

## □ 頻発する局地的豪雨と都市で発生する水害について

京都大学 名誉教授 戸田圭一

### はじめに

気候変動の影響を受けて極端事象が増え、雨の降り方の時空間的な集中度が高まっています。激しい雨が狭いエリアで数時間続くようなケースが多発傾向にあり、台風や前線単独による豪雨だけでなく、両者が刺激しあって大量の雨を降らせたり、線状降水帯の発生により、局地的に時間雨量50mmを超過する「ゲリラ豪雨」と呼ばれる激しい雨が発生したりします。最近では雷の発生とあわせて「ゲリラ雷雨」と呼ばれるものも出てきています。

都市域が豪雨に襲われた際には、都市の複雑な構造の影響から、浸水被害が増大したり、場合によっては思いもかけぬ人的被害が発生したりすることもあります。ここでは主に、短時間の豪雨で発生する都市での水害を中心に、その特徴を取りまとめるとともに、その対応策について少しばかり考えていくこととしましょう。

### 1. 都市域での水害の特徴

都市域での水害の特徴ならびにその危険性をまとめると以下のとおりです。

#### (a) 内水氾濫

水害の発生形態はさまざまですが、大きくは、河川が溢れたり、堤防が決壊したりして生じる「外

水氾濫」と、市街地に降った雨（内水）を下水道やポンプなどでうまく排水できずに起こる「内水氾濫（雨水流出）」とに分けられます。

最近では、短時間の集中豪雨の増加により内水氾濫が頻発しています。とくに、大都市圏および周辺の低平地域では、この種の水害に悩まされているところが多いのが実情です。なお、都市域の中小河川は、下水道と同様に内水の処理を受け持つことも多いことから、内水氾濫は、規模の小さい都市河川からの氾濫を含めて考えてもよいかと思えます。

#### (b) 地下浸水

氾濫が発生すると、氾濫水は地盤が低い場所へと流下していきませんが、都市域の最深部に位置するのが地下街、地下鉄、地下室といった地下空間です。10年以上前から地下鉄や地下街への浸水が多々見られますが、過去にさかのぼると、1999年や2003年の福岡市での氾濫で大規模な地下浸水が発生しました。1999年のときは地下の飲食店の従業員が水死する事故も発生しています。

氾濫水が地下空間に流れ込むと、地上に比べて面積が小さいため、急激に水深が上昇します。その際には避難が重要となりますが、地上への逃げ口は階段であり、流れに逆らった避難は大変な困難を強いられます。実物大の階段模型を用いた体験型の避難実験によれば、地上の水深が30cmのときに階段に水が流入してくる状況が成人の避



図1 実物大の階段からの避難実験

難限界となります（図1参照）。また地下室からドアを押し開けて避難する事態もありえますが、幅80cmの実物大ドア模型の前面に水をはり、水圧に逆らってドアを押し開ける実験をしたところ、水深40cm程度で成人男性が、35cm程度で成人女性が、それぞれドアを開けるのが困難となりました（文献1）。子供や高齢者では、階段でもドアでも避難の厳しさはいっそう高まります。図2は、従来の知見（文献2）も含めて、地下空間での浸水時の通路、階段、ドア部での避難限界をまとめたものです。これからわかるように、地下浸水が

起こってからの避難はことのほか危険であり、最悪、死亡事故を招いてしまうことに十分な注意が必要です。

### (c) 車に関する水難事故

道路や鉄道の下をくぐるアンダーパスの地盤は、場所によっては周囲に比べてかなり低くなっており、氾濫が起きたときには氾濫水が集中します。図3に示す、水槽の横に実物大の車を設置した模型による体験型の避難実験によれば、車内が浸水していないという条件の下で、地上からおよそ80cmの水深時に成人男性が開閉式のドアを押し開けるのが困難となりました（文献3）。この結果は、車種を変えてスライドドアの車で走ってもほぼ同じでした（文献4）。アンダーパスでは浸水時には水深が1mを超すこともあり、実験結果は、氾濫時に誤って車が進入すれば、人は容易には脱出できないことを示しています。このような箇所はどの街にも存在しており、十分すぎるくらいの注意が必要です。

一方、氾濫流の勢いが強いときには、車が漂流する危険もあります。実験水路に縮尺1/10と

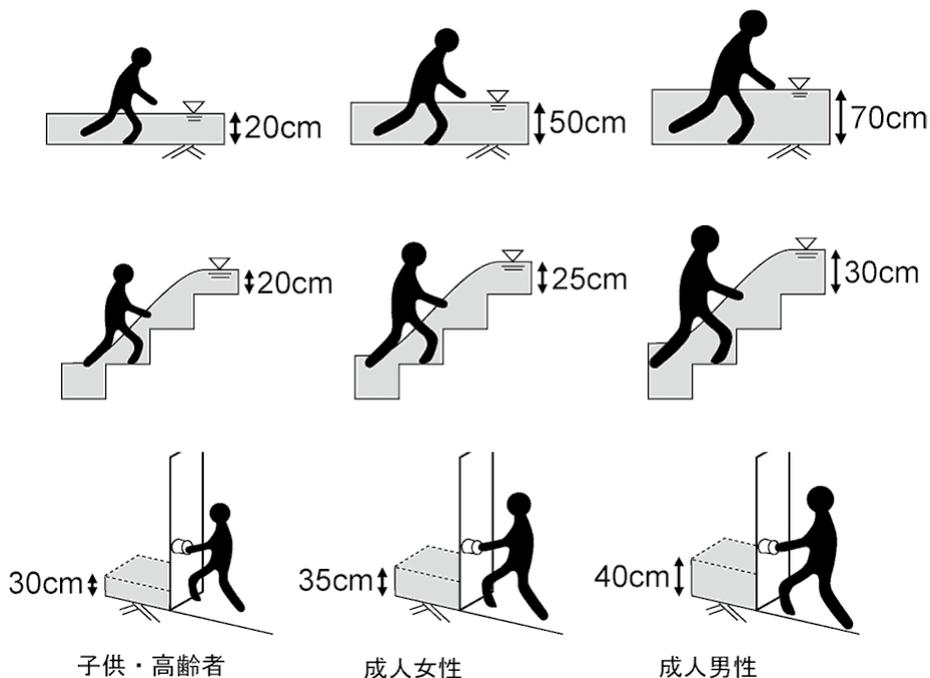


図2 地下空間浸水時の避難限界指標（平面部、階段部、地下室のドア）



図3 開閉式ドアの車からの避難実験

1/18の車模型を設置して水を流し、どの程度の流速と水深のときに車が流され始めるかを調べる実験(文献5)を行いました。車の種類や方向などさまざまな要因が影響しますが、実物値に換算して氾濫水の流速が毎秒2mを超え、かつ水深が0.5mを超えると、ほとんどの車が流される危険性が高いことがわかってきました。

また縮尺1/60程度のミニカーを用いて急傾斜の市街地模型で車の動きを実験で調べたところ、交差点付近で漂流した車が停止して衝突したり、道路終端で車が激しく重なりあったりする状況が現れました。津波だけでなく洪水氾濫でも、街の中で車が危険な状況になることは大いにありえます。

## 2. 水害の防止・軽減策

水害、とくに都市水害の防止・軽減にあたっては、氾濫のメカニズムを知り、水の動きをある程度、正確に予測したうえで、総合的な対策を進めていくことが大切です。あわせて、都市特有の水害への対応策も考えておく必要があります。

### (a) 都市水害の予測

都市の水害を予測するための、コンピュータによるシミュレーションモデルの開発が進んでいます。豪雨による氾濫の場合、洪水の発生と流下、氾濫、そして下水道による排水という水の動きを

連続的にとらえた全体モデルが作成されています。場合によっては地下街や地下鉄といった地下空間の浸水モデルも全体のモデルに組み込まれたりしています。このようなモデルを用いたシミュレーション解析により、豪雨によって、街のどこで、どの程度の浸水が発生するかを地下空間も含めて予測することが可能となります。そして、その結果をもとに、さまざまな対策を考えて被害の軽減を図っていきます。

### (b) 総合的な治水対策

都市域では、構造物などの施設による対策(ハード的対策)と施設によらない対策(ソフト的対策)を組み合わせた総合的な治水対策が基本となります。

ハード的対策として内水氾濫対策では、雨水を排除するための河道の整備、下水道の整備が重要であるのは言うまでもありませんが、下水道網やポンプの排水能力の向上だけでなく、一旦、雨水を貯留する大小さまざまな規模の雨水貯留施設や雨水浸透施設を併用することも必要かつ重要です。とくに高度に都市化した地域では、これから先、地上の空間を活用した治水施設の整備を進めていくのが難しいことから、地下空間を有効に活用した雨水放流施設、雨水貯留施設などを整備していくことが望まれます。

ソフト的対策としては、都市域での氾濫を想定した「都市水害ハザードマップ」を作成し、住民に氾濫危険箇所ならびに避難を含めた水害時の対処法を知らせておく必要があります。従来の洪水ハザードマップは比較的大きな河川の破堤による外水氾濫を対象としたものが主でしたが、都市域では、内水氾濫を対象とした浸水予測も外水氾濫とともに重要となります。またハザードマップには、浸水深だけでなく、流速の大きさもあわせて示してあることが望まれます。氾濫時の避難の難しさには、流速が大きく影響するからです。さらに、地下空間や道路・鉄道の下をくぐるアンダー

パスなど、浸水時の危険箇所を明示することも大切です。

一方で、氾濫に対する警戒情報や避難情報の伝達システムを整備することも重要な課題です。また、高齢者を含む一般市民や子供達への防災教育、コミュニティでの避難訓練といった地道な活動も決しておろそかにしてはいけません。

### (c) 地下浸水への対策

都市域での水難事故発生危険箇所である地下空間への対応を忘れてはなりません。

ハード的な対策としては、氾濫水の流入経路となる階段などの地下への入口に、止水板を設置したり、通路面よりも高くした段差（ステップ）を設置したりすることが重要です。地下駐車場入口の路面の盛り上げも同様です。地上の浸水深がこれらの高さまでであれば流入を防ぐことができますし、これらを越えた浸水が生じたとしても、浸水する量を減らし、かつ浸水を遅らせる効果が期待できます。

ソフト的な対策としては、地下への情報伝達と避難システムの整備が重要となります。地下街や地下鉄では、気象情報や河川情報および地上での状況が一元的に地下に伝達され、地下施設の管理者・関係者がいち早く対応できる体制づくりが望まれます。

ビルの地下室、地下駐車場は、床面積が小さく水位の上昇が速いので、浸水時の危険性はさらに深刻です。複数の避難経路や、建物の2階以上の場所への避難策などを考えておく必要があります。

### (d) 車に関係する事故への対策

まず、氾濫のシミュレーションによって道路の浸水状況を予測し、車が立ち往生したり、流されたりする危険性を明らかにすることが重要です。氾濫時にどこで、どのような交通障害が発生するか、またアンダーパスの浸水が発生するかどうか、事前に状況を予測することが大切です。

対策としては、ドライバーに氾濫時の車の運転の危険性を強く訴えることに加えて、氾濫時の速やかな交通規制が望まれます。さらに、大きな浸水が予想される箇所については、道路区間の一部嵩上げや、止水機能を兼ね備えたガードレールの設置などが考えられます。

鉄道・道路の下をくぐるアンダーパスについては、万一、浸水したときに誤って車が進入することがないように、水深をセンサーで感知して緊急信号を発したり、注意喚起のカーテンが降りたりするような対策を考えていく必要があるでしょう。また最悪の場合に備えて、ドライバーが窓ガラスをたたき割るための先の尖ったハンマーを準備しておくことも大切です。

## おわりに

これから先、ますます、極端な気象現象が増加することが懸念されます。各地で起こった、あるいは起こるかもしれない様々な問題を考えた災害シナリオを検討し、そして、それらをもとにした対応策の検討がいつそう重要となるでしょう。

特に人命を失う危険性があることから、「地下空間」と「車」にはとくに注意が必要であることを忘れてはなりません。

水害対策に対しては残念ながら特効薬はありません。住民も行政関係者も、水害に対して謙虚な姿勢で、「自助」「共助」「公助」のレベルアップに地道に努めていくことが強く望まれます。その努力の積み重ねと正しい知識が、いざという時の人命の確保や、被害の軽減につながることであります。

ここでは、私に関西大学ならびに京都大学の研究者と共同で実施した水害研究の成果を中心に紹介しました。共同研究者の石垣泰輔先生、尾崎平先生、馬場康之先生にこの場を借りて心より謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一：実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討、水工学論文集第50巻、土木学会水工学委員会、pp.583-588, 2006.
- 2) 亀井勇：台風に対して、天災人災 住まいの文化誌、ミサワホーム総合研究所、1984.
- 3) 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一：水没した自動車からの避難の難しさ、京都大学防災研究所年報第53号B、pp.553-559, 2010.
- 4) 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一：水没した自動車からの避難の難しさ（その2）、京都大学防災研究所年報第54号B、pp.465-470, 2011.
- 5) 戸田圭一・石垣泰輔・尾崎平・西田知洋・高垣裕彦：氾濫時の車の漂流に関する水理実験、河川技術論文集第18巻、土木学会水工学委員会河川部会、pp.499-504, 2012.