

信濃川上中域を対象としたリアルタイム洪水リスク評価の試み

長岡工業高等専門学校 非会員 太田公輔
長岡工業高等専門学校 正会員 山本隆広

1. はじめに

現在、多くの中小河川では河川整備率が低いという現実があり、全国的に豪雨による中小河川の洪水氾濫が多く見受けられる。新潟県においても平成 23 年 7 月に起きた新潟・福島豪雨（これ以降 H23 豪雨と略す）による中小河川の同時多発的な洪水氾濫により大きな被害をもたらした。こういった中小河川などで同時多発的に発生する洪水氾濫やそれによる被害をあらかじめ想定し、水防活動の優先度や緊急性を水防組織がリアルタイムの危険度の情報を認識して活動していくことが被害軽減になっていくと考えられる。星野ら¹⁾は現在の河川流量と過去の長期間の河川流量の統計関係から洪水危険度指標（Flood Hazard Index, これ以降 FHI と略す）を提案した。この FHI は気象庁²⁾が 2017 年度から運用を開始した洪水警報の危険度分布と同様に河川流量に着目して評価している。しかしながら、現行の評価の危険度が高まったとしても人や施設などに被害を被るものがなければ水害は発生しないといえる。そのため水害発生によるリスクを評価するためには洪水による被害に着目する必要があると考えられる。したがって本研究では FHI と人への物理的被害を用いて計算した洪水リスク指標を定め、洪水氾濫による被害の予測を行い水害対応の必要な地域を明確化させることを目的とした。この洪水リスクは河川流量と人口分布、地形情報を与えることによって計算ができ、人口分布と地形情報は地点ごとのデータが決まっているため、リアルタイムで観測された河川流量を与えることによってリアルタイムの洪水リスクを評価することができる。本研究では信濃川上中流域を対象に過去の気象データから洪水リスクを計算し、水害対応の方法として有効なものになり得るか検討を行い、今後の課題についての検討も行った。

2. 対象流域と使用データ

対象流域は信濃川上中流域（10,488km²）とし、4分の1地域メッシュ（水平解像度が約 250 m）の分布型水文モデルをもとに解析を行った。分布型水文モデルの擬河道網（全 162,736 グリッド）の中で上流域面積が 1 km²以上のグリッドを実河川（28,900 グリッド）とした。

使用データは分布型水文モデルを駆動させるために必要な気象データとして、気象庁の地域気象観測システム

「Automated Meteorological Data Acquisition System」（これ以降 AMeDAS と略す）の降水、気温、日照時間の 1 時間値を用いた。データの期間は 1980 年から 2010 年の 31 年間である。さらに国土交通省水管理・国土保全局が管理している降水の 1 時間値も用いた。図-1 には各データに用いた AMeDAS 観測所の位置と観測データの種類を示す。また、人口分布データは、平成 22 年に行われた国勢調査の男女別人口総数 500 m メッシュのデータを用いた。ただし、今回解析に用いる分布型水文モデルの水平解像度が 250 m メッシュであるため、500 m メッシュの解像度データを水平解像度が 250 m メッシュになるように変更して用いた。

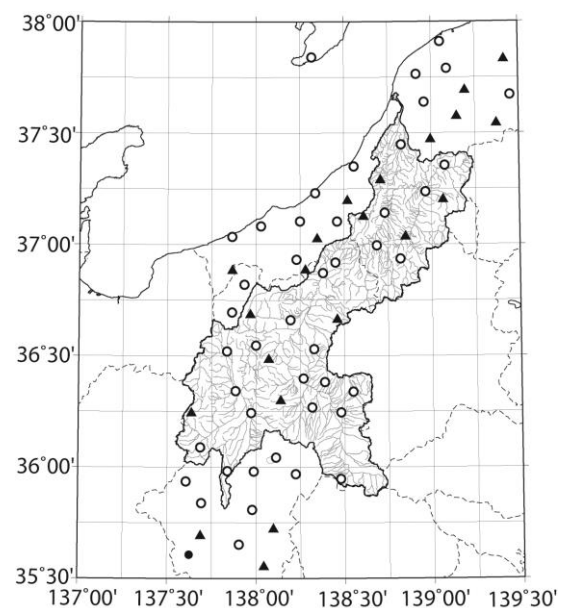


図-1 使用した AMeDAS 観測所の位置と種類
太線は信濃川上中流域界を示しており、流域の最下流点は大河津分水路とする。○印は降水、気温、日照時間を観測している観測所を表し、▲印は降水のみを観測している観測所を表す。

表-1 マトリクス

		外水氾濫による物理的被害の大きさ		
		0	1	2
洪水危険度	0	通常	通常	通常
	1	通常	注視	注視
	2	通常	水害対応	重大対応
	3	通常	緊急・救急活動	緊急・救急活動

洪水危険度レベル (洪水危険度の範囲)	内容の目安
0 ($FHI < 0.5$)	洪水の危険性がほとんどない。
1 ($0.5 \leq FHI < 0.8$)	洪水の危険性がある。
2 ($0.8 \leq FHI < 0.9$)	洪水の危険性が高い。
3 ($0.9 \leq FHI$)	洪水の危険性が極めて高い。

被害の大きさレベル (浸水域内人口)	内容の目安
0 ($POP=0$)	人的被害がない。
1 ($1 \leq POP < 200$)	小規模な人的被害がある。
2 ($200 \leq POP$)	中・大規模な人的被害がある。

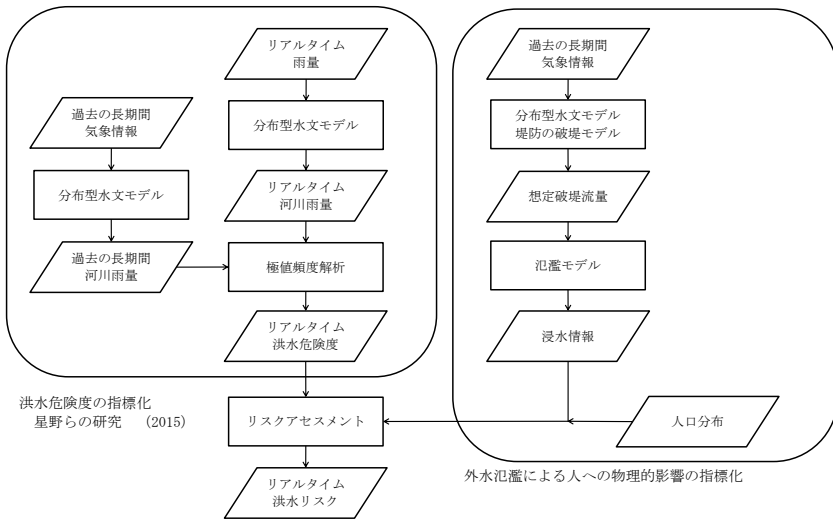


図-2 解析のフローチャート

3. 解析手法

1) 解析の流れ

本研究の解析の流れを図-2のフローチャートに示す。本研究におけるリアルタイム洪水リスクとは、星野ら¹⁾の手法によって推定されたFHIと外水氾濫による人への物理的影響の指標からマトリクス法により推定した指標である。例えば、洪水危険度が高かったとしても浸水域内人口が零であれば洪水リスクはないと判断される。もちろん、水害による被害は人への物理的影響だけでなく家屋の被害や農業への被害など様々な被害が存在する。本研究では人への物理的影響のみを考慮している。星野ら¹⁾は信濃川上中流域を対象として250mグリッドの分布型水文モデルを構築した。本研究においてもFHIを計算する際にこのモデルを用いた。

2) 分布型水文モデルと洪水危険度指標 (FHI)

本研究での危険度指標の計算および洪水リスクの計算は分布型水文モデルを基に行っている。この分布型水文モデルは陸ら³⁾の分布型水文モデリングシステムを基に星野ら¹⁾が構築したものである。このモデルでは水平解像度を250mとして、グリッド毎に流出量と蒸発量を計算している。降雨流出モデルは表面流出、中間流出、地下水流出の3流出成分を考慮した新安江モデルを用いており、サブグリッドスケールの流出集中過程には線型貯水池モデルが用いられている。蒸発モデルにはマッキング法を、河川水の河道追跡モデルにはkinematic wave法が用いられている。しかしながらこの分布型水文モデルでは洪水軽減機能を有する構造物や、取水施設などの人工物が考慮されていない。このモデルを用いることで、流域内の任意の箇所での河川流量をリアルタイムに計算することができる。FHIは現在の河川流量と過去の長期間の河川流量との統計的な関係から推定される。具体的にはFHIはグリッド毎に年最大流量の確率分布を一般化極値分布を用いて同定し、その分布に基づいた現在の河川流量の非超過確率として定義される。FHIは中小河川も含めて洪水危険度を評価するために推定が困難な水位や水深ではなく流量に着目している。気象庁²⁾が2017年に運用を開始した洪水警報の危険度分布は流域雨量指数が用いられており、流量に着目するという点において同様な考え方である。

3) 人への物理的影響と洪水リスク指標

本研究では外水氾濫による人への物理的影響を指標化した。洪水リスク指標とはFHIと外水氾濫による人への物理的影響を掛け合わせたものである。FHIは現在河川流量を年最大流量と見立てた場合の非超過確率で定義されて、値が大きいと危険度が高くなる。また、外水氾濫による人への物理的影響の判断として浸水域内人口を用いる。浸水域内人口とは、あるグリッドで起こった氾濫の浸水域にいる人口の総数を表す。浸水域内人口は実河川グリッドをそれぞれ独立に破堤することで得られる物理的な被害を表すため、水害による被害の指標として適切だと考えられる。また、浸水域の計算に用いる破堤計算は過去31年間の気象データを基に

行った計算によって得られた最大河川流量のイベントをもとに洪水浸水想定区域図作成マニュアル⁴⁾を参考に行った。氾濫モデルは土木学会の水理公式集例題プログラム集第2編の氾濫解析モデル⁵⁾を用いた。また解析に用いたマニングの粗度係数はすべて0.025とした。洪水リスク評価には表-1に示したマトリクスを用いる。マトリクスは水防組織の対応を示しており、通常は通常業務、注視は水害発生の可能性があり注意をして業務を行い必要であれば避難準備情報の発令を行うこと、水害対応は小規模な水害が発生する確率が高いため避難勧告などの対応を行うこと、重大対応は大規模な水害が発生する確率が高く避難勧告などの対応を行うこと、緊急・救急活動は豪雨の発生が予測され避難指示の発令を行うことを示す。

4. 結果と考察

1) 外水氾濫による人への物理的影響

氾濫解析では信濃川上中流域の実河川 28,900 グリッドでそれぞれを独立に氾濫を発生させ浸水域の計算を行った。本解析では最大河川流量を観測した時刻の前6時間、後11時間のピークも合わせて18時間を計算し、河川流量がピークに達したとともに堤防高が0mになったと仮定し破堤させた。氾濫解析は左岸・右岸それぞれで地形情報が異なるためそれぞれ計算を行う。氾濫解析によって得られた各グリッドの浸水域と平成22年国勢調査の人口分布を重ね合わせて浸水域内人口を推定した。浸水域内人口の計算も左岸・右岸によって結果が異なる。それぞれの結果を比較し、リスクが高いといえる浸水域内人口の多い氾濫をそのグリッド河川の被害の大きさとした。これによって得られた結果を図-3に示す。この図より、氾濫による人的被害は都市部と支川からの合流地点から上流部分で大きくなることわかる。都市部では人口が多いため、合流部やその上流では河川流量が多くなりほかの部分よりも浸水域が大きくなるため浸水域内人口が多くなると考えられる。

次に浸水域内人口の累積頻度分布を図-4に示す。この図より、信濃川上中流域の実河川が氾濫した場合の40%近くのグリッドで浸水域内人口が0人になり、70%近くのグリッドの浸水域内人口が200人未満だった。これは対象流域の多くが山間部など人の生活がされない区域があることや、上流部などでは浸水域で生活している人口が少ないことが要因である。図-4に表示されているデータ以降は浸水域内人口が1700人に達したときに累積相対度数が85%に、3300人で90%、7600人で95%になった。このことから浸水域内人口と累積相対度数の関係として度数分布が高くなればなるほど浸水域内人口の増加率が緩やかになる。したがってより急激な変化が見受けられる階級である0人と200人の階級を基準とし表-1のようにランク分けを行った。

2) リアルタイム洪水リスクの推定

図-5にH23豪雨の河川流量の計算値から信濃川上中流域の洪水リスクを評価した結果を示す。H23豪雨によって信濃川上中流域で主に被害が起きたのがおおむね新潟県内だったため図-5は新潟県を対象に表示させた。また、図-5は同豪雨の際に洪水リスクが高まった平成23年7月30日9時00分の洪水リスクを示している。次に図-6に図-5の洪水リスクと同じ条件のFHIを示す。洪水リスクとFHIを比較するとFHIの方が広範

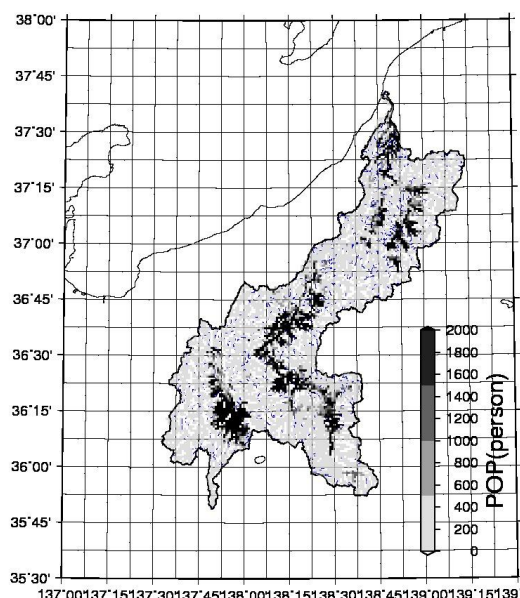


図-3 浸水域内人口の平面分布

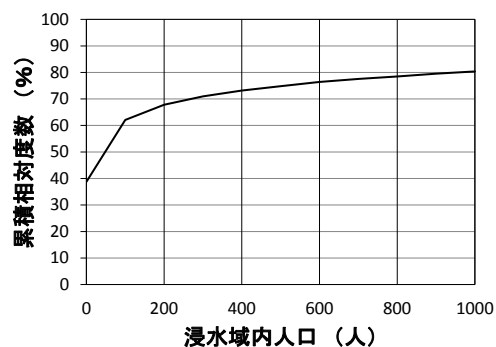


図-4 浸水域内人口の頻度分布

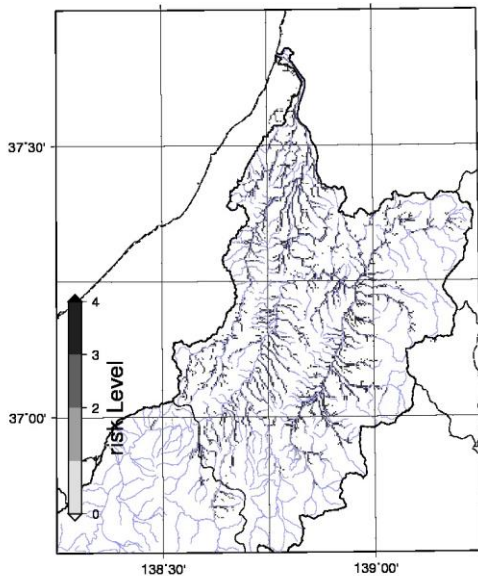


図-5 平成 23 年 7 月 30 日 9 時の洪水リスク

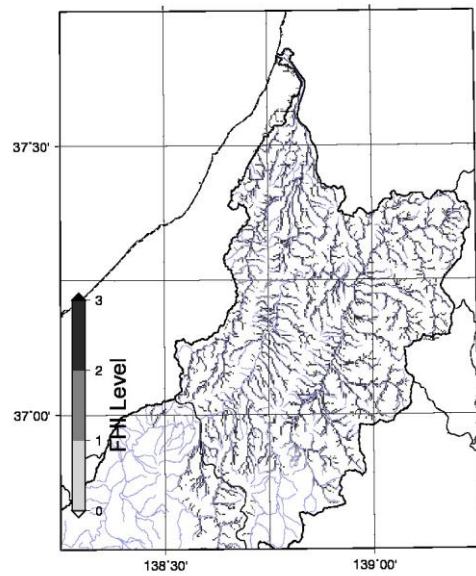


図-6 平成 23 年 7 月 30 日 9 時の FHI

圏で高まっている。これは FHI の方が被害人口を考慮しておらず、被害のない箇所も危険だとしているためである。また、FHI で最高レベルを示していない場所でも洪水リスクでは人口が多いため最高レベルを示している。したがって洪水危険度だけによる水害対応よりも洪水リスクを用いた方が対応すべき地域がより明確になり、緊急・救急的な水害対応をとるための判断基準になり得る可能性があることが示唆されるが、ピークでは洪水リスクが最も高い緊急・救急活動を示す部分が多く水害対応に用いるには直感での判断は現行のままでは難しいといえる。また、実際の洪水リスクの推定を行う際には水害対応に関わるさまざまなステークホルダーによって表-1 に示すようなマトリクスの作成が求められる。またマトリクスにおいては、人への被害として考慮している要素が浸水域内人口のみだが、他の被害要素を複数加えて評価方法をより細かくしていくことも必要だと考えられる。

5. まとめ

本研究では洪水リスクを FHI と人への物理的被害から評価する方法を開発した。現行の洪水危険度と本研究の洪水リスクとの比較を行ったところ、緊急・救急活動が必要だと考えられる地域が限定でき、より緊急性が高い箇所から水害対応をとれるようにした。

今後の課題としては、人への物理的被害の指標として土地利用の種類など河川管理者やその土地でのニーズに合った指標などを採用し、リアルタイムに必要な情報を提供していけるようにしていく必要がある。また、現在は洪水リスクを地図上に表示させているが衛星写真にリアルタイムで表示させ、より直感的に水害対応を行いやすくしていくことが今後の課題になる。

参考文献

- 1) 星野ら (2015) 年最大流量の非超過確率を用いた洪水危険度指標の開発の試み, 水工学論文集, Vol.59, pp.1489-1494.
- 2) 気象庁ホームページ: 洪水警報の危険度分布, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/riskmap_flood.html (参照 2018-05-08).
- 3) 陸 旻皎・小池俊雄・早川典生・益倉克成 (1989) 分布型水文情報に対応した流出モデルの開発, 土木学会論文集, 411/II-12, pp.135-142.
- 4) 国土交通省 (2015) 洪水浸水域想定区域図作成マニュアル, 第 4 版.
- 5) 土木学会 (2002) 水理公式集例題プログラム集 (平成 13 年度版), 土木学会.