

水田の貯留効果による洪水抑制機能に関する検討

水文気象研究室 石井 智久

指導教員 陸 旻皎

1 はじめに

現在、考案されている水害対策の一つとして水田の貯留機能が注目されている。これは水田が畑や果樹園等の他の農作地と違い、水田は水を一時的に貯留することができる能力を持つためである。さらに、貯留した水は排水口を通し少量ずつ河川へと流すことができるため、河川への急激な負担を緩和することができるといわれている。過去にはこの水田の貯留機能を評価すべく様々な研究が行われてきた。角屋・豊国(1966)は水田地帯からの雨水流出過程を物理的に説明できることを明らかにした¹⁾。また、志村(1986)の研究では水田の雨水貯留可能性を「畦畔高さ×水田面積」で評価した²⁾。しかしこの試算に対し、後に水田の雨水貯留機能は稲の生育時期や水田管理水位により大きく左右されるものであるという見解がなされるようになった。そこで、櫻田(1998)は水田の持つ下流域への洪水緩和機能の点から、水田の貯留効果を検討した一方で、さらなる貯留効果向上を期待し、流量調節短管を取り付けた設計案を提案した³⁾。櫻田はこのように意図的に流出量を抑制することにより、水田は貯留機能を向上することができると結論付けた。吉川ら(2009)は水田からの流出は農家の意図的な操作に大きく左右されると述べた。また、水田に治水的な役割を求めるのであれば、それを積極的に高める努力を必要とするとして、水田に落水調整板を用いた「田んぼダム」を実施した耕区と実施してない耕区を対象に、ピーク流出量を比較し水田による流出抑制効果を明らかにした⁴⁾。

本研究では新潟県長岡市の柿川流域内に存在する水田の洪水抑制効果を検討するため、水

田からの流出を表現する水田モデルを作成した。また、水田モデルと従来の流出解析手法である貯留関数法と併用し柿川流域からの流出を試算した。また、より強い洪水抑制効果がある「田んぼダム」を実施した際に、河川計画に及ぼす影響を検討した。

2 対象流域

2.1 柿川概要

本研究の対象は長岡市内を流れる柿川流域である。柿川は長岡市中心部を流れる全長11,154 m、流域面積13.3 km²の一級河川である。しかし、治水安全度が1/2確立規模以下と、非常に洪水発生確率の高い河川となっている。現在、計画されている柿川整備計画においても計画雨量128 mm/dayに対し、基本高水59 m³/s(信濃川合流点柿川水門地点)、計画高水44 m³/s(信濃川合流点柿川水門地点)、計画規模1/10といまだに洪水発生確率の高い河川であることは変わらない。なお且つ、柿川は長岡中心市街地の家屋連担地区を流下しているため、河道拡幅による改修が非常に困難である。そのため、柿川下流部では過去に多数の氾濫被害を受けており、近年では柿川流域内において平成16年、17年、19年、23年に浸水被害を起こしており、特に平成23年度7月新潟・福島豪雨では中心市街地が広範囲で浸水し、床上浸水147戸、床下浸水734戸、浸水面積163haもの甚大な被害を受けた。

2.2 柿川流域

図1にNK-GIASを用いて作成した柿川の流域図を示す。図の白枠は流域を示しており、流域面積は13.3km²である。柿川は太い青線で示しており、本川は山間部から水田部へと流れ込

み、ピンク色の点線で表された水路の東大新江の水を加え流下する。その後水田地帯を抜け、市街地へと入り最終的に信濃川へと流出する。また、柿川にはオレンジ色で示された主要な2本の農業用水路A、Bが繋がっており、水田地帯の排水のほとんどは細い青線で示した水田地帯に広がる網目状に広がった水路を通じて、これら農業用水路へ流入し、柿川へと排水される。また、柿川流域北部には緑の点線で示した水路の福島江が走っており、大雨時には柿川の流量の一部を受け持つ役割を持つ。

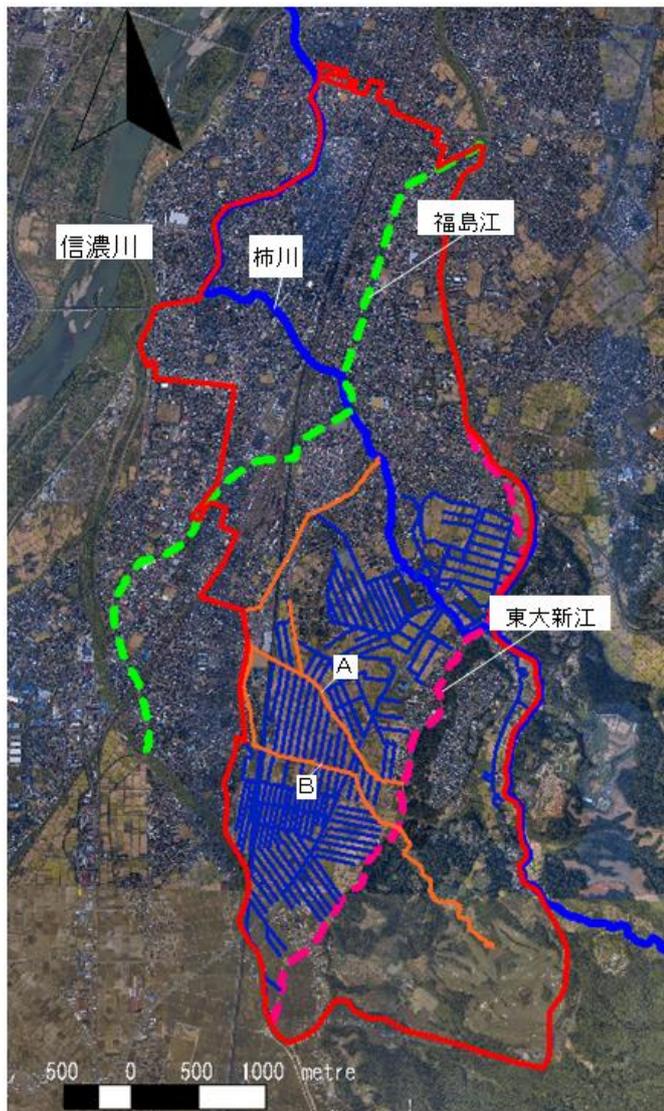


図 1.柿川流域

2.3 小流域と水田の分布

柿川流域を図 1 に示した水路網と標高データを用いて小流域へ分類した。また、柿川流域は中流部に広い水田地帯を持ち、これら水田地帯が洪水抑制に貢献していると考えられる。図 3 に柿川流域を小流域ごとに分類し、水田の分

布をピンクで示した図を示す。水田地帯の面積はNK-GIASによる試算では2.99km²であり流域面積 13.3km²のうち約 22.5%を占めている。

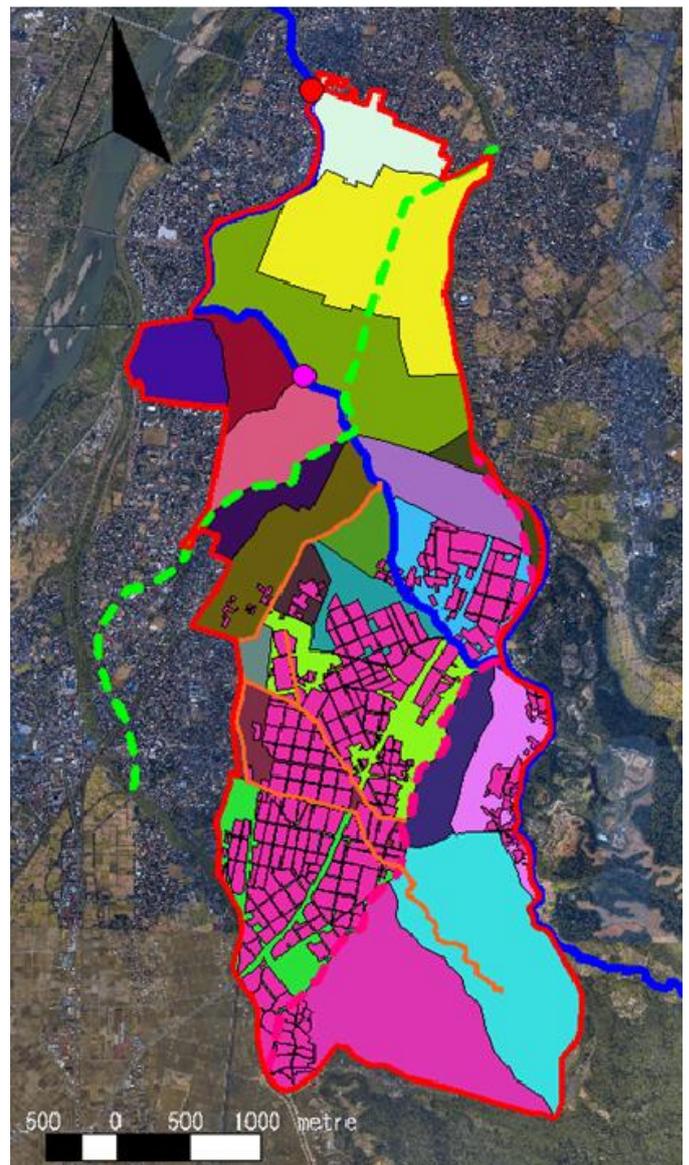


図 2.柿川流域の水田分布

3 研究手法

3.1 流域の分割

本研究では長岡市柿川流域を対象に流出解析を行い、流域内の水田による洪水抑制効果を検討する。通常図 3 のとおり、流域には水田と水田以外の流域が混在している。本研究では水田からの流出を表現するため、流域を水田と水田以外の流域に面積比で分類し、水田からの流出は本研究で作成した水田モデルを使用し、水田以外からの流出は従来の貯留関数法を用いて流出解析を行うことで、水田と水田以外の流域を個別に計算をおこない、

水田の有無による流出量の変化を試算した。



図 3.流域内に存在する水田

3.2 水田モデル

水田からの流域の流出を表現するため、水田 1 枚からの流出を表現する水田モデルを作成した。このモデルは雨量を入力データとし、水田の水深からオリフィス式を通しての流出量 Q_l を算出する (式(1))。ここで C はオリフィスの流量係数、 A_H はオリフィスの断面積、 H は田面水位である。また、水田の水位変化は降水量 $P(\text{mm})$ 、流出量その他、土壌浸透量、蒸発散量、畔浸透量等を含む減水深 $L(\text{mm})$ を用いて表した(式(2))。

$$Q_l = C \cdot A_H \sqrt{2gH} \quad (1)$$

$$H'(t) = (P(t) - L(t) - \frac{Q_l(t)}{A}) \Delta t \quad (2)$$

3.2.1 減水深

減水深は降水がなく、水田が湛水状態であった 8 月 14 日 8:00 から 8 月 15 日 17:00 の期間を対象に観測した。計 3 つの水位計で期間内に減少した水位の平均を計算した結果、0.018m/day の減少が求まり、この値を減水深として用いることとした。図 4 に各水位計による水位変化の観測結果を示す。

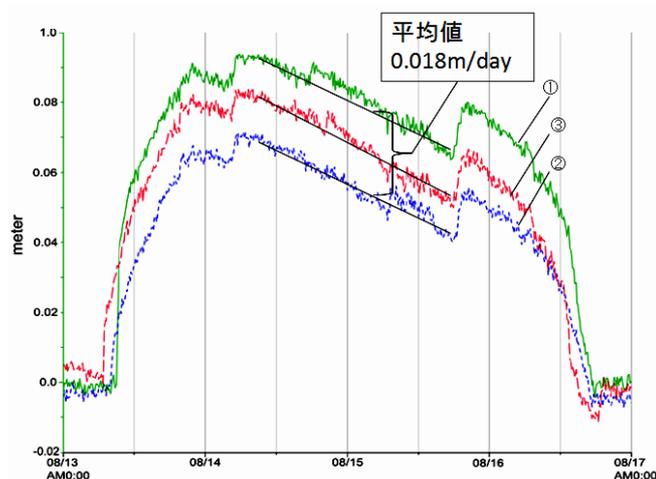


図 4.水田の減水深による水位変化

3.2.2 水田モデルの検証

水田モデルが実際の水田に適応可能か検証を行った。水田の流出は降水がなく、なお且つ排水を行っていた 8 月 16 日 12:00 以降の観測結果を対象とした。当時口径 10.5cm、11.5cm の計二つの排水孔を使用し排水を行っており、この排水孔付近に水位計を設置し観測を行なった。ここで流出が(1)式に従うことを確認するために、(1)、(2)式を用いて水田の流出量、水位変化を算出した。観測値および流出計算による水位変化を比較した図を図 5、図 6 に示す。結果、水田モデルは水位変化を比較的よく表しており、十分に水田に適用可能であると結論付けた。

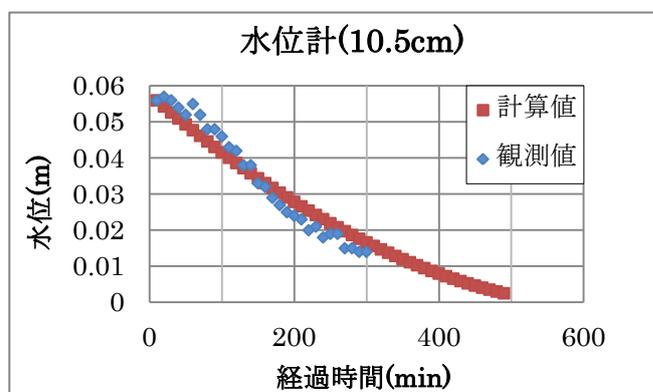


図 5.水田からの流出による水位変化 1

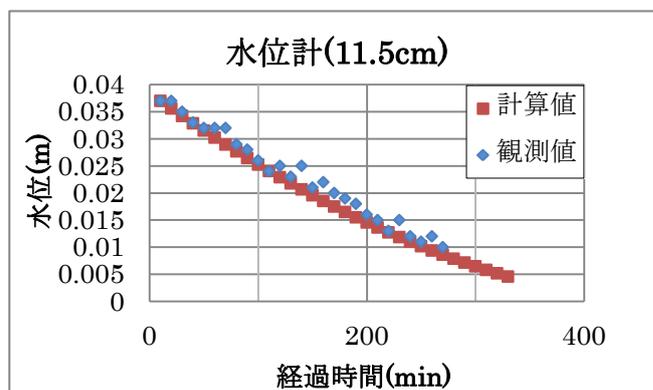


図 6.水田からの流出による水位変化 2

3.3 貯留関数法

水田以外からの流出は貯留関数法を用いて計算を行った。従来の貯留関数法を用いて同様に計算を行った。ここで S は見かけの貯留量、 K 、 P は流域ごとのモデル定数、 T_{LZ} は遅れ時間、 f は流出係数、 R は流域平均雨量、 Q は流出量である。これらモデル定数は河川整備計画のパラ

メータを使用する。

$$S = KQ^p - T_L Q \quad (3)$$

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{1}{3.6} f \bar{R} A - Q(t - T_L) \quad (4)$$

3.4 流出解析手法

本研究では、「水田を考慮した場合」、「水田を考慮しない場合」、「田んぼダムを実施した場合」の3つのケースについて解析を行う。また、それぞれのケースにおいて水田流域からの流出は表1のように水田モデルを用いた流出解析を行い、水田流域以外からの流出は表2貯留関数法を使い分けて解析を行った。尚、表1において水田を考慮した場合と田んぼダムの流出解析手法が同じになっているが、これは水田モデルに使用した流出孔径が異なっている。水田を考慮した場合には水田モデルの元となった水田と同様に流出孔径を11.5cm、10.5cmの2つが存在するものとして計算している一方で、田んぼダムでは流出孔径5cmの流出孔が2つ存在しているものとして計算を行っている。また、貯留関数法のパラメータ設定において水田を考慮しない場合には、水田流域に市街地のパラメータを用いている。元々河川整備計画における貯留関数法のパラメータ設定は、市街地、山地、水田地帯毎に分類されている。本研究では水田地帯を市街地と仮定し計算を行うことで、水田の有無による洪水抑制効果を試算した。

表 1.流出解析手法

流出解析手法		
	水田の流域	水田以外の流域
水田考慮あり	水田モデル (孔径 11.5、10.5 を使用)	貯留関数法
水田考慮なし	貯留関数法	貯留関数法
田んぼダム	水田モデル (孔径 5.0を使用)	貯留関数法

表 2.貯留関数法のパラメータ設定

貯留関数法におけるパラメータ設定		
	水田の流域	水田以外の流域
水田考慮あり	---	河川整備計画によるパラメータ
水田考慮なし	市街地のパラメータを使用	河川整備計画によるパラメータ
田んぼダム	---	河川整備計画によるパラメータ

3.5 対象降雨

本研究で対象とした降雨は、実降雨と計画降雨の2種である。実降雨は2004年7月、2009年8月、2011年6月降雨の計3種であり、長岡アメダスデータを用いた。実降雨では水田を考慮した場合と、水田を考慮しない場合の流出解析結果を比較し、水田の洪水抑制機能を示した。計画降雨は長岡の河川整備計画に用いられた降雨を使用し、それぞれ計画規模1/2、1/10、1/30の3つを用いた。また、計画降雨では水田を考慮した場合の流出解析結果と田んぼダムを実施した場合の流出解析結果を比較し、田んぼダムによるピーク流出量の減少を試算した。

4 解析結果

表3へ実降雨、表4へ計画降雨の解析結果を示す。表3は実降雨のため、降雨の大きさや形に左右されるが、水田を考慮した場合としない場合では、流出量に差が生じ、最大で55%のピーク流量の減少が見られた。水田の洪水抑制効果が見られた。また、表4は計画降雨を対象とした場合で、水田を考慮した場合としない場合のピーク流出量を比較したところ、約49~60%のピーク流量がみられた。これらから、水田によるピーク流量の減少が確認され、水田に洪水抑制効果があるといえる。

一方で表5は水田を考慮した場合と柿川流域の水田全てに田んぼダムを実施した場合のピーク流量の比較である。その結果、田んぼダムを実施した場合には、水田を考慮した場合の計算結果と比較し約11~13%のピーク流量の減少がみられ、さらなる洪

水抑制効果が確認された。これら田んぼダムによる減少量は、現在柿川に洪水抑制施設として計画されている放水路(洪水調節容量: 9m³/s)や消流雪用水導入施設(洪水調節容量: 3m³/s)に並ぶ値であり、現実的な洪水抑制効果があると考えられる。

表 3.実降雨によるピーク流量差

対象降雨(年)	2004	2009	2011
水田を考慮しない場合のピーク流量(m ³ /s)	14.1	30.6	19.0
水田を考慮した場合のピーク流量(m ³ /s)	10.4	13.6	12.8
ピーク流量差(m ³ /s)	3.7	17.0	6.3
ピーク流量の減少値の割合(%)	26.2	55.5	32.9

表 4.計画降雨によるピーク流量差

対象降雨(年)	1/2	1/10	1/30
水田を考慮しない場合のピーク流量(m ³ /s)	39.2	73.1	118.1
水田を考慮した場合のピーク流量(m ³ /s)	15.7	33.0	60.1
ピーク流量差(m ³ /s)	23.5	40.1	58.0
ピーク流量の減少値の割合(%)	59.9	54.9	49.1

表 5.田んぼダム実施によるピーク流出量の減少

計画規模	1/2	1/10	1/30
水田を考慮した場合のピーク流量(m ³ /s)	15.7	33.0	60.8
田んぼダム実施した場合のピーク流量(m ³ /s)	13.6	29.0	53.9
ピーク流量差(m ³ /s)	2.1	4.0	6.9
ピーク流量の減少値の割合(%)	13.4	12.1	11.3

5 結論

・実降雨、計画降雨を対象とし、水田を考慮した場合と水田を考慮しない場合では、最大ピーク流量が最大で約 60%減少し、水田による大きな洪水抑制効果が確認された。

・柿川流域全体に「田んぼダム」を導入し、計画規模 1/2、1/10、1/30 の降雨を与えた場合、最大で約 13%のピーク流量の減少をもたらす結果となった。また、これらピーク流量の減少量は現在計画、実施されている柿川の洪水調節機である放水路や消流雪用水導入施設に相当する。

6 参考文献

- 1) 角屋 睦、豊国 永次(1966)「水田地帯における流出解析について」 pp.631-636 京大防災研究所年報 第 9 号
- 2) 志村 博康(1986)「水田・畑の治水機能評価-国土に必要な治水容量の農地・ダム・森林による分担-」 pp.25-29 農業土木学会誌 第 50 巻 第 1 号
- 3) 櫻田 賢治、西村 順(1998)「中山間地域における農地保全と水田の貯留機能」 pp.941-946 農業土木学会誌 第 66 巻 第 9 号
- 4) 吉川 夏樹、長尾 直樹、三沢 眞一(2009)「水田耕区における落水量調整板のピーク流出抑制機能の評価」 pp.263-270 農業農村工学会論文集第 251 号(第 77 巻第 3 号)