側で堆積が生じ



写真-17 呉市安浦町中畑地区~東広島市黒瀬学園台の被災前後の空中写真 17)

ている様子を示している。左側の露頭には、流れと平行に侵食痕がみられる(写真-23の白枠内)。また写真-23 は、過去に発生した土石流堆積物と考えられる露頭でもある。表土より下位において、大きく分けて2つの堆積 ユニット(A,B)が認められる。ユニットAとBの境界および、ユニットCの上面・基底面は、いずれも侵食面で ある。ユニットCは連続して観察することができなかったため詳細は述べない。ユニットAは全体的に砂質・泥質 堆積物が礫を囲んだ状態になっているため基質支持の堆積層であり、一般的な土石流堆積物と判断される。一方、 ユニットBについては、全体的には基質支持の部分も認められるが、砕屑支持(礫と礫が直接的に接し合う状態) の部分の方が多くみられるため、堆積物重力流というよりも、水流が砂礫を運搬するトラクション流が優勢の環境 下で堆積した可能性がある。以上のことから、規模は異なる可能性はあるが、同調査範囲において、元々の地盤・ 岩盤を侵食するような土石流が過去に複数回発生し地層中に保存されていると考えられる。



写真-18 土石流の上流方向の全景



写真-20 治山堰堤の崩壊ブロック



写真-22 複数の治山堰堤の崩壊状況



写真-19 岩石ブロック等による流木の集積箇所



写真-21 流紋岩溶結凝灰岩



写真-23 過去の土石流堆積物と考えられる露頭

4. 住民避難に関する課題

筆者らが現地調査を実施した呉市と東広島市について、気象庁による警報・注意報の発表状況と、自治体による 避難情報の発令状況および避難者数・避難所の開設数の推移を図-13、図-14にまとめる。自治体の対応と避難者 数の推移については、両市および広島県によって公開されている情報^{20/22)}を参照した。

呉市、東広島市ともに避難者数は避難指示(緊急)の発令後、数時間が経過してから増加している。両市とも避難 指示(緊急)は、大雨特別警報とほぼ同時に発令されていることから、避難のための屋外の移動が荒天のため困難で あった局面も少なくなかったものと推察される。ただし、特に呉市については避難指示(緊急)の発令からほぼ1日 後に避難者が急増しているがこの理由は不明であり、避難が困難な状況が長時間続いた理由の他、自治体による避 難者数の集計が遅れたなどの可能性も考えられる。

一般に、安全な避難を行うためには、自治体から避難勧告が発令された段階ですみやかに避難することが望ましい とされているが²³、両市の避難者数の推移を見る限りでは早めの避難が実現されているとは言い難い。特に両市では、 前章までで述べたように土砂災害が顕著であり、避難のための時間的猶予を確保するのが困難なケースも多かった と考えられる。このため、自治体からの避難情報を確実に得る手段を確保しておくこと、日ごろから周辺の避難所 の位置や土砂災害警戒区域を確認しておくなど、発災時に安全かつ速やかに避難するため備えておくことが極めて 重要となる。





5. 衛星データの利用検討

近年人工衛星の性能向上が著しく、合成開口レーダー(SAR)衛星やマルチスペクトル衛星などによる地球観測 の高分解能化や高頻度化が進んでいる。観測衛星の用途は、気象予報、環境把握、資源把握、防衛、ビジネス利 用など様々であり、特に防災減災のための研究は多く行われている。本調査においても、観測衛星の活用による 被災状況把握を目的として、宇宙航空研究開発機構(JAXA)所有のレーダー衛星ALOS-2/PALSAR-2、および欧 州宇宙機関(ESA)所有の光学衛星Sentinel-2を用いて、前述の現地調査と衛星画像分析結果の比較、また観測方 式による見え方の違いを検証した。

合成開口レーダー衛星は斜め上方からマイクロ波を送信することで、後方散乱の位相と振幅を時間差で計測 する。ALOS-2に搭載されている PALSAR-2はLバンド²⁴⁾と呼ばれる 1.2GHz 帯の電波を使用することで、植 生を一部透過して地表の様子を観測することが出来る。また、雲や雨の影響を受けにくく、夜間でも観測が可 能という利点があることから、豪雨災害の場合でも早期に状態を把握することが可能となっている。本報告で は Stripmap Ultrafine モードおよび HH 偏波(水平送信・水平受信)²⁴⁾で観測したデータを用いている。また、 マルチスペクトル衛星 Sentinel-2 は複数の観測周波数帯を用いて多種の状態を抽出可能であるが、今回は肉眼 視に近い色表示にて画像を表示している。光学画像の性質上、日照時および快晴時における観測データのみ使 用可能である。

広島県におけるSentinel・2による観測データは2018年6月1日および2018年7月16日に撮影されたもの(写真-24)、またALOS・2による観測データは2015年4月19日および2018年7月8日に曇天下で撮影されたもの(写真-25) を使用している。Sentinel・2による光学画像は写真-17で示されている空中写真とほぼ同様であり、定期的に撮 影された写真がアーカイブされており必要な際に迅速に入手および閲覧が可能であることが利点である。 ALOS・2による撮影は、ディセンディング軌道(北から南へ向かう方向)において進行方向右手側の観測であるた め、東側の斜め上空から見たものとなっている。写真-24および写真-25で示されている東広島市黒瀬学園台付 近では大規模な土石流が非常に多く発生しており、これにより植生が消失して地表面が露出した状態となってい るため、光学衛星における変化は目視でも明らかである。SAR画像においても、東側からの観測であるため、山 の東側斜面については視認性が比較的良いこと、また植生と地面で後方散乱係数が大きく異なることから画像上 で違いとなって現れやすいことなどがあり、強度画像において土石流発生箇所に筋が見られることが確認できる。 しかし西側斜面については観測方向から影となる領域であるため、光学画像で土石流が確認される場所において SAR画像では視認が困難であるケースが存在している。また、小規模な土砂災害についてはノイズに埋もれ識別 が困難な箇所も存在する。これらの現象に対する課題としては、観測方向の多様化および分解能の向上が必要で あると考えられる。



写真-24 Sentinel-2 光学画像(2018年6月1日(左)および2018年7月16日(右))



写真-25 SAR 強度画像(2015年4月19日(左)および2018年7月8日(右))

図-15 では、二時期における変化を判別しやすいように、新たに出現したものをシアン、また消失したものを 赤で表示するように写真-25 の画像を重ね合わせている。前平山の植生部分はノイズが多い状態であったが、土 石流が発生したことにより植生が消失し地表面が出現したため、赤とシアンの線が同時に現れている。以上より、 大規模な土石流のケースでは、斜面の植生が消失し表面が露出した状態となる面積が広いため、衛星からは捉えや すくその形状がはっきりと確認された。



図-15 SAR 画像変化抽出

豪雨による被災領域を分類し、人工衛星画像により早期把握することが可能かを検証し、能力の長所と短所を洗い出した。防災減災のための人工衛星データ活用の課題としては、迅速な状況把握や予測を可能とするためには、まず観測の頻度および地上分解能のさらなる向上が要求される。さらに、近年発展が著しい AI/機械学習の技術 や多偏波解析技術、さらに多種の地理空間情報との連携による高度情報処理技術を用いることにより、より有効な 活用方法が出てくるものと思われる。その上で、リスク評価の観点や地質・地形の知見を活かすことで BCP など に役立てていくことが望ましいと考えられる。

6.おわりに

本報告では、平成30年6月28日~7月8日に発生した「平成30年7月豪雨」による災害に関して、技術研究所の災害対策部風水害支援・学術調査の一環として現地調査等を実施した結果を報告した。

気象状況は、西日本を中心とした広い範囲で大雨となり、四国地方で1,800mm、東海地方で1,200mm を超え るところがあり、7月総降水量として月降水量平年値のおよそ2~4倍の観測値であった。全国のアメダス地点の 観測降水量から過去の豪雨と比較しても少なくとも1982年以降前例のないほど規模が大きいものであった。

広島市、呉市、東広島市を中心とする周辺被災地域で土砂災害と社会基盤施設等の現地調査を行った結果、花崗 岩主体および流紋岩溶結凝灰岩の山地・丘陵で多数の斜面崩壊・土石流が発生していることを確認した。斜面崩壊 は全般に表層崩壊と判断される。崩壊後、それが発端となり、規模に大小はあるが多くが土石流となって主に元々 の谷地形を流下した。元々の谷地形を流下する際、周囲の地盤・岩盤も侵食しながら土砂移動量を増加させ規模が 大きくなっていると考えられる。花崗岩主体の山と流紋岩の山で、斜面崩壊や土砂移動に形態的な顕著な違いは見 られなかった。

治山堰堤の崩壊や河道護岸の崩壊、鉄橋の倒壊・流出は、いずれも土石流や水圧荷重によるものと言えるが、その場の土砂(流木等も含み)移動量・供給量、水位上昇量に大きく影響されると考えられる。護岸整備がなされた小 規模な河川で、土石流による細粒土砂(真砂土)で河道が完全に埋まり、河川流が河道を流下できなくなって河川氾 濫が生じ、周辺家屋に浸水被害が発生した地域がある。河川の治水機能に関しては、河川水量のみならず土砂災害 にも起因した複合的な浸水被害とも言える。

土石流による道路盛土の崩壊により高速道路の不通箇所が発生した。しかし、その崩壊は土石流の直撃と同時に 生じたのではなく、主要な降雨が終了後1日程度経過して崩壊した。この時間遅れの原因は、土石流が盛土上流 側の盛土ポケットに流入し、大量の土砂と流木が排水管の呑口を閉塞して排水機能を失い、路面や盛土内への雨水 の浸透が続き、その結果盛土法面の侵食と盛土内の水位上昇により不安定となって崩壊した可能性が指摘されてい る^{18,19}。時間遅れを伴う災害は、災害復旧時などの二次災害のリスクもあり、今後の対策に向けて十分な検討が 必要と考えられる。

以上のように、過去に例のない規模の豪雨は、総じて土石流の発生リスクを高め、地質による発生形態の違いよ りも降雨量が支配的な要因になる傾向が窺える。河川、道路、鉄道などの社会基盤施設等への影響は、土石流を中 心とした土砂災害や河川氾濫による直接的被害が増える一方、被害発生の形態は施設機能との関係からこれまでに なく複雑で複合的な被害も生じる可能性があると考えられる。また、施設管理者にとって、土石流は流下距離が長 く管理対象地域の外で発生して被災するため、発生源対策が困難な場合が多く対応・対策が課題になる。

さらに、現地調査を実施した呉市、東広島市について、避難情報の発令状況に対する避難者数の推移を分析した。 その結果、ほとんどの市民が最も切迫した状況下である避難指示(緊急)の発令後に避難していることが明らかと なった。特に両市では土砂災害が顕著であり、他の災害と比較しても避難のための時間的猶予が確保しにくい特徴 がある。このため、避難勧告などより早い段階で避難することが肝要であり、自治体からの避難情報を確実に得る 手段を確保しておくこと、周辺の避難所の位置や土砂災害警戒区域を確認しておくなど、日ごろからの備えが重要 となる。

人工衛星画像により早期把握することが可能か否か、豪雨による被災領域を分類したうえで検証し、能力の長所 と短所を洗い出した。土石流の広域観測に対して、光学衛星に替えて SAR(合成開ロレーダー)による曇天下の 観測において、一定の視認性が検証できた。しかし今回のケースでは発災後1日が経過してから衛星による観測 が行われていたこと、またその地上分解能が3mであったことなどから、迅速で正確な被災状況把握のためには 今後の観測頻度および地上分解能の向上が期待される。さらに、近年発展が著しい人工知能技術や多偏波解析技術、 および他のセンサによる地理空間情報と連携することが有効と思われる。その上で、リスク評価の観点や地質・地形 の知見を活かすことで BCP などに役立てていくことが望ましい。

謝辞

本報告の「5. 衛星データの利用検討」は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 第6回 ALOS 研究公募課 題 No.3019 により提供された地球観測データを使用したものであり、ここに謝意を表する。また、「3. 広島市、 呉市、東広島市の現地調査」においては当社広島支店の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 気象庁:顕著な災害を起こした自然現象の名称について(平成 30 年 7 月 9 日), https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/meishou/meishou.html, 2018 年 7 月 9 日閲覧
- 気象庁:気象庁が名称を定めた気象・地震・火山現象一覧, https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/meishou/meishou_ichiran.html, 2018年10月31日閲覧
- 3) 気象庁:「平成30年7月豪雨」及び7月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について、
 https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf,2018年8月27日閲覧
- 4) 気象庁:西日本と東日本における記録的な大雨について、
 https://www.jma.go.jp/jma/press/1807/07a/kaisetsu2018070710.pdf, 2018年8月27日閲覧
- 5) 気象庁:過去の天気図, http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/wxchart/quickmonthly.html, 2018年7月8日閲覧
- 6) 日本気象株式会社:専門天気図 [AUPQ78] アジア 700hPa 解析図, https://n-kishou.com/ee/exp/exp01.html?cd=aupq78&cat=e1, 2018 年 7 月 8 日閲覧
- 7) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門:2018年7月6日から7日に西日本に災害をもたらした雨雲の特徴, http://mizu.bosai.go.jp/wiki2/,2018年8月27日閲覧
- 8) 広島地方気象台:平成 30 年 7 月 3 日から 8 日にかけての台風第 7 号と梅雨前線による大雨について(広島県の気象速報), https://www.jma-net.go.jp/hiroshima/siryo/20180709_sokuhou.pdf, 2018 年 10 月 31 日閲覧
- 9) 消防庁:平成30年7月豪雨及び台風第12号による被害状況及び消防機関等の対応状況(第54報),2018年8月21日.
- 10) 日本経済新聞朝刊, 2018年7月10日.
- 11) 国土交通省: http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/2018/pdf/180710toureru-kure.pdf, 2018 年 7 月 13 日閲覧
- 12) 広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団 地理学グループ:平成 30 年 7 月豪雨による斜面崩壊分布図, 2018 年 7 月 24 日, http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201807_report003.pdf, 2018 年 8 月 10 日閲覧
- 13) 国土交通省 国土地理院:地理院地図(一部追記), http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html
- 14) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質図 Navi(一部加筆), https://gbank.gsj.jp/geonavi/
- 15) 東元定雄・松浦浩久・水野清秀・河田清雄(1985): 呉地域の地質,地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),地質調査所,93 p
- 16) 高木哲一・水野清秀(1999):海田市地域の地質,地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),地質調査所,49p
- 17) 国土交通省 国土地理院:空中写真(一部追記),

http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html , http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html

18) 土田孝・橋本涼太:土石流の発生による道路および道路利用者の被災,第53回地盤工学研究発表会,緊急災害調査報告セッション2
 (一般公開)「平成30年7月豪雨による地盤災害緊急調査報告」,2018年7月25日,

 $https://www.jiban.or.jp/wp-content/uploads/2018/07/180725 saigai SS2_04 tsuchida.pdf$

- 19) 日経コンストラクション:緊急特集 西日本豪雨の衝撃,第693号, pp.22-57, 2018年8月13日
- 20) 広島県: 危機管理課 新着情報, 平成 30 年7月豪雨災害による被害等について(第2報~第63報),

https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/4/index-2.html, 2018年11月5日閲覧

21) 呉市:平成 30年7月豪雨による被害状況等について(第66報),被害状況等について(第66報),

https://www.city.kure.lg.jp/soshiki/31/taisakuhonbu.html, 2018年11月5日閲覧

22) 東広島市:平成30年7月豪雨時の避難情報の発令状況,

http://www.city.higashihiroshima.lg.jp/kurashi/saigaijyohou/2/18394.html, 2018年11月5日閲覧

23) 内閣府:政府広報オンライン,大雨や台風の気象情報に注意して早めに防災対策・避難行動を行いましょう,

https://www.gov-online.go.jp/useful/article/201206/1.html, 2018年11月5日閲覧

24) 宇宙航空研究開発機構: ALOS-2 Project / PALSAR-2, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm, 2018年8月31日閲覧