

平成25年9月京都・滋賀水害調査速報

土木学会水工学委員会京都・滋賀水害調査団

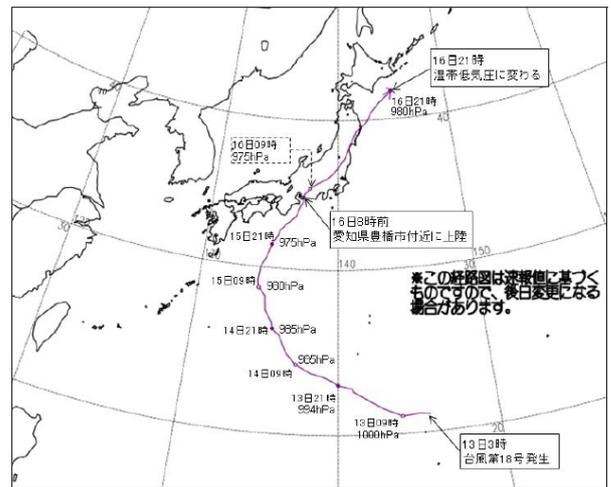
1. はじめに

9月13日3時に小笠原諸島近海で発生した台風第18号は、潮岬の南海上を通過して9月16日8時前に暴風域を伴って愛知県豊橋市付近に上陸した。台風の接近・通過に伴い、日本海から北日本にのびる前線の影響等で、四国から北海道の広い範囲で大雨となった。2013年9月18日10時30分現在の内閣府の情報及び平成25年9月18日6時現在の国土交通省の情報によると¹⁾、この大雨と暴風、竜巻等により、土砂災害、浸水被害、河川の氾濫等が発生し、岩手県、福島県、福井県、三重県、滋賀県、兵庫県であわせて死者3名、行方不明者5名となり、四国から北海道の広い範囲で家屋の損壊や浸水が発生し、損壊家屋800棟以上、浸水家屋5,000棟以上の住家被害が生じた。本調査は、土木学会水工学委員会の京都・滋賀水害調査団として、2013年9月16日から現地調査を実施し、その調査結果の概要を示すものである。

なお、本調査団は、ここで示していない被災地での調査も実施しているが、現時点では結果の取り纏めが終わっておらず、それらの調査結果は最終報告書で示す。また、本報告は速報版であり、ここに記載されたもの一部は、現時点では十分に検討できていない。これらについては、今後、さらに詳しい検討が行われる予定である。そのため、結果の一部は修正される可能性がある。

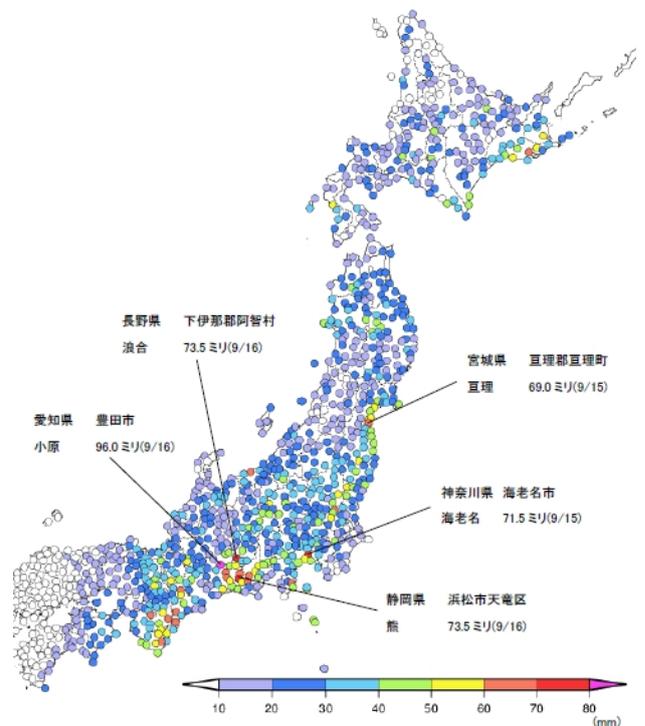
2. 気象条件¹⁾

図1に台風18号の移動経路を示す¹⁾。9月13日3時に小笠原諸島近海で発生した台風第18号は、発達しながら日本の南海上を北上し、9月15日18時には暴風域を伴った。台風は、その後も北上を続け、潮岬の南海上を通過して、9月16日8時前に暴風域を伴って愛知県豊橋市付近に上陸した。台風の接近・通過に伴い、日本海から北日本にのびる前線の影響や、台風周辺から流れ込む湿った空気の影響、台風に伴う雨雲の影響で、四国から北海道の広い範囲で大雨となった。図2に、9月15日～16日の最大1時間降水量、総降水量、9月の月降水量の平均値に対する今回の降水量の割合の平面分布を示す。9月15日から16日までの総雨量は、三重県宮川で575.5mm、奈良県上北山で542.5mmとなるなど、近畿、東海地方を中心に400mmを超えたほか、統計期間が10年以上の観測地点の



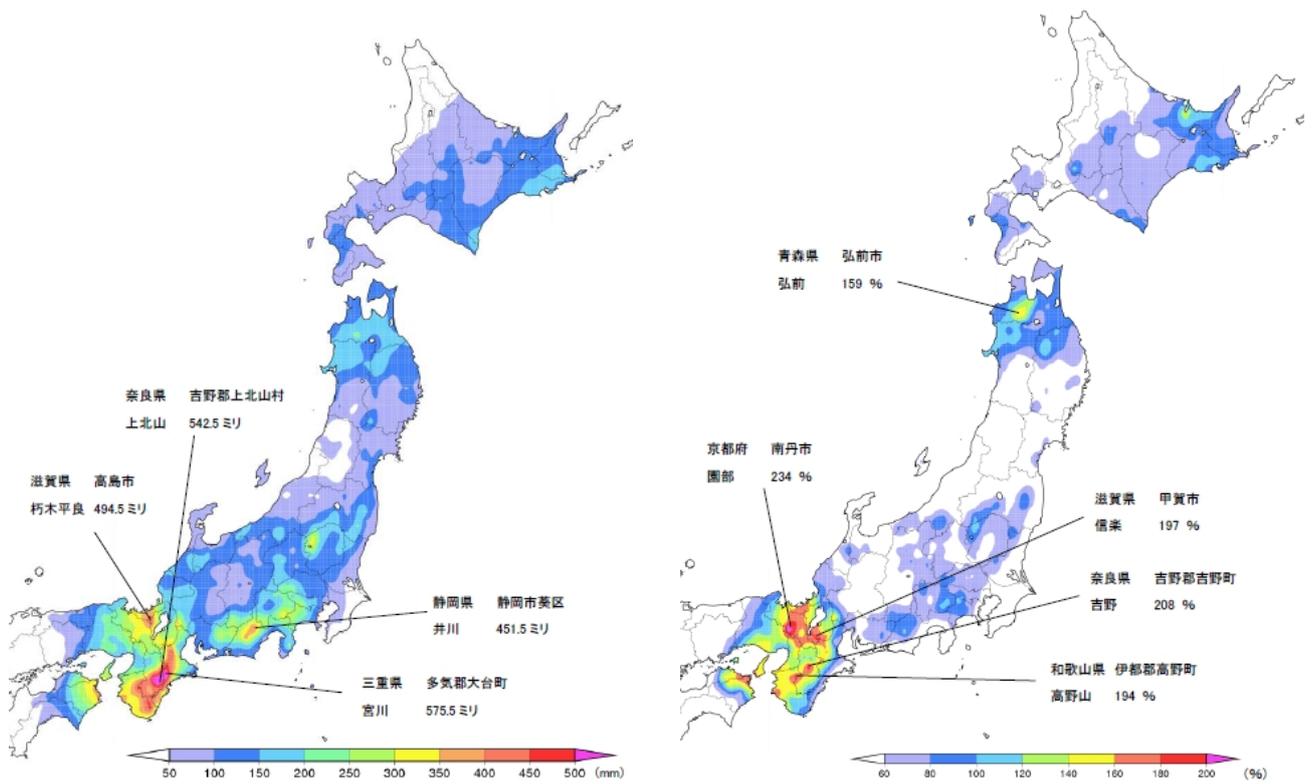
経路上の○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示す。

図1 台風18号の移動経路¹⁾



(a) 9月15日～16日の最大1時間降水量
図2 台風18号による降雨¹⁾

うち、最大1時間降水量で13地点、最大3時間降水量で25地点、最大24時間降水量で35地点、最大48時間降水



(b) 9月15日～16日の総降水量

(c) 9月の月降水量の平均値に対する今回の降水量の割合

図2 台風18号による降雨¹⁾

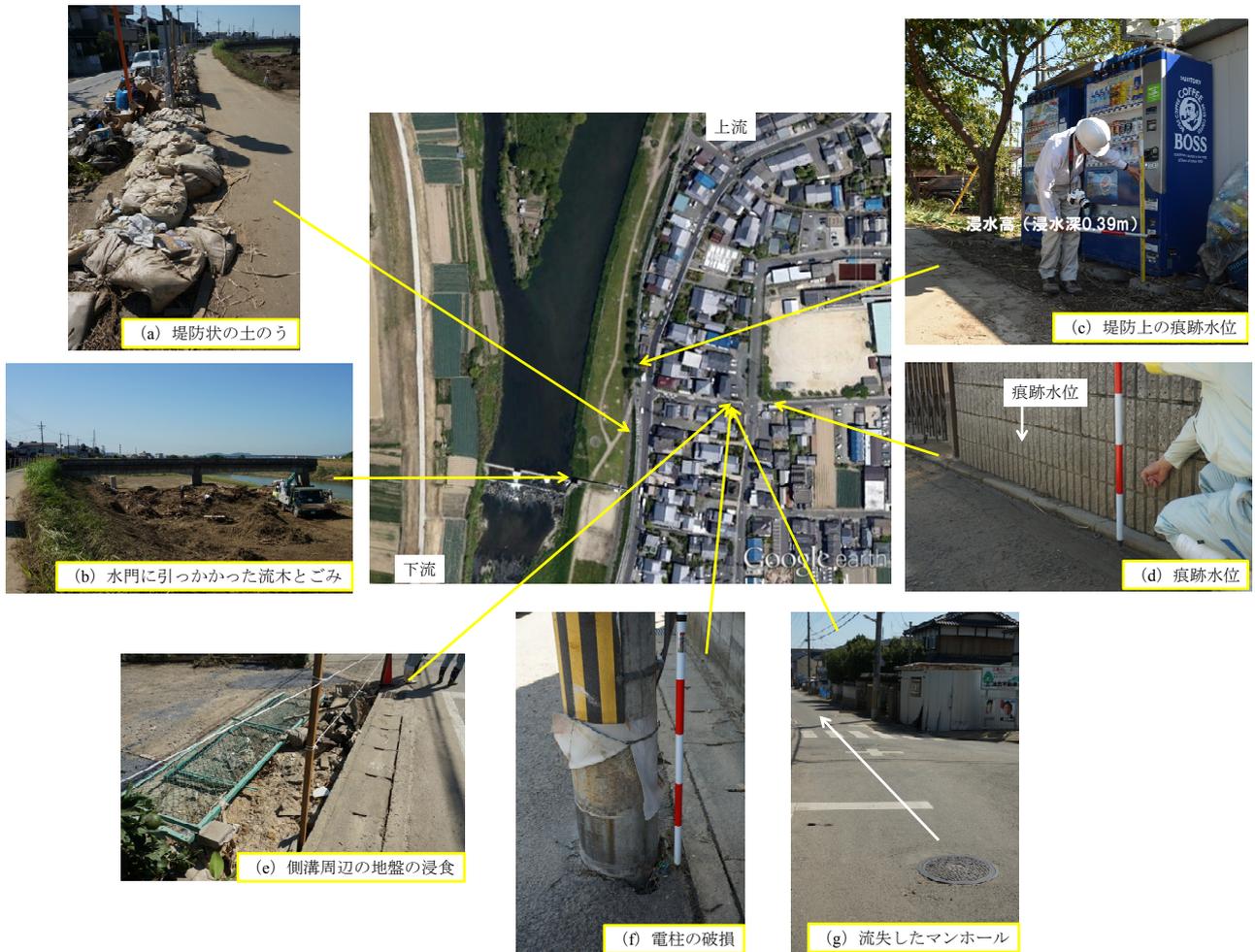
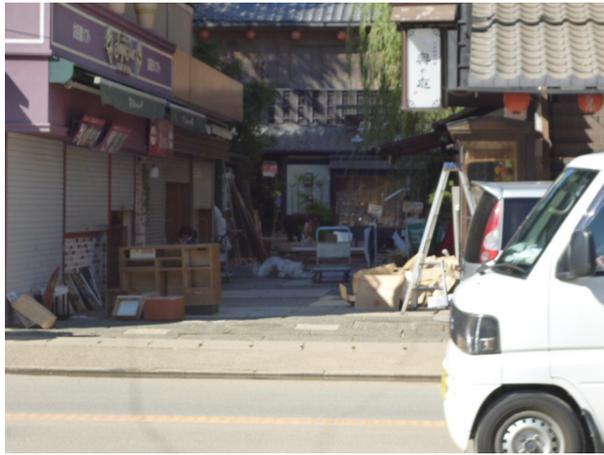


図3 京都市伏見区下鳥羽（鴨川）の氾濫（(c)は9月18日，他は20日）



(a) 土砂氾濫後の片付けの様子



(b) 渡月橋右岸上流域の護岸の破壊



(c) 破壊したトイレ



(d) 被災した船着き場

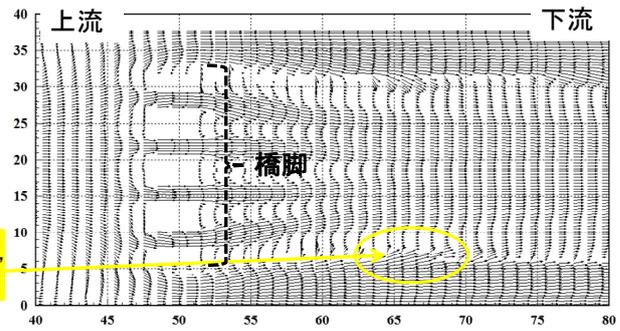
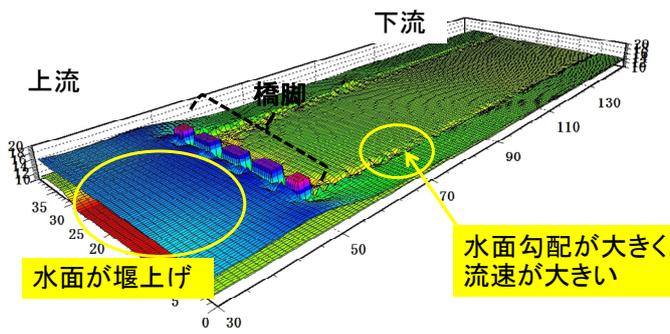


(e) 渡月橋右岸側の痕跡水位



(f) 6号井堰上流右岸側の護岸の破壊

図4 渡月橋周辺の様子 ((a) ~ (d) は9月17日, (e) は18日, (f) は20日)



(a) 橋梁上流域の水位上昇と迂回流の水面形

(b) 迂回流発生時の流速ベクトルの例

図5 橋梁上流域の水位上昇と迂回流 (単位: m, 流量: 600m³/s, 河床勾配: 0.015)



(a) 渡月橋全景



(b) 流木止めと流木



(c) 橋桁の破損と橋脚

図6 出水後の渡月橋の様子 (9月20日)

量で25地点が統計開始以来の観測史上1位を更新した。京都府、滋賀県については、図2(c)に示すように、9月の月降水量の平均値に対する今回の降水量の比が大きくなっており、その地域では過去に経験したことのないような大雨となった。

3. 京都市伏見区下鳥羽 (鴨川)

図3に、京都市伏見区下鳥羽での鴨川左岸の越水地点の様子を示す。越水は、図3(a)に示す地点で発生した。図3(a)は、当日の水防活動によって積み上げられた土のうが残っており、土のうの高さは堤防天端から約0.4mであった。この地点は周辺よりも若干堤防高さが低くなっている。また、越水地点のすぐ下流左岸側には、龍門橋と呼ばれる水門開閉用の橋が設置されている。龍門橋には多くの流木とゴミが集積したようで、パワーショベル車による除去が行われていた。つまり、本地点での越水は、堤防天端が低いことと龍門橋に流木やゴミが集積して河積が減少することによる水位上昇が原因と

考えられる。被災者の話によると、越水した時間帯は9月16日午前の約4時間であり、7:00~7:30が水位のピークであったとのことである。図3(c)地点においては、越水水深は0.39mであった。また、図3(d)に示すように、越水地点から約80m東の地点での最大水深は約30cmであった。この地点の地盤は東へ下りの勾配を持っており、ある程度の流速を有して約30cmの深さで流れたと考えられる。なお、この周辺ではマンホールや側溝の蓋の流出、電柱の破損、側溝周辺の地盤の浸食などが確認された。

4. 京都市右京区嵯峨天龍寺 (渡月橋)

桂川渡月橋周辺は、今回の水害によって大きな被害を受けた地域の一つである。洪水流量に対して、河道の規模が小さいことによる流下能力不足が主要な要因であることは現地の状況から明らかである。

左岸側の河道沿いの道路を流下した痕跡が明瞭に確認された。部分的な片付けは行われていたものの、図4



図7 亀岡市内の浸水状況調査地点 (Google Map©上に調査地点を記入)

(a) に示すように、道路上には土砂が大量に堆積している様子が確認された。

右岸側の被害も顕著であり、図4 (b) に示すように、渡月橋上流側において、石積み護岸に被災箇所がみられた。図4 (c) や (d) に示すように、河川敷の公衆トイレや船着き場にも甚大な浸水被害が生じていた。中の島や渡月亭付近では、図4 (e) に示すように、腰の高さ(約0.9m)程度の浸水深となっているところがあった。また、図4 (f) に示すように、6号井堰上流右岸側の護岸が大きく破壊していた。この部分は、河岸が河道中央方向(北)へわずかにせり出しており、渡月橋の下を流れた水の水衝部となる場所である。また、渡月橋右岸から迂回して中の島を流れた迂回流が桂川に戻る地点に相当していた可能性もある。参考のため、図5に平面二次元流れの数値解析²⁾による橋梁周辺の迂回流の計算結果の一例を示す。なお、本解析での橋梁の形状や水理条件は、渡月橋とは異なっている。図5に示すように、迂回流が本川へ戻る地点は、水面勾配が急で流速が大きくなるため、護岸が破壊されやすい。

図6に渡月橋の様子を示す。今回の出水の最高水位時には、兩岸付近の橋桁まで水が達したことが確認されている。図6 (c) では橋桁の装飾の破損の様子がわかる。このような破損は、兩岸付近にのみ見られた。これは、図6 (b) に示すように、橋桁が上に凸の形状となっており、兩岸付近で低く、河道中央付近で橋桁が高くなっているためと考えられる。また、このような構造は、水平な橋桁の橋梁よりも橋の流出や橋桁による水位上昇の抑

制には有利である。つまり、河岸付近の橋桁が水に浸かり始めても河道中央付近の橋桁は水面の上であり、河岸付近で流下を抑制された流れの一部を河道中央で流下させることが可能であるとともに、橋梁上流域の水位上昇を抑制できる。河岸と同じ高さの水平な橋桁の場合は、河岸付近の橋桁が水に浸かり始めると河道中央付近も同時に水に浸かり始め、橋桁上流域の水位は急激に上昇するとともに、橋桁に架かる水圧が高くなり、橋桁が流出しやすくなる。

渡月橋は、景観にも配慮した構造となっており、その対策も取られている。図6 (c) に示すように、渡月橋は4本の柱が一組となって、一箇所(橋脚)を構成している。このような構造は流木が引っかかって橋梁に架かる流体力を増加させ、流出の危険性を高めるため、現在の設計基準では推奨されていない。このような構造に対する対策として、図6 (b) に示すように、流木止め(流木避け)が橋脚の上流約2mの所に設置されている。流木止めによって、先に流木を捕捉し、橋脚本体に引っかかる流木を減少させるとともに、上方の空間の自由度が大きい場所(橋桁の無い場所)で流木の向きを変え、橋梁断面で流木を通過させやすくする効果があると考えられる。また、図6 (c) に示すように、橋脚底部においては、4本の柱を連結させており、橋脚の強度を高めるとともに、流木の引っかかりを最小限にしていることが分かる。

5. 亀岡盆地

国土交通省水文水質データベース³⁾の速報値によると、桂川亀岡水位観測所で9月16日午前7時にピーク水位6.81mを記録している。この時刻付近の亀岡市内の調査地を図7に、浸水状況を図8に示す。地図中央付近を走るJR嵯峨野線(山陰本線)から北側に離れた位置に桂川(保津川)が流れている。桂川とJR嵯峨野線との間は、盛土された道路部分を除き、JRの線路よりもさらに3メートル程度低い水田が広がっている。

図8 (a) と (b) は、JR亀岡駅の浸水状況である。線路部分は完全に水没し、氾濫水がホーム上面に迫っていることがわかる。また、図8 (b) より、奥から手前に向かって(西から東に向けて、桂川上流方向から下流に向けて)氾濫水の流れがある様子がうかがえる。

図8 (c) と (d) は、亀岡駅の北側(桂川側)に立って、それぞれ、上流側と下流側を見た様子である。図8 (d) の奥の方に橋梁(保津大橋)が見えるが、黒く見えるその大部分はJR線路とその北側の水田部分をまたいで現在建設中の部分であり、河川ではない。写真中央より左寄りに白っぽい斜張橋の塔が見えるが、その部分が桂川をまたぐ部分である。



(a) JR亀岡駅プラットホームを南側から望む



(b) JR亀岡駅北口（桂川側）より西（上流側）を望む



(c) (b) から視点を北側に寄せたもの



(d) JR亀岡駅北口（桂川側）より東（下流側）を望む



(e) クニッテルフェルト通り北古瀬付近の浸水（地図②）



(f) (e) の浸水エリアの中央部分



(g) (e) の浸水エリア（下水道から氾濫している様子）



(h) 亀岡資料館前（右側の木より右側が河川）（地図③）



(i) ふれあい通りから北東（桂川方向）を望む（地図④）



(j) ふれあい通りから河原町付近の浸水（地図⑤）

図8 亀岡駅付近の浸水状況（9月16日午前7時頃撮影）

図8 (e) と (g) は、クニッテルフェルト通りの北古瀬交差点付近（図7の②）で、交差点部分が周囲より低くなっているために浸水している。図8 (g) からこの付近で雨水排水管から水があふれ出していることがわかる。なお、この近くを流れる小河川が氾濫している様子が図8 (h) である、地点②の氾濫は雨水排水管からの溢水と

地点③付近の河川からの溢水の両者によるものと考えられる。

図8 (i) は、JR亀岡駅西方のふれあい通り（図7の地点④）からJR嵯峨野線方向（北東方向）を望んだものである。ふれあい通りとJRの線路（盛土）との間にも路面の高い部分から3m程度低い水田が広がっており、その



(a) 桂川と鵜ノ川の合流点付近 (保津峡上流側)



(b) 冠水した自動車



(c) トロッコ亀岡駅 (堤外地)



(d) タクシー乗り場 (堤外地)

図9 保津峡上流付近 ((a) は9月18日, 他は17日, 青線は痕跡水位)

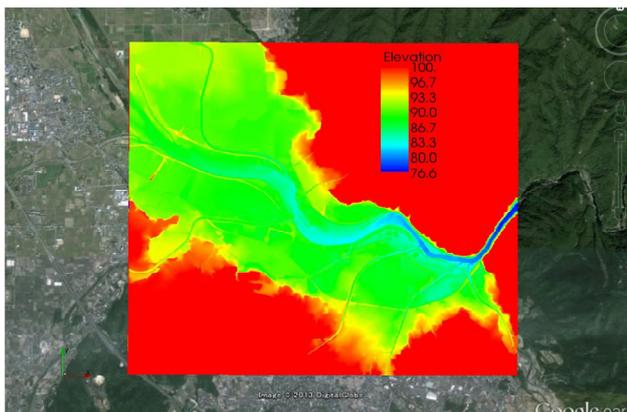


図10 解析に用いた地形データ

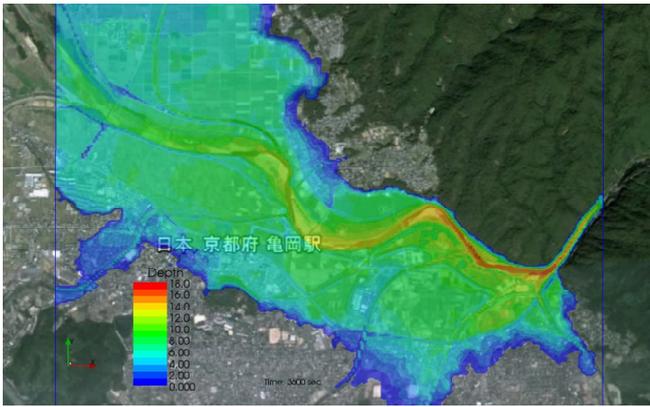
部分が冠水している。図8 (j) はふれあい通りを地点④から北西方向に進んだ地点であり、地点④より標高が低くなっている部分の浸水状況である。

以上、JR亀岡駅を中心とする地域の浸水状況を見てきたが、この地域に特徴的なことは、桂川右岸側に河道からJR嵯峨野線の線路盛土に至る比較的大きな水田地帯が広がっており、亀岡駅南側の市街地と比較すると3~4m

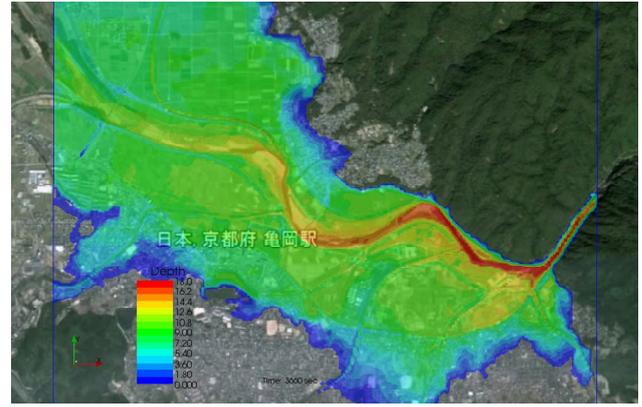
程度標高が低くなっている。図8 (c) , (d) や (i) からは、こうした水田地帯に氾濫水が貯留されている様子がうかがえ、水田地帯が相当な遊水機能を発揮していることがわかる。水害リスクを十分に意識した土地利用形態が形成・維持されていると言えよう。

亀岡市請田周辺の桂川と鵜ノ川の合流地点の様子を図9 (a) に示す。合流地点では桂川の右岸堤防が霞堤となっているとともに、下流が保津峡の狭窄部となっていることから、遊水地として機能が期待される地域となっている。合流点付近では高水敷より約2.3mの浸水高となっていた。JR馬堀駅周辺では、河道内で増水した水が水田や道路を流下した痕跡が明瞭に確認された。図9 (b) に示すように、堤内地にも洪水痕跡がみられ、図中の駐車していた車両も冠水したと考えられる。図9 (c) と (d) に示すように、トロッコ亀岡駅の痕跡水位やタクシーの案内板の汚れ具合から類推するに、約3mの最大浸水深であったと考えられる。

本出水による、保津橋地点の桂川のピーク流量は3200m³/sと考えられている。一方、後述するように、日



(a) Case 1 (3200m³/s)



(b) Case 2 (4700m³/s)

図11 解析に用いた地形データ (背景はGoogle Earth)

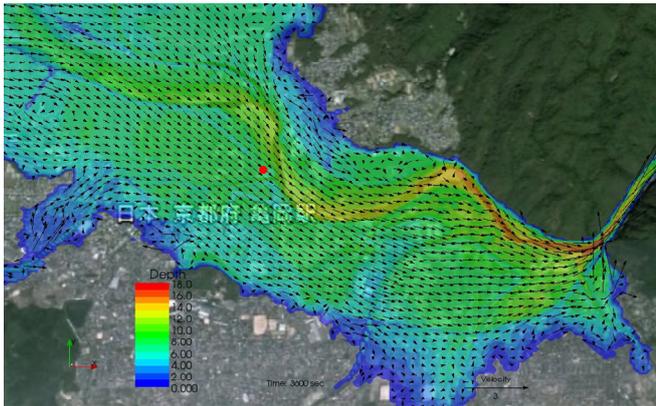


図12 水深平均流速の平面分布 (3200m³/s, 背景はGoogle Earth, 赤丸は図13の地点)

吉ダムによる貯水によって、ピーク流量は1500m³/sカットされたと報告されている。そこで、Case 1として3200m³/s, Case 2として4700m³/s (3200m³/s+1500m³/s)の定常流入条件における氾濫範囲及び浸水深の平面分布を平面二次元流れの数値解析²⁾によって計算した。図10に地形データを示す。地形データは、国土地理院による5mメッシュデータを用いた。解析格子は、約20m×約20mである。水が流出する保津峡の下流端水深は等流水深とした。マンニングの粗度係数は0.035 (単位: 長さm, 時間にs) を空間的に一様に与えた。

図11に浸水深の平面分布を示す。図11 (a) のイオン亀岡店南の交差点付近を見ると、約2mとなっており、実測データよりも大きな値となっている。これは、流れを非定常流れでは無く定常流れとして計算していること、国土地理院による5mメッシュデータであるため、河道内の最も河床位が低い流路内の地形が適切に評価できていない可能性があること、適切なマンニングの粗度係数の値が与えられていないこと、解析格子が大きく、保津峡の河道内の横断方向のメッシュ数が少なく、水が流出しにくい条件となっていた可能性があること等が考えられる。これらについては、今後、詳細なデータを収集して再検討を行う。

図11 (a) と (b) から、浸水域の平面分布を比較すると、4700 m³/sでの計算結果の方が3200m³/sでの計算結果



図13 桂川と曾ヶ谷川の合流点付近から北を望む (9月16日午前5時ごろ撮影³⁾)

よりも浸水域はわずかに広がっているが、流量に1.5倍の違いがあるにもかかわらず、両者に大きな違いはない。これは、氾濫域の南北および東側の境界付近は、地盤高が急激に高くなっており、流量が増加しても水深が増加するだけで平面的に水が広がることができないためと考えられる。氾濫域の最大浸水深の両条件での違いは約2.4mであり、一般家屋の1フロア程度の高さである。ただし、この値についても、前述のような理由で実際にはこれよりも小さい値となると考えられる。

図12に水深平均流速の平面分布を示す。亀岡には、天然記念物のアユモドキが生息している。密漁の危険があるため、正確な場所を示すことはできないが、本解析結果より、アユモドキの産卵場付近における水深平均流速は、約1m/sであった。亀岡市環境政策課によると、6月の産卵により生まれた個体は既に十分な遊泳能力を持っており、今回の出水スケールで保津峡まで流されてしまった個体は非常に少ないと考えられるとのことである。

また、桂川右支川の曾ヶ谷川との合流点及びその北側の堤防については (図12の赤丸地点), 水の流れが氾濫原から桂川に向かっていくことがわかる。これは、図13の流向と一致している。



(a) 日吉ダム



(b) 世木ダム下流に貯まった流木

図14 日吉ダムと世木ダムの様子 (9月18日)

6. 日吉ダム流域

桂川の上流域にある日吉ダムと世木ダムの様子を図14に示す。世木ダムは日吉ダムの上流に位置し、関西電力が管理する発電用の重力式コンクリートダムであるが、日吉ダム湖（天若湖）が満水時にはほとんどが水没する。今回の洪水では日吉ダム湖内（世木ダム直下）に大量の流木が捕捉されており、これが滞留している様子がわかる。

台風18号災害では、桂川上流の日吉ダム（独）水資源機構1997年完成）や由良川上流の大野ダム（京都府1961年完成）が大きな洪水流入量を記録し、洪水調節操作により下流の氾濫災害を大きく軽減させた。このうち日吉ダムは、堤高67.4m、総貯水容量6600万 m^3 （うち、洪水調節容量4200万 m^3 ）の多目的ダムであり、流域面積290 km^2 に対する洪水調節容量は145mm相当である（1/100の計画雨量は2日雨量で350mm）。

日吉ダムは図15のように、最大流入量1,694 m^3/s （9月16日午前7時）に対して最大約1,500 m^3/s のカットを行い、亀岡盆地、嵐山および桂川下流域に対して洪水水位の低下に大きく貢献した。

このカット量を戻すと、例えば亀岡（保津橋）地点は図16に示すように洪水水位を約1.5m低下させたと推定されている。この洪水カット量が下流に流下していたとすれば、嵐山（天龍寺）の流量を大きく増加させ、渡月橋を大きく越流して最悪の場合は渡月橋が落橋したり、さらに避難指示が出された下流の桂川右岸（羽束師地点）では堤防からの越流量が増大し、大規模な破堤氾濫による甚大な被害が生じていたことが懸念される。上記のことから、今回の日吉ダムの洪水調節操作は、全国的にも極めて顕著なダムの効果を示す事例と考えられる。

日吉ダムは1/100波形に対応する形で一定率・一定量放流の洪水調節操作が規定されている。しかしながら、亀岡を中心に河道の流下能力が十分確保されていないことから、中小洪水においても洪水調節効果が発揮されるように、150 m^3/s の一定量放流による暫定操作が規定されている。その結果、概ね1/20程度の洪水規模までは治

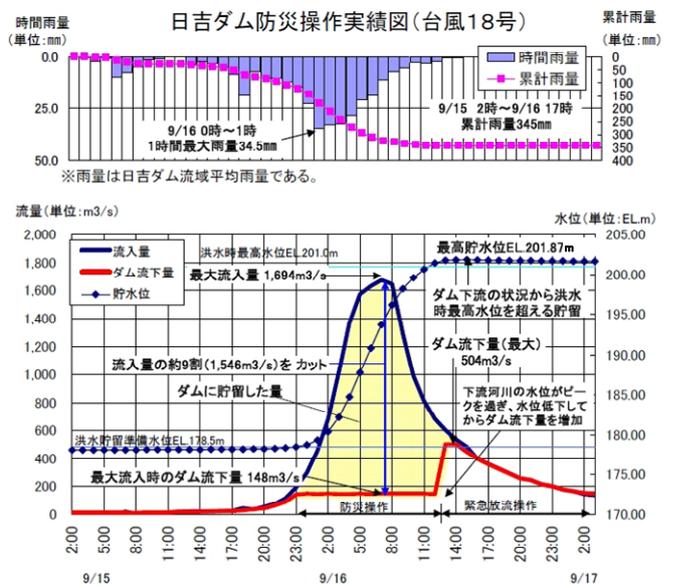


図15 日吉ダム洪水調節操作⁴⁾（日吉ダム管理開始以来、最大のダム流入量を記録）

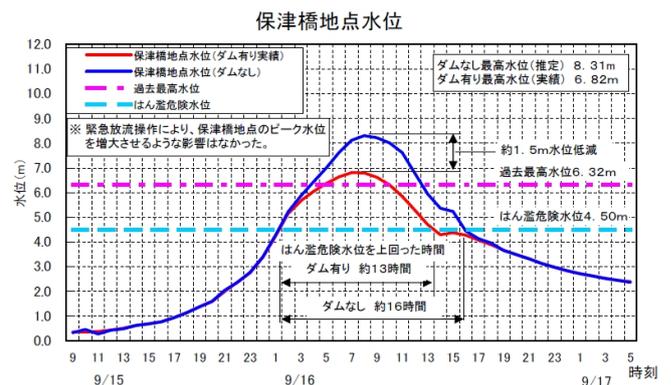


図16 日吉ダムの洪水調節効果⁴⁾

水効果がより優位となるが、これを超える規模の洪水時には治水容量を使い切ってしまうことが懸念される。今回の操作では、ダムの洪水調節容量を使い切り、洪水時最高水位（サーチャージ水位）に近づくことが予想されたため、9/16、12時過ぎに暫定操作を本則操作（最大放流量500 m^3/s ）に移行したものの、その時点では下流水

位はすでに低下してきており、被害の拡大はなかったと考えられる。これらの関係を日吉ダムを起点に亀岡～嵐山～桂川下流、さらには、これに順次合流してくる鴨川、宇治川、木津川、さらには、3川合流後の淀川本川の洪水ハイドログラフ（観測水位）を時間軸を合わせてプロットしたものが図17である。これを見ると、以下のような重要な点を確認することができる。

- ・今回の洪水は、鴨川を含めた桂川、宇治川、木津川の3川ではほぼ同時刻の洪水ピークをもたらしている
- ・3川の中では木津川の洪水流出がやや早い傾向にある（木津川では上流の高山ダムで4時以降最大1,100m³/sの洪水カットを行っており、この効果を考慮する必要がある）
- ・9月16日の桂川の各地点がピークを迎えた時刻（亀岡（7時）、嵐山（9時）、桂川下流（9時））には、日吉ダムは最大約1500m³/sカットの洪水軽減を実施中であり、これが下流水位の低下に大きく貢献した
- ・日吉ダムの本則操作（最大放流量500m³/s）への移行に伴い、桂川の各地点でわずかばかりの水位変化が認められるが、いずれも水位低下速度がやや遅くなった程度で大きな水位上昇は認められず、また、桂川下流（羽束師）ではほとんどその影響はない
- ・桂川下流（羽束師）は9月16日の4時から14時過ぎまで計画高水位（HWL7.86m）を上回る高水位が長時間継続した。また、上流の嵐山のピークである9時よりも早く水位上昇が起こっており、先行する木津川の流入や宇治川の流量増加と桂川自身の流量増加による3川合流点水位の上昇の影響を先行して受けていた可能性がある
- ・堤防から越流した鴨川左岸地区の住民から洪水が2回来たとの証言が寄せられたが、場合により、3川合流によってもたらされた影響による水位上昇（6-8時ごろ）と、桂川自身や鴨川からの流量増による水位上昇（9-12時ごろ）の両者が時間遅れを伴って発生した可能性も否定できない
- ・上記に関連して、日吉ダムの放流通知が実際の放流開始よりも6時間も早い6時頃に出されているが、この情報に接した下流住民が、2回目の水位上昇をダム放流の影響であると誤解した可能性があり、今後、放流通知の出し方（タイミングとダムから当該地点までの流下時間に関する説明）を再検討する必要がある

図15あるいは図16で明らかのように、日吉ダムの効果は極めて大きいと考えられる。これを、亀岡、嵐山、桂川下流の3地区に分けて整理すると以下のとおりである。

a) 亀岡

従来より浸水常襲地域であり、河道整備とともに保津峡の開削が要望されてきた地域である。今回の日吉ダムの洪水調節により浸水深が1m以上軽減されたことで、浸水が生じたエリアにおいてもその影響度が大きく異

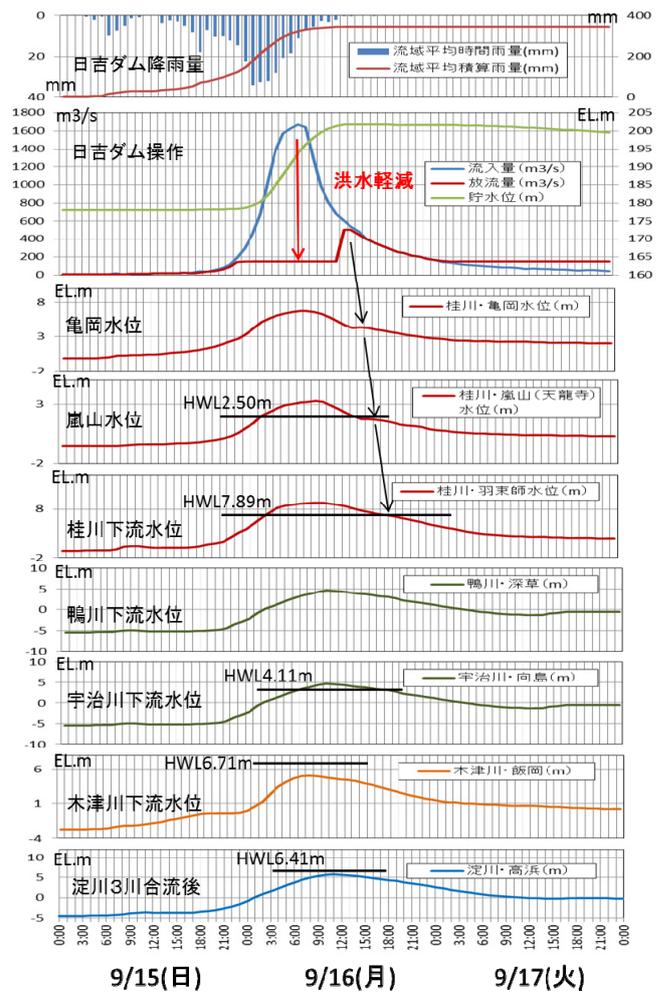


図17 日吉ダムの洪水調節と下流水位の関係

なったことが想定される。特に、ホームのすぐ下まで浸水した亀岡駅やその周辺地区では、さらに水位が上昇することで、家屋においては床上浸水の増加、鉄道や商業施設では電気系統の障害などが大きく発生し、復旧に長時間を要していた可能性がある。

b) 嵐山

嵐山地点では、2012年7月から、「桂川嵐山地区河川整備検討委員会」が組織され、治水目的の河道改修（河床掘削、河道拡幅、堤防嵩上げに加えて、固定堰の改築や撤去）と、景観の両立を図るべく検討が進められてきた。今回の洪水はこうした議論に大きな影響をもたらすと考えられる。既に国土交通省から発表されているように、今回の日吉ダムの洪水軽減効果により約0.5mの水位低下があったものと推定されている。今回の洪水では、渡月橋の橋桁にまで水位上昇しているのが確認されており、ダムが無ければ河川水位が上昇して桁に水面が当たることによって急激に上流水位が上昇し、渡月橋上流の左右岸から大きく越流し、今回は被害が限定的であった嵐山の中心地区である左岸側にも大きな影響が出ていたことが想定される。

また、図14に示したように、日吉ダムには大量の流木

が捕捉されており、仮にこれらの流木が下流に流れていた場合に、亀岡までの区間に所在する道路橋やJR山陰本線の鉄道橋梁、さらには、嵐山のシンボルである渡月橋に流木が集積し、さらなる上流水位の上昇をもたらすとともに、最悪の場合には落橋被害が生じた可能性も否定できない。このような流木によって洪水被害が拡大する事例は、平成16年の福井豪雨などでも顕著であり、上流ダム群が流木を捕捉することによる効果（副次的効果）は、この福井豪雨時の九頭竜川水系真名川ダムや東海（恵南）豪雨時の矢作ダムなどでも指摘されおり、今後、渡月橋に対する流木の影響の検証が必要と考えられる。

c) 桂川下流

桂川下流では、計画高水位を10時間も上回る高水位が発生し、広範囲に避難指示が出されるとともに、特に桂川右岸（羽束師地点）では重点的な水防活動が行われた。この地区で破堤氾濫が生じると1万戸を超える床上浸水が生じる可能性があったが、日吉ダムがなければ、堤防からの越流量が増大し、大規模な破堤氾濫による甚大な被害が生じていた可能性も否定できない。従って、日吉ダムの洪水軽減効果によって、この危機的な状況がどの程度救われたかについても定量的に検討が行われる必要がある。

日吉ダムは桂川上流に位置する集水面積270km²の多目的ダムであり、（独）水資源機構により平成10年4月より管理が行われている。9月18日、国土交通省近畿地方整備局と（独）水資源機構は共同で、39時間で345mmのダム流域平均雨量により、管理開始以来最大のダム流入量1,694m³/sを記録した旨発表している。ダムの計画は2日雨量349mmであるので、総雨量は計画にほぼ匹敵する量であったと考えられる。

ダム流域の降水量観測は1952年より流域平均降水量として日降水量が整理されている。（独）水資源機構から提供された資料によると、ダム流域内外含め建設前から現在まで28カ所の観測所で断続的に降水量観測が行われているが、時点毎に利用可能な観測所の資料を用いてティーセン法により流域平均降水量が求められている。2013年は台風18号の豪雨までの資料が含まれており、ここではこの資料をもとに日吉ダム流域平均降水量の確率評価を行う。なお、日界が9時のものと0時のものが混在しているが、多くの降雨事例はそのほとんどが2日間で終了していることおよび日吉ダムの計画が2日降水量で検討されていることから、ここでは2日降水量を対象とし、経年変化特性を評価するとともに年最大値(AMS)と閾値超過資料(POT)を用いた確率評価を行う。

a) 経年変化特性

図18に流域平均の2日降水量の年最大値の経年変化を示す。1960年ころにいくつか大きな雨を経験しているが、それ以降、今年の台風18号まで300mmを超えるものは見られない。この時系列についてMann-Kendall検定を行っ

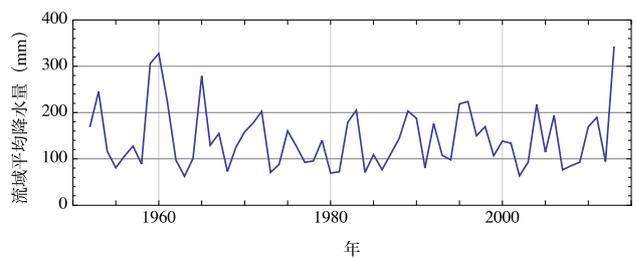


図18 日吉ダム流域平均年最大2日降水量の経年変化

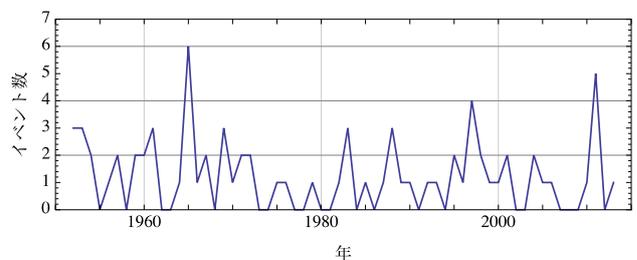


図19 2日降水量が100mmを超えるイベント数の経年変化

てみると、5%有意水準で独立で同一の確率分布に従うと判断されるが、若干、減少傾向である。

図19は流域平均の2日降水量が100mmを超えるイベントの年毎の回数の経年変化をプロットしたものである。全期間で見ると、年最大値と同様の結果が得られる。なお、アメダス観測が開始された1976年以降の資料のみを用いると、流域平均の2日降水量の年最大値、100mmを超えるイベントの回数とともに、5%有意水準で独立で同一の確率分布にしたがうと判断されるが、若干、増加傾向にある。

b) 年最大値系列(AMS)を用いた確率評価

図20に年最大2日降水量をグンベル確率紙にプロットし、あわせて極値分布であるグンベル分布、一般化極値分布(GEV)をL積率法により母数推定し当てはめた分布曲線を示す。SLSCはグンベル分布0.029、GEV0.027でGEVの方が若干適合度がよいと判断される。しかしながら、年最大値系列の中でも上位の資料が上限を有するような並びとなっている傾向とはGEVは異なり、リターンピリオドが大きくなるとより大きな確率水量を与えるTailの厚い分布曲線となっている。この原因としては、年最大値系列の中でも上位の資料が上限を有するような並びでプロットされているにもかかわらず、サンプルサイズの約1/4を占めている2日降水量約90mm以下の下位の資料がほぼ同様な値となっていて中上位の部分と傾向を異にし、上に凸の形状での当てはめになっているものと考えられる。

1/100確率水量はグンベル分布354mm(jackknife推定値も同値)、GEV389mm(jackknife推定値387mm)であり、グンベル分布およびGEVで今回の345mmを評価するとリターンピリオドは、それぞれ85年および56年となる。

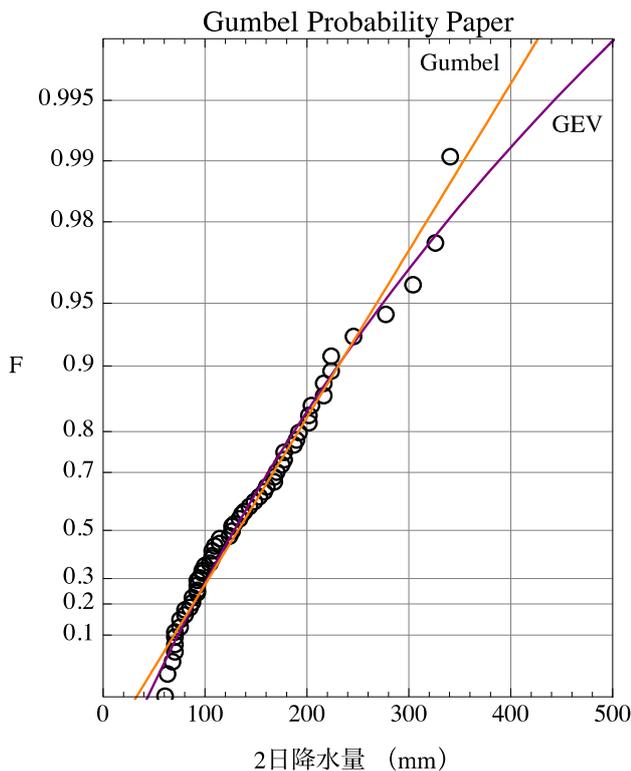


図20 年最大2日降水量の確率評価

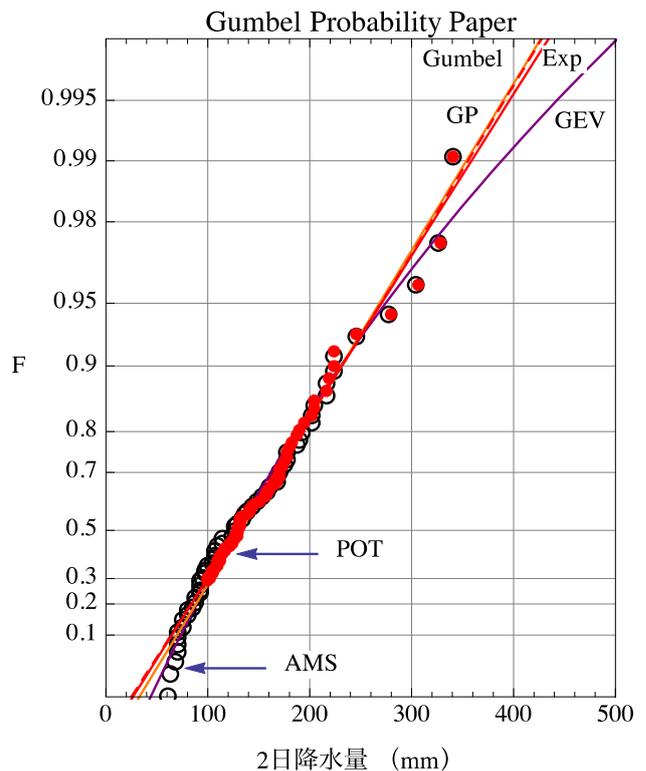


図21 AMSとPOTを用いた2日降水量の確率評価の比較

c) 閾値超過資料(POT)を用いた確率評価

前節に述べた2日降水量が約90mm以下の資料の影響を見るため、閾値を100mmとしてそれより大きな資料のみを抽出した資料を解析する。図21はPOTのプロットとそれに指数分布(Exp)と一般化パレート分布(GP)をフィットさせた分布曲線を図20に上書きしたものである。この際、資料と分布曲線それぞれを、AMSとPOTの関係

$$F(x) = \exp[-\lambda(1 - G(x))]$$

を用いて変換している。ここに、 $F(x)$: AMSの非超過確率、 $G(x)$: POTの非超過確率、 λ : POTの1年あたりの生起数である。POTは閾値以上のものしか抽出しないが、一般に閾値の大小により当てはめる確率分布の曲線が異なる。この資料の場合、閾値を徐々に下げていくと、100mm以上の中位の部分の資料とは特徴の異なる資料を含むことになり、結果的にExpの直線はより反時計回りに回転する。一方、GPの曲線(図中赤色破線)はGEVと同様、上に凸の曲線となっていく。

閾値の選定にはいくつかの手法が提案されているが、ここでは、標本平均超過関数により判断するとともに確率プロットも判断の参考にした。閾値100mmでの結果は図21の通りであり、POTを用いた結果はほぼグンベル分布の結果と同じである。閾値を95mm以下にしていくと徐々にGPがExpやグンベル分布から離れ、GEVに近づいていく。このように閾値を下げることは、洪水とは呼べないような出水の降水イベントを含めて判断することを

意味する。しかるに、その小規模イベントの含有の有無が外挿する部分の確率水文量に大きく影響するので、注意を要する。ここではAMSだけでなくPOTも併せて利用できたのでこのようなことが確認できたが、一般にAMSだけではこのようなことは判断できないので、POTによる解析も可能なように資料の蓄積が望まれる。

7. 由良川

京都府北部の由良川流域では、主として福知山市と舞鶴市において住宅の浸水、道路の損壊、農作物の被害などが広範囲にわたって発生した。これらの被害状況や浸水経路を把握するために、9月19日、21日、23日および25日に現地調査を行った。ここでは、まず降雨および河川水位の概要を述べ、ついで福知山市と舞鶴市の被災地区での調査結果について報告する。

a) 降水および河川水位の概要

図22は福知山における雨量と綾部、福知山および大川橋(河口から7km)の河川水位の変化を示している。福知山の降り始めからの総雨量は216mmで9月の平年値(189.2mm)を1日あまりで超えた。一方、水位は、綾部で7.45m、福知山で8.30mに達し、いずれも平成16年の台風第23号(以下、台風23号と呼ぶ)の時よりもそれぞれ57cm、75cm高い値を示した。とくに、福知山では計画高水位(7.74m)を約5時間にわたって超えており、予断を許さない状態であったことがわかる。福知山のピーク水位を流量に換算するとおおむね5500m³/s程度となり、台風23号を若干上回る出水規模であったと推察される。なお、大

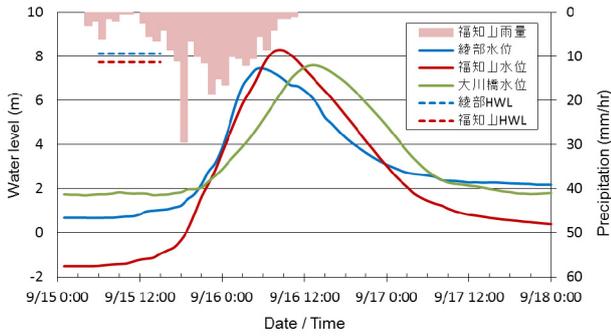


図22 福知山における雨量と各地点の水位変化 (気象庁, 国交省データより作成)



図23 戸田地区～土師町の主な浸水経路



図24 河川水の流入箇所, 民家浸水痕跡, 道路損壊(a)～(c): 9/23撮影)および堤防未整備箇所(d): 9/25撮影)

川橋の水位は7.60mで, 台風23号の時よりも50cm低い値を示した. 流量換算は約5300m³/sであり, 後述するように, 河口砂州を大きくフラッシュさせることとなった.

b) 浸水経路と被害の状況

(1) 福知山市戸田地区～土師町

由良川の土師川合流点から直上流の地区では多くの浸水被害が発生した. 浸水域は主に京都縦貫自動車道より西側の広域農道に沿って広がっている (図23). この地域の主な浸水形態は大きく3つに分けられる. すなわち, 戸田地区と土・川北地区の浸水は, 主として堤防未整備箇所からの流入 (図24 (a)) によるものであり, 戸田



(a) 音無瀬橋左岸

(b) 音無瀬橋右岸



(c) 安井地区の道路

(d) 浸水した家屋

図25 福知山市の浸水状況 (9月19日)



図26 大江町公庄～蓼原・新町地区～宮川合流点～大雲橋



図27 公庄地区の堤防未整備箇所, 民家の浸水痕跡(蓼原)および廃棄される家財道具(新町)(9/21撮影)



図28 宮川浸水状況, 歩道と欄干の損壊および大雲橋付近の民家 (9/21撮影)

地区は住宅地の床上浸水や道路損壊 (図24 (b), (c)), 土・川北地区は農地が被害に遭った. 浸水高さは大きいところで約2mにも達しており, 台風23号のときよりも40～50cm程度深かったとのことであった. 前田地区は上流の土・川北地区からの流れに加え, 同地区の堤防未整備箇所からの流入痕跡があり (図24



図29 志高地区～大川地区～八田地区



図30 志高地区の堤防未整備箇所，市役所分室の痕跡，防災行政無線(9/21撮影)



図31 河口砂州（国土交通省福知山河川国道事務所提供）

(d) , 双方の流れが広域農道で重なったことが氾濫痕跡から確認されている。浸水域は主に農地であり，南部の住宅地は高台にあるため浸水を逃れている。また，土師町は内水氾濫である。民家はほとんどなく，農地が冠水した。

図25 (a) , (b) に示すように，福知山市音無瀬橋周辺は，右岸側と左岸側の両方の河川敷に明確な洪水痕跡がみられた。福知山市安井地区周辺では，道路を氾濫水が流下した明瞭な痕跡が確認された（図25 (c)）。地元住民からのヒアリングより，山からの水による内水氾濫により，住宅の1階まで浸水被害が生じたことがわかった（図25 (d)）。

(2) 福知山市大江町

大江町では蓼原・新町地区の地盤が低く，浸水深は2mを優に超えるケースが少なくなかった。これらの地区の浸水は公庄地区の堤防未整備箇所からの流入によるもの（図27）で，近くの北近畿タンゴ鉄道(KTR)宮福線も一部浸水した。蓼原地区の浸水は2m62cmに達し，台風23号のときよりも約30cm高い（図27 (b)）。蓼原・新町地区には浸水した家財道具の集積所がいくつも設置されており，被害の大きさを示している（図27 (c)）。一方，宮川合流部の浸水は，由良川の水位が上昇したことによって宮川の水位をせき上げ，上流左岸側の堤防未整備箇所から田畑に流入したものである（図28 (a)）。これによって，の国道175号線の歩道と欄干が損壊した



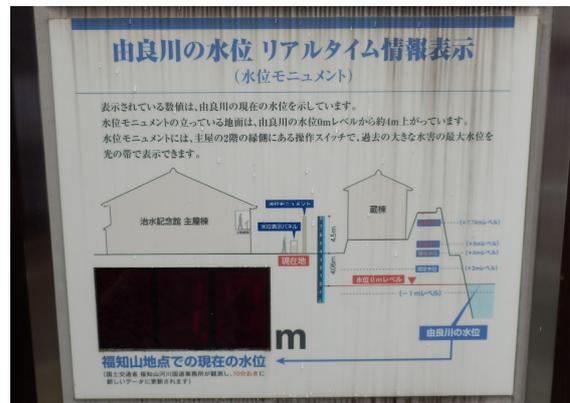
(a) 調査位置図



(b) 綾部市私市町右岸破堤箇所の仮復旧状況



(c) 綾部市私市町右岸破堤箇所の仮復旧状況



(d) 福知山市治水記念館の水位計

図32 由良川の堤防被害

(図28 (b)) . また，宮川より下流の大雲橋では水位は台風23号よりも低かったが，一部の家屋では高い浸水



図33 栗東市下古山地区の斜面崩壊

痕跡を残した(図28(c))。

(3) 舞鶴市志高地区および由良川河口付近

志高地区の浸水も堤防未整備箇所からの流入によるものである(図30(a))。市役所分室の浸水高さは台風23号よりも約60cm低く、大江町より上流の地区とは逆の傾向となっている(図30(b))。また、志高地区の直下流側の大川地区でも民家が床上浸水被害を被った。これらの地区では防災行政無線4子局が水没により使用不能となったが、これは制御箱が地上2m程度の位置にあり、約3mの浸水高さに対して不十分であったことにも起因している(図30(c))。また、由良川河口付近の八田地区でも1m以上の浸水となっており、堤防未整備箇所からの流入によるものである。ただし、浸水高は台風23号のときよりも約40cm低くなっている。

由良川には河口砂州が発達しているが、台風23号の際に左岸側の砂州は侵食・消滅し、その後右岸側のみが発達するようになった(図31(a))。今回の出水によって(図31(b))のように大きく侵食され、砂州の面積は出水前の約60%に減少した。河床の変動状況によっては左岸側の河岸侵食が懸念され、保全対策を考える必要がある。

c) 堤防被害

10月3日に、以下の3地点について由良川堤防の被害状況を調査した。図32(a)に調査位置を示す。

- ① 福知山市東荒河町, 和久市町, 下柳町
- ② 福知山市大江町常津

③ 綾部市私市町

調査地点②, ③は破堤箇所, 調査地点①は浸透による被害箇所について調査した。

- (1) 綾部市私市町右岸(由良川橋から200m~300m下流)

右岸堤防が約50m程度に渡って破堤していた。図32(b)は仮復旧後の破堤箇所の写真である。高さは約2.5m程度で、同等の高さの木の葉が流されていた等の周辺状況から、越流したものと考えられる。表法、裏法共に護岸を有しており、破堤箇所以外の護岸に目立った損傷は見られなかった。破堤に至った原因は、護岸に損傷があり堤体の侵食が進行した、浸透水による護岸と土の境界部などにおける内部侵食が考えられる。

- (2) 福知山市大江町常津(北近畿タンゴ宮福線公庄駅対岸の下流側)

右岸堤防の約200m程度に渡って、コンクリート護岸と共に堤防が浸食されていた。図32(c)に示すように当該箇所は新しい護岸と堤体の建設が行われていた。本箇所では越流しコンクリート護岸は堤内地に流され、道路柵を損壊させる被害も見られた。堤内地側は丘になっており、破堤の原因としては、表法の侵食、護岸と土の境界部などにおける内部侵食が考えられる。

- (3) 福知山市荒河町, 和久市町, 下柳町左岸(音無瀬橋~新音無瀬橋)

当該地は過去に繰り返し水害を受けた経験から、新しい堤防が整備されており越流を免れた。図32(d)に示

す下柳町の福知山市治水記念館に設置された水位計によると（10分間隔で自動計測，施設管理者が目視で計測）最高水位は8m程度で，堤防天端から1m以内まで水位が上昇した。

9月16日の午前9時頃から2時間程度，堤内地地盤から水が湧き出し，堤防間際の建物に浸水被害があった。越流は防がれたが，河川水位の上昇により動水勾配が大きくなり，堤内地に向かって土中に水の流れが生じたと考えられる。河川水位が6m程度になった際に水流は止まったと言う。これは，堤内地地盤面から2mの位置に対応する。湧き出した水は濁っていなかった事から，内部侵食はほとんど起こっていなかったと考えられる。

8. 栗東市下戸山

図33に栗東市下戸山地区の斜面崩壊の様子を示す。今回の豪雨により，安養寺山では下古山地区の南斜面だけではなく，北斜面や西斜面でも斜面崩壊が発生している。安養寺山は山裾からの高さは約100mであり，南斜面では3箇所斜面崩壊が発生しており，全て，山頂に近い高さから発生していた。図33 (b) に示す最も西の斜面崩壊による土砂が家屋に衝突し，1名の方が亡くなっている。斜面崩壊の大きさは，幅約20m×深さ約3mである。斜面崩壊は，9月15日23時45分ごろ発生し，2階建て家屋の1階に1名，2階に1名がいた。亡くなられたのは1階の1名であり，2階の1名は大きな怪我もなく無事であった。図33 (b) の重機の右に移っている家屋は，被災した家屋の2階部分である。2階家屋の損傷がそれほど大きくないこと等から，家屋に衝突した時点での土砂の流動深は，2.5m以下程度であったと考えられる。図33 (d) に示す斜面崩壊が最も規模が大きく，4箇所の斜面からの崩壊が一つに集まって山裾に流れてきている。被災現場付近の方の話によると，崩壊は少なくとも4回に分かれて発生しており，斜面崩壊発生箇所の数と一致している。1回目は，16日夜中0時以降であり，4回目は16日午前2時30分より前とのことである。16日の早朝の時点では，山裾の家屋は傾いておらず，その後の土砂の流出によって傾いたとのことであった。こちらの斜面崩壊は，山裾部分は幅約20m×深さ約3mであった。最も東の斜面崩壊は，五百井（いおい）神社の裏斜面で発生していた。この崩壊は，他の崩壊と比べて，幅は若干狭く，深さは若干深かった。

図2に示すように，栗東市周辺は，9月15日～16日の1時間最大雨量は30～40mm。積算降水量は300mm～350mmと大きな値であるが，他の地域と比べると特別に大きな値ではない。一方，期間内の降水量と9月の月降

水量平年値との比較を見ると，180～200%の領域に位置しており，最も値の大きい地域の一つとなっている。つまり，栗東市下戸山地区の斜面は，他の豪雨常襲地帯であれば既に崩壊している斜面であり，これまであまり強い雨を受けていなかったため，斜面崩壊が発生したと考えられる。また，安養寺山は，かつて，マンガンやウランの鉱山であり，西の斜面崩壊発生地点の山裾に坑道の入口がある。鉱山は1963年に閉鉱している。現時点では十分な情報は収集できていないが，鉱物採取時の廃土を安養寺山に捨てていたのであれば，比較的崩壊しやすい斜面条件となっていた可能性もある。

9. おわりに

2013年9月に発生した台風18号による京都・滋賀水害に対する災害調査の結果を報告した。本報告は速報版であり，各現象について今後，詳しく検討が行われる予定である。

謝辞

本調査では，京都市羽束師橋周辺，渡月橋周辺，亀岡市，福知山市，舞鶴市，栗東市下戸山地区の皆様には，被災からの復興にお忙しい中，親切にご対応頂き，被災時の詳細な情報をご提供頂いた。国土交通省近畿地方整備局及び各河川事務所，（独）水資源機構，京都府の各土木事務所，亀岡市環境政策課からは，多くの情報をご提供頂いた。寒地土木研究所の阿部孝章氏には，亀岡盆地の氾濫解析のサポートを頂いた。東京建設コンサルタント（株）の川合茂氏には有益な助言を賜った。また，土木学会水工学委員会水害対策小委員会調査費（建設技術研究所，パシフィックコンサルタンツ，アジア航測，日本工営，建設環境研究所），京都大学防災研究所突発災害調査費のサポートを受けて実施された。ここに記して，関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省気象庁：台風第18号による大雨，2013.
- 2) Hiroshi Takebayashi and Takeshi Okabe：Braided streams with vegetation presence under unsteady flow, Water Management, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing, Volume 162, Issue 3, pp. 189–198.
- 3) 国土交通省水質水文データベース，<http://www1.river.go.jp/>
- 4) （独）水資源機構より提供.
- 5) 亀岡市・木下卓氏より提供.