

豪雨による洪水・土石流の発生を想定した マルチ・ハザードと避難判断基準に関する研究

DEVELOPMENT OF AN EMERGENCY EVACUATION SYSTEM FOR COMPREHENSIVE DISASTER PREVENTION COUNTERMEASURES

田中耕司¹・金淵中¹・中島秀明²・中北英一³・養老伸介⁴・羽生雅則⁴

Kohji TANAKA, Yeonjoong KIM, Hideaki NAKASHIMA, Eiichi NAKAKITA,
Shinsuke YOROU and Masanori HANYU

¹正会員 博(工) (株) 建設技術研究所大阪本社水システム部 (〒545-0008 大阪市中央区道修町1-6-7)

²正会員 修(工) (株) 建設技術研究所大阪本社水システム部 (〒545-0008 大阪市中央区道修町1-6-7)

³正会員 工博 京都大学教授 防災研究所気象・水象災害研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁴非会員 福井県大野市 防災防犯課 (〒912-8666 福井県大野市天神町1番1号)

Multi-environment zones (i.e. areas with various geographical risk factors) have very high potential for disaster. In addition, recent natural disasters have occurred due to complex sets of factors according to the debris flow and urban inundation in multiple-environment zones of urban areas with high and low mountainous areas. In order to mitigate these disasters more effectively by a countermeasure, it is necessary to investigate what causes damage from natural disasters. However, it is very difficult to predict disasters in the foreseeable future as well as to analyze the cause of disasters. Therefore, emergency evacuation system should be established by feedback from past disasters. The objectives of this study are to estimate the risk evaluation index according to 2-D debris flow with 2-D urban inundation models, to determine the PMP (probable maximum precipitation) and run-off discharge due to the DAD (Depth-Area-Duration) analysis to estimate the external force condition. Finally, multi-hazard risk maps, evacuation plans and evacuation route maps combining both disasters according to the emergency evacuation scenario (EES) are proposed by a Geographic Information System (GIS).

Key Words : Debris flow, Urban inundation, Emergency evacuation scenario (EES)

1. はじめに

わが国は、国土の約7割が山地・丘陵地であり、急流河川が多いため、洪水や土石流による災害は、全国各地で毎年のように発生している。災害リスクの高い地域の特徴として、戦後から新たな宅地開発が進んだ地域が多く、山間部に多くの民家が建てられている。周辺を流れる河川は、洪水到達時間が短い中小河川であり、未整備区間が多く、治水安全度が計画規模に満たない地域が多い。近年、短時間での集中豪雨の増加、台風の襲来、気候変動に伴う気象条件の激化により、インフラ整備の計画目標を上回るような豪雨が発生し、洪水や土石流により多くの人命が失われている¹⁾。

一方で、気象情報や防災情報が自治体や防災機関に直ちに伝達され、インターネット、メール等を介し、住民にも即座に配信されるシステムも整備されてきた。しかし、基礎自治体、自主防災組織などの防災担当者は、そ

のような情報と地区単位での災害リスクといった情報を組み合わせ、活用できているとは言えない状況にある。すなわち、どの地区がどの程度のリスクがあるのかを事前に予測できれば、地域を限定した段階的な避難勧告を発令することや、リスクに応じた避難行動を指示することができるものと考えられる。

本研究で対象とした、福井県大野市は、山々に囲まれた盆地であり、市内を九頭竜川とその支川真名川、清滝川、支川木瓜川、赤根川、支川日詰川がほぼ平行に貫流している。対象地域は、急峻な山や斜面が、住宅地背後に位置し、周辺には中小河川が流れている。地域で指定されている避難所は、前面の河川の対岸にあり、避難時は河川を横断する必要がある。

これまでの地域防災計画では、浸水想定区域や土砂災害警戒区域等、災害要因別に危険度の情報を提供してきた²⁾。しかし、豪雨時は、複数の災害要因を考慮する必要がある。

本研究では、洪水氾濫解析モデルと土石流氾濫解析モデルを用いて、地域毎の災害リスクを評価し、地域毎の避難勧告の発令の優先順位や、避難判断や行動を事前に想定する方法について提案するものである。

2. 地域防災計画の課題

大野市は、市街地を赤根川、清滝川、真名川などが流れ、それぞれ九頭竜川に流入している。現在、九頭竜川は指定河川洪水予報の対象であり、赤根川も洪水注意報・警報の評価対象となっているが、それ以外の河川については、現在の河川情報の枠組みでは明確な評価がないのが実情である。

地域防災計画では、河川の基準水位に対する河川水位の変化に応じた避難勧告等を発令することが決められている。この基準をみると、「避難判断水位（あるいは氾濫危険水位）を超えると予想されるとき」や、「水位観測所が避難判断水位に到達したとき」といった記述があるが、以下のような問題がある。また、土砂災害では、気象庁からの発令や近隣の前兆現象を基本としており、避難のタイミングは土砂災害のみを対象としている。

- ・河川氾濫と土石流の避難勧告等の基準が別々に設定されている。
- ・洪水予測を実施していない中で、河川の水位を予想する手だてがない。
- ・土砂災害に対する避難勧告を受けて、避難を開始しても、周辺の河川が氾濫し避難経路が途絶している可能性がある。

このような問題は、住民への発令が難しくするばかりでなく、発令する時期を逸すれば、その発令の効力を失う可能性もある。中川ら³⁾⁴⁾は、土石流氾濫区域内の避難行動について考察し、避難することを意思決定するための付加的な時間の評価、気象条件や地形的な条件による避難行動の変化について組み込む必要があることを指摘している。また、高棟・椎葉・堀⁵⁾は、住民の避難行動をそのメンタルな意思決定を含めてシミュレーションする概念モデルの開発を試みている。そこで、次のような課題を解決することに帰着するのではないかと著者らは考えている。

- ・大野市を細分化した地域単位での災害リスクの開示
- ・災害リスクが発生する降雨量、河川水位の情報整理と開示

以上のことを検討することが、行政から住民への避難勧告発令の判断や、避難所の開設といった準備段階において効率性が向上するものと期待される。

3. 数値シミュレーションの適用

(1) 洪水氾濫シミュレーション

a) 氾濫モデルの概要

大野市内を貫流する複数の河川の浸水想定区域図⁶⁾は、250m四方あるいは100m四方による外水氾濫を対象に作成されている。本研究では、近年のゲリラ豪雨による雨水排水路（開水路）の溢水による内水被害や、福井豪雨の時の外水氾濫といった、複合的な氾濫現象を捉えるために、大野市街地を含む盆地を対象にして、25mメッシュの空間解像度を基本とした図-1に示す概念の内外水氾濫モデルを構築した。本研究においては、NILIMモデル⁷⁾を基本として、今回の目的に合わせて修正した。すなわち、図-1に示すように、河川からの外水氾濫、堤内地の家屋等での雨水排水とそれと接続する町中を張り巡らされた雨水排水幹線網からの溢水、雨水排水路と河川の接続部、土地利用毎の損失雨量を考慮した雨水貯留効果、といった一連の現象をシミュレートするものである。

b) 支配方程式

河道内の流れは、一次元不定流モデル⁷⁾を、氾濫流は、平面二次元不定流モデル⁷⁾を参考にして、水路からの溢水と降雨量を湧き出し項で考慮した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q_e + q_{up} \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uM) + \frac{\partial}{\partial y}(vM) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \tau_{bx} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uN) + \frac{\partial}{\partial y}(vN) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \tau_{by} \quad (3)$$

ここに、 h は水深、 q_e は降雨流出量（地下浸透等を考慮した有効降雨量）、 q_{up} は水路から単位面積当たりの溢水流量、 H は水位、 g は重力加速度、 ρ は水の密度、 $M=uh$ は x 方向流量フラックス、 $N=vh$ は y 方向流量フラックス、 u は x 方向流速、 v は y 方向流速、 n は土地利用や建物占有率を考慮した粗度係数、 x は x 方向距離、 y は y 方向距離、 t は時間である。

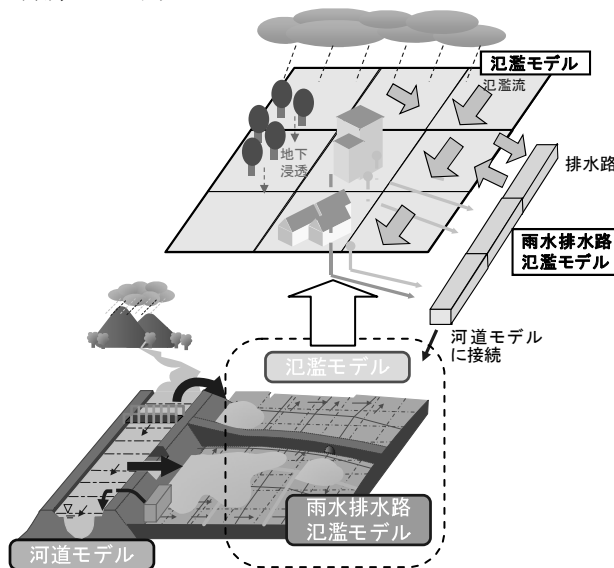


図-1 内外水氾濫モデルの概念図

つぎに、大野市内の雨水排水路網については、diffusion wave近似を行った以下の支配方程式⁷⁾を用いた。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in} \quad (4)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_0 - S_f = S_0 - \left(\frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}}} + \frac{k}{2gL} \right) \frac{Q^2}{A^2} \quad (5)$$

ここに、 A は流水断面積、 Q は流量、 q_{in} は横流入量（＝ $q_{sew}-q_{up}$ ）、 q_{sew} は地上から排水路への単位面積当たりの雨水排水流量、 n は粗度係数、 R は径深、 S_0 は水路床勾配、 h は水深、 L は水路長、 S_f は摩擦損失勾配である。

式(1)中の q_e については、建物とそれ以外に分類し、雨水流出を簡易的にモデル化した。建物については、メッシュ格子内の屋根に降った雨水を排水路に直接流入させた。建物以外の地表面流出について、土地利用に応じた浸透による降雨損失⁸⁾を考慮したモデルを適用した。

$$q_e = \begin{cases} \lambda r \\ (1-\lambda)r_e \end{cases} \quad (6)$$

ここに、 q_e は単位面積当たりの降雨流出量、 λ はメッシュに対する屋根面積の比率、 r は降雨量、 r_e は有効降雨量である。

(2) 土石流氾濫シミュレーション

a) 氾濫モデルの概要

土石流の氾濫シミュレーションは、降水による流水によって溪流、山腹等が浸食されて、土砂を多量に含む流れを支配方程式から数値解析を行うものである⁹⁾。

b) 支配方程式

土石流発生時における土砂の堆積過程を計算するため水深方向(z 方向)に平均化した2次元モデルを採用する。以下に数値解析で用いた基礎式について記す。解析に用いた基礎式は運動量方程式、連続式、底面せん断力式、侵食・堆積速度式および河床位方程式で構成される。

x 方向、および y 方向の運動量方程式は式(7)、および式(8)で示される。底面せん断力は、土石流、掃流状集合流動、および乱流を考慮した高橋・中川¹⁰⁾のモデルを用いた。

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vM)}{\partial y} &= gh \sin \theta_{bx0} \\ - gh \cos \theta_{bx0} \frac{\partial(z_b + h)}{\partial x} - (gh - \gamma gh) \left(\sin \theta_{bx0} - \cos \theta_{bx0} \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vN)}{\partial y} &= gh \sin \theta_{by0} \\ - gh \cos \theta_{by0} \frac{\partial(z_b + h)}{\partial y} - (gh - \gamma gh) \left(\sin \theta_{by0} - \cos \theta_{by0} \frac{\partial z_b}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho_T} \end{aligned} \quad (8)$$

ここに $M=uh$ 、 $N=vh$ であり、 u 、 v は x 方向および y 方向流

速、 β は運動量補正係数で石礫型土石流ではほぼ1.25である。また τ_{bx} 、 τ_{by} は x 方向および y 方向の底面せん断力である。

全容積(液相+固相)の連続式は固相および液相の影響を考慮して、以下の式(9)、(10)、(11)、および(12)で示される。なお、式(10)は粗粒分の連続式、式(11)は細粒分の連続式、式(12)は液相の影響を考慮した連続式を示している。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = i_b \quad (9)$$

$$\frac{\partial(C_L h)}{\partial t} + \frac{\partial(C_L M)}{\partial x} + \frac{\partial(C_L N)}{\partial y} = \begin{cases} i_b C_{*L} & (i_b \geq 0) \\ i_b C_{*DL} & (i_b < 0) \end{cases} \quad (10)$$

$$\frac{\partial\{(1-C_L)C_F h\}}{\partial t} + \frac{\partial\{(1-C_L)C_F M\}}{\partial x} + \frac{\partial\{(1-C_L)C_F N\}}{\partial y} =$$

$$\begin{cases} i_b(1-C_{*L})C_F & (i_b \geq 0, \text{侵食}) \\ i_b(1-C_{*DL})C_F & (i_b < 0, \text{堆積}) \end{cases} \quad (11)$$

$$\frac{\partial\{(1-C_L)(1-C_F)h\}}{\partial t} + \frac{\partial\{(1-C_L)(1-C_F)M\}}{\partial x} + \frac{\partial\{(1-C_L)(1-C_F)N\}}{\partial y} =$$

$$\begin{cases} i_b(1-C_{*L})(1-C_F) & (i_b \geq 0, \text{侵食}) \\ i_b(1-C_{*DL})(1-C_F) & (i_b < 0, \text{堆積}) \end{cases} \quad (12)$$

ここに、 C_{*DL} は砂礫が土石流から離脱して堆積する場合の粗粒子濃度、 C_F は間隙流体中の細粒分の容積濃度、 C_{*F} は堆積層中の細粒分の濃度、 θ_{bx0} 、 θ_{by0} は x 方向および y 方向の河床勾配、 ρ_T は土石流の密度($\rho_T = \sigma C_L + (1-C_L)\rho_w$ 、 σ は土粒子の密度、 ρ_w は水の密度)、 i_b は侵食・堆積速度である。

河床位の変化を表す方程式は、高橋¹¹⁾によって与えられた侵食・堆積速度を用いて式(13)で表される。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + i_b = 0 \quad (13)$$

(3) 外力条件の設定

今後治水計画規模を越えるような豪雨が襲来する可能性は否定できない。そこで、福井県大野市周辺の平成15年～平成25年までの全国合成レーダ雨量から、流域形状や大野市の形状で降雨継続時間毎の最大雨域を探索¹²⁾した。抽出した局地的豪雨や前線性豪雨に限っては、大野市でも発生する可能性がある。そこで、抽出した降雨サンプルから時間雨量の発生頻度を集計した結果を図-2に示す。大野市近隣では超過確率50年の時間雨量を豪雨が過去10年間で30回も発生し、200年確率規模についても数回程度であるが、発生していることがわかった。これは、抽出した豪雨が大野市に襲来した場合、計画規模の外力(超過確率50年相当)で作成されている浸水想定区

域よりも拡大する可能性があることを示唆している。

なお、福井県降雨強度式（奥越山間部）¹³⁾における200年確率の24時間雨量544mmは、最大雨域を探索した結果である24時間最大雨量564mmと概ね一致している。以上の周辺の発生した最大雨域から中央集中型波形を設定し、この降雨量から合成合理式で算定した上流端上流域の流量を与えて氾濫解析を行った。

4. 地域別災害リスクの評価

(1) 洪水氾濫リスク

探索された面積雨量に対して、洪水氾濫シミュレーションを実施し、その浸水状況を評価（最大雨域移動評価）¹²⁾した。図-3には、最大雨域評価による洪水氾濫シミュレーション結果の最大浸水深図を示す。各河川からの外水氾濫により、河川沿いで浸水が大きくなっている。

得られた洪水氾濫シミュレーション結果より、本研究では、瀧等の研究¹⁴⁾を参考に地区別にリスクを評価した。すなわち、基盤地図情報からメッシュ内の家屋宅盤

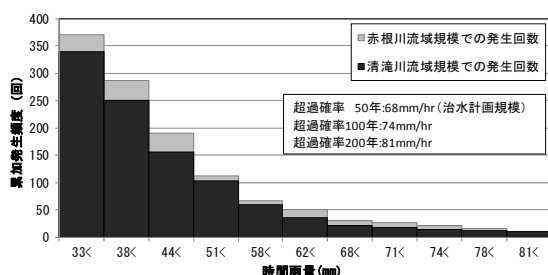


図-2 1時間雨量の発生頻度 (集中豪雨・前線性)

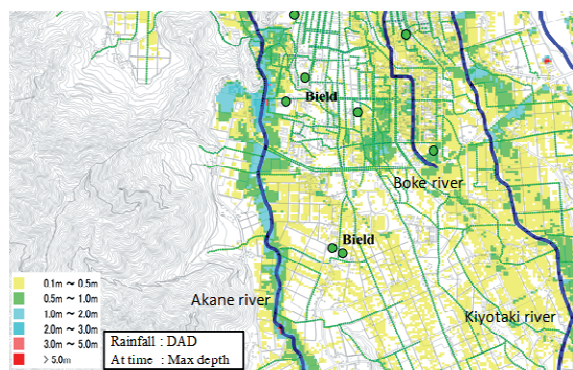


図-3 最大浸水深図 (最大雨域評価)

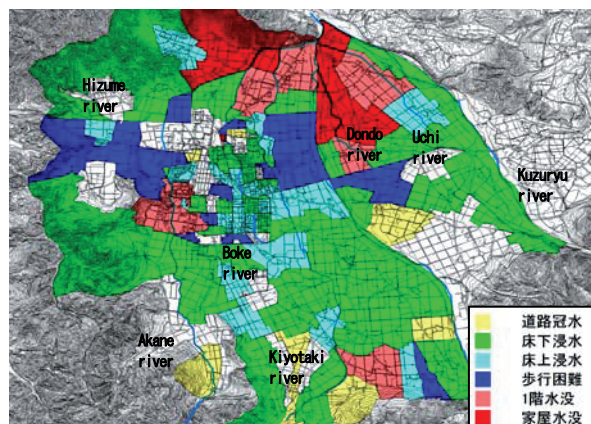


図-4 地区別の最大氾濫リスク (最大雨域評価)

高と道路高を識別し、地区内の最低地盤高に対して浸水深¹⁵⁾、流速および流体力の評価¹⁶⁾¹⁷⁾を行った。

図-4には、最大雨量（総雨量492mm/24hr, 最大時間雨量134mm）での氾濫リスクを評価したものを示す。

これによれば、対象範囲で人的リスクが発生する可能性がある地区は複数河川の合流点の周辺で発生することがわかる。これは今回事例として示した特別警報を越えるような降雨・洪水の場合、警戒すべき区域であることを示唆するものである。一方で、真名川の支川である清滝川、赤根川、木瓜川、日詰川においては、越水破堤により浸水被害の程度が甚大であることが推測される。さらに、最大級の降雨が大野市を襲来する際には、事前に特別警報の発表や、気象予報で大方の外力を把握することができる。このような事態に備えて、最も警戒しかつ避難所に避難をすべき地域や、垂直避難でも問題が発生しない地域といった、色分けをすることで降雨量に応じた事前の対応が行政と住民が対応方法を共有できる。

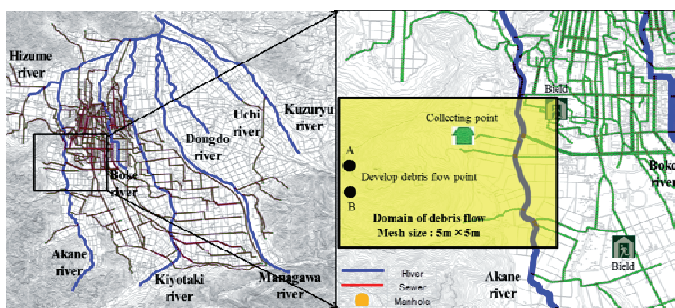


図-5 土石流氾濫シミュレーション対象箇所および周辺

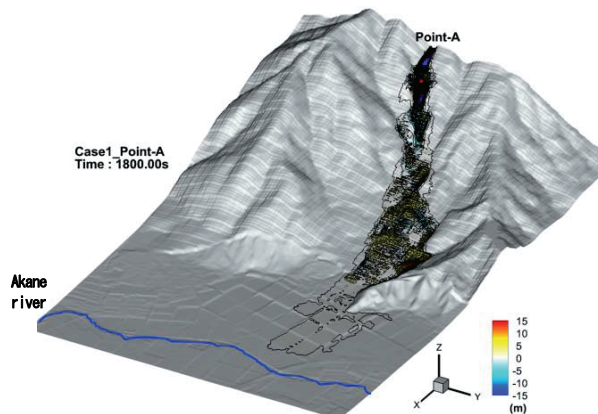


図-6 土石流発生から民家までの到達状況

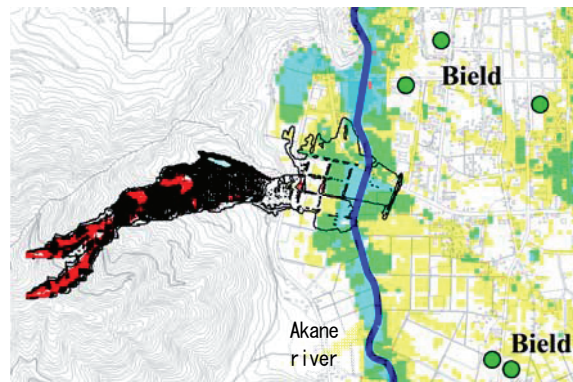


図-7 土石流発生時の周辺の浸水状況

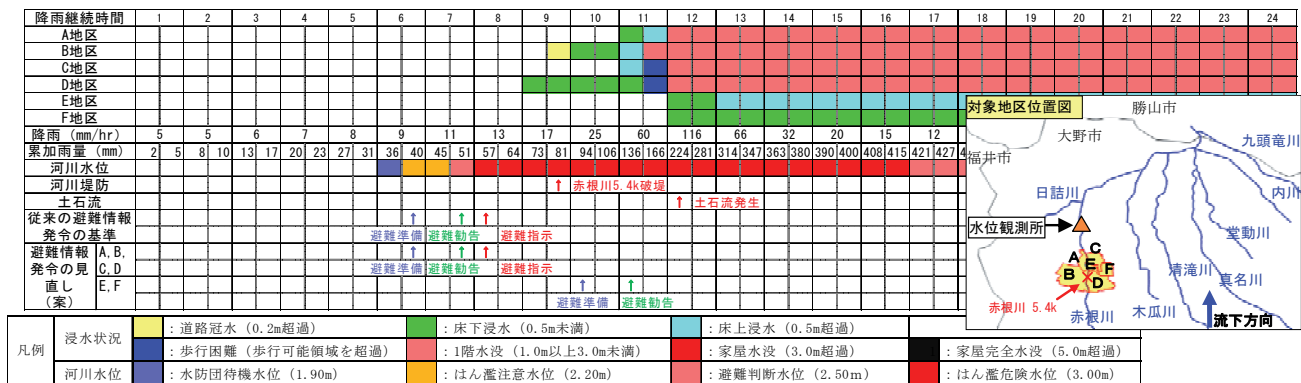


図-8 赤根川沿いの人的被害の発生が予想される地区における浸水被害の時間的変化

表-1 洪水・土石流氾濫を考慮した避難情報案

分類	発令時の状況	実施の基準	住民に求める行動
避難準備 (災害時用 保護者避難) 情報	・災害時要援護者等、特に避難行動に時間を要する者が避難行動を開始しなければならない段階であり、大雨、洪水警報が発表される等、人的被害の発生する可能性が高まった状況	・観測所水位が一定時間後に避難判断水位に到達すると予想されるとき ・累加雨量120mmに達したとき	・災害時要援護者等、特に避難行動に時間を要する者は、計画された避難場所への避難行動を開始(避難支援者は支援行動を開始) ・上記以外の者は、家族等との連絡、非常用持出品の用意等、避難準備を開始
避難勧告	・通常の避難行動ができる者が避難行動を開始しなければならない段階であり、土砂災害警戒情報が発表される等、人的被害の発生する可能性が明らかに高まった状況	・観測所水位が避難判断水位に到達したとき ・土砂災害警戒情報が発令されたとき ・累加雨量140mmに達したとき	・通常の避難行動ができる者は、計画された避難場所等への避難行動を開始 ・河川管理施設の大規模異常(堤防本体の亀裂、大規模漏水等)を確認等
避難指示	・前兆現象の発生や、現在の切迫した状況から、人的被害の発生する危険性が非常に高いと判断された状況 ・堤防の隣接地等、地域の特性等から人的被害の発生する危険性が非常に高いと判断された状況 ・人的被害の発生した状況	・観測所水位がはん濫危険水位に到達したとき ・累加雨量150mmに達したとき ・近隣で土砂災害が発生 ・近隣で土砂移動現象、前兆現象(山鳴り、立木の流出、斜面の亀裂等)の発見等	・避難勧告等の発令後避難中の住民は、確実な避難行動を直ちに完了 ・未だ避難していない対象住民は、周辺が冠水している可能性があるため、建物の2階、かつできるだけ溪流の反対側に身を寄せる。

このような氾濫特性を踏まえると、地域毎に河川水位、雨量などの基礎情報を活用して、避難準備情報や避難勧告等を発令することが行政と住民の判断の効率性を向上させることが期待できる。

(2) 土石流氾濫リスク

対象とした地域は、図-5に示すように赤根川沿いにある土砂災害危険箇所である。最新の土砂災害警戒区域等の土砂災害危険箇所に対して、土石流氾濫シミュレーションを実施し、土石流氾濫状況を評価した。

図-6には、最大雨域評価による降雨を外力とした土石流氾濫シミュレーション結果を示す。山地部から土石流が発生し、地区の住居に到達するまでの時間は、概ね3分前後となった。

さらに対象地区周辺において土石流発生時の浸水状況を図-7に示す。これによれば、赤根川沿いの状況は、周辺が浸水し、避難所に行くのが不可能となっている。指定された場所に避難するには赤根川を渡る必要があるため、この地区における避難行動は、赤根川が浸水する前に実施する必要がある。

5. 避難基準の提案

前章では、各地区における最大浸水深や流速から、浸水被害のリスクを評価した。整理したマップは、外力に対して最大浸水深や最大流速を考慮し、地区毎の状態を想定し作成したものであり、浸水被害を警戒するための情報として活用することが期待される。しかしながら、浸水過程といった時間軸上での情報ではないため、避難

のタイミングなど時間的浸水や土石流の流下に関する情報が不十分である。そこで、先に示した地区毎のリスクマップから最大降雨で発生する可能性のある地区を対象に、どのタイミングで行政から住民へ避難準備情報、避難勧告等を発令すべきかを検討した。この検討は、降雨波形や河川水位の変化によって左右されるため、最大級の豪雨が襲来すると想定し、行政から住民・自主防災組織に対して発令する地区および時期を検討したものである。ここでは、この最大級豪雨の事例から考察を行った。

図-8は、赤根川沿いのA～F地区における浸水深の時間的変化と、それに対する近傍の水位観測所の水位、雨量を示している。これらの地区では、1階水没が最大の浸水深であり、直接的な人的被害はないという想定のもとで、発令のタイミングと発令の優先順位を図-8に示すように設定した。これによれば、家屋1階水没の発生する4地区では、立ち退き避難を優先すべき地区として指定した。赤根川の氾濫によって急激にリスクが高まるため、近傍赤根川の基準水位に達した際に優先的に避難準備情報および避難勧告を発令する。さらに、A,B地区においては、背後斜面からの土砂災害の危険性があるため、安全に避難するためにも、赤根川が浸水する前に避難を行うようにする。一方で、赤根川対岸の周辺の地区においては床上浸水程度であるため、その順位を下げている。また、周辺地区の住民が、もし逃げ遅れたとき、2階以上の建物に一時的に避難することも視野に入れた避難勧告を発令する必要性もあると考えられる。土石流が発生する可能性の高くなる土砂災害警戒情報が発令されると

予想される時期は、累加雨量200mm程度に達する頃であり、また赤根川が氾濫し、避難経路が浸水によって通行できなくなる時期を踏まえると、土砂災害に対しては累加雨量が120mm程度で避難準備情報を発令することが適切であると考えられる。さらにA,B地区から避難所までの距離が2km程度であり、徒歩で30分程度を要することから、避難勧告を累加雨量140mm程度で発令することとした。

表-1に土砂災害の危険のある地域に対しての避難情報を示す。ここで対象にした人的被害の発生が想定される地区については、避難が困難となる状態を想定し、事前に避難準備、避難勧告を発令することとし、予想される雨量や河川水位の状況を踏まえて、各河川の氾濫危険水位に達したときに、避難指示を発令するものとした。一方で、この地区においては、予想される降雨規模によっては、逃げ遅れた際の垂直避難は避けなければならない地区であることから、避難勧告・指示の発令は他の地区よりも優先的に行う必要があると考えられる。

以上の検討での整理は、最大級豪雨を想定したものであるが、累加雨量毎、時間雨量毎、地区毎といったリスクを評価したマップを作成することが必要と考えられる。すなわち、気象予報や降雨予報値、河川情報と合わせて利用すれば、避難準備情報、避難勧告や指示の発令とそれともなう避難所の開設、道路冠水状況などを想定した様々な対応を支援できることが期待できる。

6. まとめ

本研究では、洪水氾濫解析モデルと土石流氾濫解析モデルを適用し、豪雨時の災害リスクを地区別に評価した。このモデルに与えた外力は、従来の治水計画の対象規模を上回る最大雨域移動評価による最大雨量として、氾濫解析を行った。その結果を分析した結果、最大級の豪雨が発生した場合、複数の災害要因を考慮し、地域毎の災害リスクに応じた避難準備情報や避難勧告等の発令の優先順位や時期を設定することができることを示した。今回の検討においては、シナリオの事例に対する考察を行ったが、外力の規模や災害要因に応じた行政の対応をシミュレートすることで、より効率的な避難準備情報や避難勧告等の発令について議論することが可能であると考えられる。一方で、このようなリスク情報をコミュニケーションツールとして、個々の地域に応じた地区防災計画に活用出来ると考える。これにより、住民側も自主的な取り組みが促進されること、地区防災計画¹⁸⁾といったものを作成していくことを契機として、日常的な防災を実現していくことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：平成25年の水害・土砂災害の概要，2014.1
- 2) 大野市：大野市地域防災計画，平成22年3月更新
<http://www.city.ono.fukui.jp/page/bousai/bousaikaikaku.html>
- 3) 高橋保，中川一，東山基：洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究，京都大学防災研究所年報，第32号，B-2，pp.757-780，1989.4
- 4) 中川一，高橋保，澤田豊明，石橋晃睦：豪雨性表層崩壊に起因する土石流の規模予測とGISを用いた避難行動の解析，水工学論文集，第42巻，pp.325-330，1998.2
- 5) 高埴琢馬，椎葉充晴，堀智晴：水害避難行動のマイクロモデルシミュレーションと制御に関する研究，土木学会論文集 No.509/II-30，pp.15-25，1995.2
- 6) 福井県土木部：浸水想定区域図
<http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/sabo/shinsuisoutei.html>
- 7) 国土技術政策総合研究所 水害研究室：NILIM2.0都市域氾濫解析モデル マニュアル，2008.7
- 8) 栗城稔・末次忠司・海野仁・田中義人・小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証ー，建設省土木研究所資料 No.3400，1996.2.
- 9) Kim Y.J：(2013b). Study on hydraulic characteristics of debris flow breakers and sabo dams with a flap. Ph.D. thesis. Kyoto University the Japan.
- 10) 高橋保，中川一，原田達夫：混合粒径材料からなる溪床侵食型土石流の予測，京都大学防災研究所年報，第33号，B-2，pp.443-456，1990.4
- 11) 高橋保：研究者のための土砂流出現象と土砂害対策，近未来社，2006.
- 12) 坂井広正・田中耕司・中北英一・野稻誠・宮本哲明：レーダ雨量を用いたDAD解析と集中豪雨の発生頻度分析，河川技術論文集Vol.19，pp.301-306，2013.6
- 13) 福井県：福井県の降雨強度式（HP），
<http://www.pref.fukui.jp/doc/kasen/seibi/kouukyoudoshiki.html>
- 14) 瀧健太郎，松田哲裕，鶴飼絵美，小笠原豊，西脇照毅，中谷恵剛：中小河川群の氾濫域における減災型治水システムの設計，河川技術論文集，第16巻，pp.477-482，2010.
- 15) 佐藤智・今村文彦・首藤伸夫：洪水氾濫の数値解析および家屋被害についてー8610号台風による吉田川の場合ー，水理講演会論文集，Vol.33，pp.331-336，1989.
- 16) 河田恵昭・中川一：三隅川の洪水災害ー洪水氾濫と家屋の被害ー，京都大学防災研究所年報，第27号B-2,1894.
- 17) 利根川研究会：利根川の洪水，1995.
- 18) 内閣府（防災担当）：地区防災計画ガイドライン，2014.3

(2015. 4. 3受付)