

## Webカメラを活用した

### 浸水観測ネットワーク FloodEye の構築と評価

廣井 慧<sup>†1</sup> 井上 朋哉<sup>†2</sup> 仲倉 利浩<sup>†1</sup> 妙中 雄三<sup>†3</sup> 加藤 朗<sup>†1</sup> 砂原 秀樹<sup>†1</sup>

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

<sup>†2</sup> 北陸先端科学技術大学院大学 高信頼ネットワークイノベーションセンター

<sup>†3</sup> 東京大学 情報基盤センター

外水氾濫や内水氾濫による水害の減災には、浸水発生の有無とその水位の観測による情報提供が必須となる。そのため、河川管理を行う防災機関では水位観測システムを敷設しているがその多くは外水に設置されている。しかし、都市域では内水氾濫の発生頻度が高く浸水戸数も多い。内水氾濫は、中小河川や側溝、排水路などの多数地点での観測が必要である。既存研究の水位センサは高コストであるため一般的な地方自治体にとって敷設、運用の障壁が高い。本稿では、安価に浸水情報を防災機関へ提供するために Web カメラを用いた浸水観測システム FloodEye を提案する。また、地方自治体の協力を得て、実際に FloodEye を市街地へ設置し、水位変化や浸水発生を実環境で観測した。この運用データをもとに設置方法や情報提供における時間分解能の分析と検討を行った。この結果、浸水観測には、撮影画像に対し観測水面が水平となるようなカメラ配置が必要であること、降水量や水位の上昇速度を考慮した時間分解能の決定が必要であり、降水の状況により変化することがわかった。

## FloodEye: A Proposal and Evaluation of Flood Monitoring Network with Web-camera

Kei HIROI<sup>†1</sup>, Tomoya INOUE<sup>†2</sup>, Toshihiro NAKAKURA<sup>†1</sup>,

Yuzo TAENAKA<sup>†3</sup>, Akira KATO<sup>†1</sup>, Hideki SUNAHARA<sup>†1</sup>

<sup>†1</sup> Graduate School of Media Design, Keio University

<sup>†2</sup> Dependable Network Innovation Center, Japan Advanced Institute of Science and Technology

<sup>†3</sup> Information Technology Center, The University of Tokyo

Monitoring and alerting can reduce damages caused massive flood and inundation disaster. Most river level systems monitor large rivers. However, urban areas are extremely vulnerable to inundation disaster. To monitor small-and-medium-sized rivers for detection of inundation disaster, monitoring sensors need to be placed in as many locations as possible. Therefore, we propose a flood monitoring system with Web-camera (FloodEye) for disaster prevention agencies that utilizes inexpensive sensors and implement our system in Fukui city. On basis of the observed data, we discussed about appropriate installation environments and time resolution of observation for detection of inundation.

## 1. はじめに

地球温暖化の影響により、短時間に強い降水が集中する短時間強雨が頻発している[1]。2013年も例外ではなく、8月までにアルゼンチン豪雨、インドネシア洪水、日本での山口島根豪雨をはじめ、甚大な被害をもたらす降水が数多く発生した。このような短時間強雨の発生は、特に日本を含む東アジア地域で今後も増大する可能性が示されている[2]。

短時間強雨は、河川の水（外水）によって起きる外水氾濫や堤防内側の土地にある水（内水）によって起きる内水氾濫を招く。外水氾濫は、破堤や溢水により河川の水が溢れて起こる洪水を指す。外水氾濫は大量の高速氾濫流が一気に市街地に流入し短時間で住宅等の流出や浸水被害が起こるため、人的な被害が大きい。一方、内水氾濫は雨水の滞留や中小河川、水路から水が溢れて起こる市街地の浸水を指す。外水氾濫に比べ、人的被害は少ないが、道路・水路・地下施設の冠水により毎年一定数の被害が発生する。河川の堤防整備のような治水によって外水氾濫の発生数やその被害は年々小規模になりつつある[3]。しかし、内水氾濫については、短時間強雨の規模や下水道、地下水路などの排水設備の影響を受けるため、治水により有効な対策を講じることが難しい。

このような治水による減災が難しい内水氾濫に対して被災状況の情報提供は、被害の軽減に有効な対策となる[4]。内水氾濫の原因となる中小河川は、外水氾濫が起きる河川に比べ複雑に河川長が伸びており水害が発生する危険箇所の数も多い[5]。そのため内水氾濫の観測と情報提供には、多数の観測点による観測網の構築が必要となる。一般的に外水氾濫の観測に利用されている観測網は敷設、運用に多くのコストがかかる。さらに既設の観測網は、観測装置の破損や破堤の影響のため正確な水位の検出が難しい。つまり、外水氾濫の観測網と同等のシステムを用いて内水氾濫の観測網を敷設し情報提供を行うためには、コストや水位の検出が課題となり浸水状況の観測が難しい。そのため観測網の整備が進んでおらず、浸水が発生した際は、物的被害や人的被害の軽減につながる情報提供が困難である。そこで本稿では、安価に浸水情報を提供するためにWebカメラを用いて浸水観測ネットワーク **FloodEye** を構築する。また **FloodEye** を実環境で運用し、その結果をもとにした水位変化や浸水発生に関する分析結果について述べる。

## 2. 浸水情報の必要性和先行研究

### 2.1. 浸水情報の必要性

市街地で氾濫が発生した場合、道路の冠水や家屋の床上/床下浸水のような被害が発生する。氾濫防止策として、河川整備や貯留施設、下水道の整備が行われているものの、中小河川や水路、排水設備の構造が複雑であるため有効な対策とはなっておらず被害は発生し続けている。氾濫防止策のほかに、人命や家屋、家財への被害を軽減するための情報提供が有効とされている[4]。浸水の可能性を事前に情報提供することで、土嚢の設置や家財道具の移動等、家屋や家財を浸水被害から守ることができる。内水氾濫の発生や浸水地域に関する情報を提供することで、被災する地域の人々に危険を認識させ、さらに安全な地域への避難を可能とする。

### 2.2. 浸水状況の推定の困難さ

一般に豪雨が発生した場合、浸水状況の程度に関する情報生成は気象観測、河川水位観測に基づいて行われている。しかし、豪雨発生状況下で、浸水が発生している地域や程度を把握することは難しい。これらの観測データは、豪雨の規模や河川の状況を示すものであり、市街地などの内水で、どの程度の浸水が発生しているかという規模を直接示す情報ではない。

また、過去の浸水履歴に基づいて浸水の深さを推定する手法[6][7]もあるが、降水のあった地域の地形によってはその排水能力が異なるため、浸水の発生の有無や規模に関する正確な推定を行うことは難しい。つまり、既存の観測網や推定手法では、豪雨災害の直接的な被害である浸水情報を生成することは困難である。

### 2.3. 浸水の観測に関する先行研究

設置箇所は限られるものの、浸水状況を把握するための仕組みの開発研究が進められている。静電容量式や超音波式等の方式により道路上の浸水を検知する水位センサが開発され、これまでに愛知県岡崎市、神奈川県藤沢市、宮城県仙台市等の浸水が懸念される地域に導入設置されてきた[8]。これらの水位センサは設置地点において、水位センサの検知部分の高さまで冠水した際に、浸水を検知する。さらに、検知後にサイレンを鳴らす、希望者にメールで通知する等の情報提供機能を有するシステムもある。

しかし、これらの水位センサが、浸水水位を検出できているかについては課題が残る。破堤

が起きると河川沿いの水位センサの観測値は下がる。破堤により被害は大きくなるものの、水位の観測値は下がっているように計測される。このような場合、破堤による浸水が発生したのか、水位が減少したのかの判断が難しい。水位センサのなかには浸水水位がある一定の高さに達したときに、浸水を検出するタイプのセンサも多く、浸水は発生しているが、検出が行われない可能性もある。さらに水中や水面に接触して計測する水位センサの場合、水の流れや流木等の外力によるセンサの破壊が起き、安定的な計測が難しい。

### 3. 浸水観測ネットワーク FloodEye

#### 3.1. 内水氾濫による浸水を観測するための要求事項

内水における浸水情報を観測するためには、浸水発生の可能性が高い地点で観測を行うことが必要となるが、その浸水危険箇所は外水に比べて多く、一般的な外水氾濫に用いられる観測装置を敷設、運用することは高コストである。そのため、内水氾濫の観測網を構築するためには、安価な観測装置の構成を提案する必要がある。

被災地域の人々へ警報や避難情報のような人命に関わる情報提供を行う防災機関（国土交通省、地方自治体等）のうち数機関に対し、内水氾濫の把握にはどのような情報が必要であるか調査をしたところ、周囲の状況が把握できる情報も必須であるとの意見を得た。防災機関は、水位の数値情報だけではなく氾濫危険箇所の周囲の様子を鑑みて氾濫を判断しており、実際に目視により内水の周囲状況を確認する場合もある。つまり、2.3節で述べたように水位の数値情報だけでは、氾濫発生の有無の決定することが難しいことがわかる。そこで、正確な内水氾濫の情報を提供するためには、危険箇所の周囲の状況を確認できる観測データを収集することが必須となる。

#### 3.2. Web カメラによる浸水状況の観測

実際の浸水状況の把握を可能とするために、浸水観測網の観測データとして画像情報が必要である。そこで、本研究では、定点観測による画像情報を利用した浸水観測ネットワーク FloodEye を提案する。これまでの浸水情報は、既存の観測網で観測されている降水量や河川水位のような、数値を主とした情報であったが、

FloodEye では、画像データを用いることで内水氾濫による周囲の浸水状況の観測を可能にする。そして、市街地で発生している浸水の様子を画像データとして直接観測を行うことで、容易に浸水発生の有無や規模の情報提供を行うことができる。また、Web カメラは、既存の水位センサのように水面との接触がないため、流木や投棄物の接触による破損や水流の外力による影響を受けにくいという利点を持ち故障の発生頻度を下げることができる。このように、観測データを受ける防災機関にとって、水位の数値情報だけでは判断が難しい事象の浸水状況を容易に観測し判断することが可能となる。

#### 3.3. 安価な観測装置によるコストの低減

市街地にて浸水の発生する地域は一ヶ所とは限らず、複数の危険箇所が存在する。そのため、市街地の浸水を観測するためには、できる限り多くの観測装置を敷設することが望ましく、安価な機器構成により観測網を構築する必要がある。そこで FloodEye では、安価に画像データを収集するため、Web カメラのような汎用的に用いられている機器を利用する。安価な機器として Web カメラにより観測網を構成することで、外水氾濫観測に用いられている水位センサよりも敷設や運用に関わるコストを抑え、内水氾濫のより多くの地域で観測することが可能となり、導入コストの面で優位になると考えられる。

#### 3.4. FloodEye の構成

構築した FloodEye の構成を図 1 に示す。FloodEye は観測装置と観測データサーバから構成される。観測装置は、浸水の観測と観測データサーバへの観測データ送信を行う。浸水の観測として、観測点にて河川・水路沿いやアンダーパスの画像データを取得する。また、浸水水位や降水量のような付随する観測データの計測も併せて行う。

データを受信した観測データサーバでは、観測データの加工と情報提供を行う。観測データは河川管理者、市役所のような防災機関、被災地域の人々への情報提供を行う。図 2 に FloodEye の利用者と観測データの活用方法を示す。防災機関（FloodEye 利用者）は FloodEye から観測データを受信し、受け取った情報を豪雨発生時の災害対応に役立てる。また、同時に FloodEye の情報をもとにして、被災する可能性

のある地域の人々へ被害状況の情報提供を行う。

### 3.5. FloodEye での観測項目

FloodEye での観測は以下の2つの項目に対して行う。

[A] 浸水発生の有無

[B] 浸水が発生した際の浸水水位

[A]を観測するために、市街地の河川・水路の近隣に観測装置を設置する。浸水の発生は、河川・水路の水位と堤防の高さとの有無によって判断する。画像データと浸水までの余裕高を示す数値情報が FloodEye 利用者に提供される。数値情報は観測した画像データから検出する。

[B]を観測するための、対象地点は内水氾濫の起きやすい危険箇所とする。危険箇所には、市街地の凹状地やゼロメートル地帯等の溢水が流れ込みやすい低地やアンダーパスとする。アンダーパスとは鉄道や道路などで立体交差する下の道路を指し、雨水が溜まりやすいため車両の冠水のような被害が多く出ている。このような浸水の危険がある箇所に観測装置を設置する。

FloodEye 利用者から被災地域の人々への情報提供には浸水の水位や変化を伝えるため数値情報が必要となる。そのため、FloodEye は、画像データと、浸水の深さを示す数値情報を利用者へ提供する。数値情報は画像データを用いて、道路からの浸水の水位を検出する。

### 3.6. 観測装置の構築にかかる費用

浸水の観測装置は設置地点（河川・水路の近隣、低地、アンダーパス等）で、浸水発生の有無、浸水水位を計測する。一般的に、水位センサの価格は30～50万円程度となる。本稿では汎用性のある機器を用いて簡易な構成とすることで観測装置を6万円で構築し、敷設にかかるコストを低減する。

観測装置から観測データサーバまでの回線には、安価な構成とするためインターネットを用いる。インターネットを用いることで、専用線を用いた一般的な観測網と比べ設置箇所1地点あたり6分の1以下に運用コストを抑えることができる。

### 3.7. 浸水観測の流れ

FloodEye を用いた浸水観測の流れを図3に示す。観測にあたっては、浸水の恐れのある箇所に観測装置を設置したうえで、浸水の観測・検出をし、それらのデータを活用した情報を安定

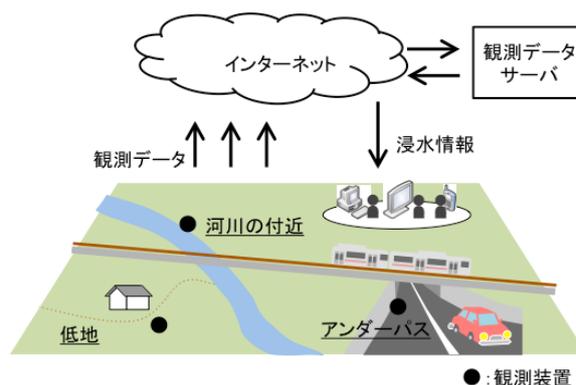


図1. 浸水観測ネットワークの構成

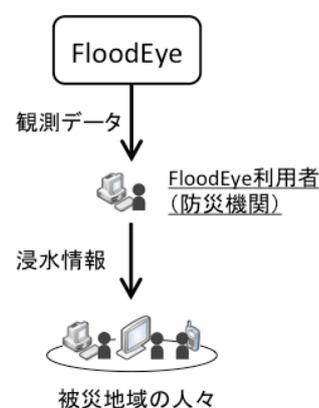


図2. FloodEye で想定する利用者

的に提供できる性能が要求される。

はじめに、各地点に設置された観測装置で浸水状況と浸水値の観測を行う（i）観測データの収集。浸水状況はカメラから撮影される画像を用いて観測する。ここで画像から浸水の様子を観測できる観測装置の構成が必要となる。また、浸水水位は画像データの解析、もしくは浸水水位を観測するセンサを設置することにより観測する。浸水の発生、もしくはそのおそれのある際、FloodEye から得られた情報を活用して浸水の情報提供を行うには、浸水水位や堤防と水位の差のような根拠となる数値を合わせて提供することが望ましい。観測データが画像のみであった場合は、そのまま水位の変化量や危険水位との差がわかりにくく危険情報として情報提供に活用することは難しい。浸水の変化や発生地点、継続状況を知るためには情報提供に用いる数値データを何らかの方法で取得することが必要となる。画像データのみを FloodEye からの提供した場合、浸水の水位に関する数値データを入手するためには FloodEye 利用者が変化量の算出を行わなければならない。そのため、浸水

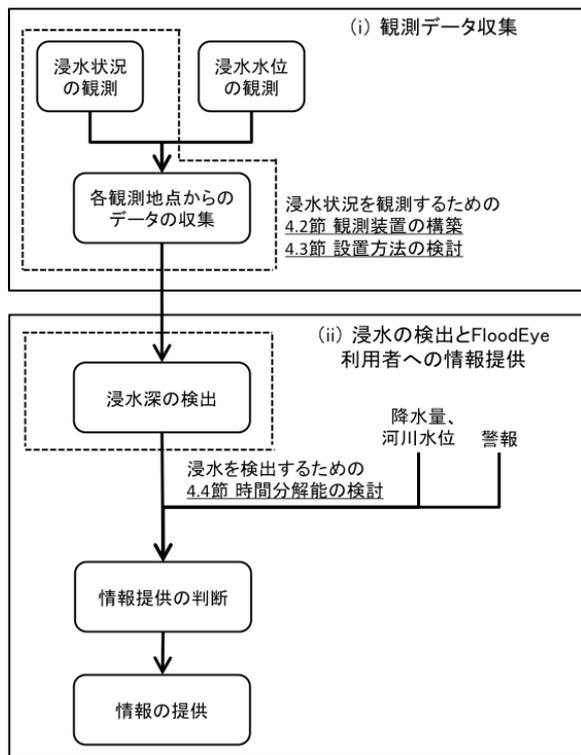


図 3. 浸水観測の流れ

水位の数値データを合わせて観測することで被災地域の人々への情報提供までの過程を容易にすることができる。

次に (ii) 浸水の検出と FloodEye 利用者への情報提供を行う。収集された画像データ、浸水水位から、浸水の発生の有無、浸水水位を検出する。浸水のおそれのある際、得られた観測データの情報提供を行う。ここで情報提供の時間間隔に関する処理が必要となる。浸水は日常的に発生する現象ではないため、常に同じ時間間隔で観測結果を確認する必要はない。浸水の発生のおそれのない状況で定期的に観測データの情報提供を行うより、気象現象や河川が変化し、浸水が発生するおそれのある際に、密な情報提供を行い、注意の喚起を行うことが望ましい。そのため気象・河川の変化に見合った適切な時間間隔で情報の提供を行うこととする。

## 4. FloodEye の構築と評価

### 4.1. 浸水観測の実施

本提案の FloodEye について、観測データから浸水状況の把握が可能となるような観測装置を構築し、観測した画像データを用いて FloodEye 利用者への観測データの提供を行った。その結果をもとに適切な情報提供に向けた検討を行う。まず、簡易な観測装置を構築し、3.7 節 (i) で述べたような要求を満たす設置方法の検討を行っ

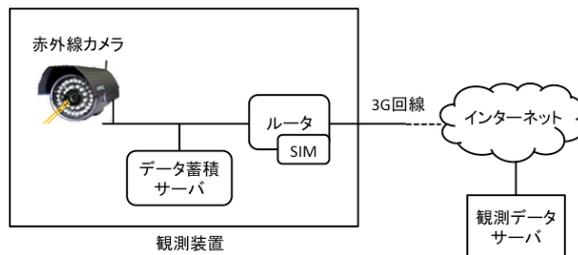


図 4. 観測装置の構成

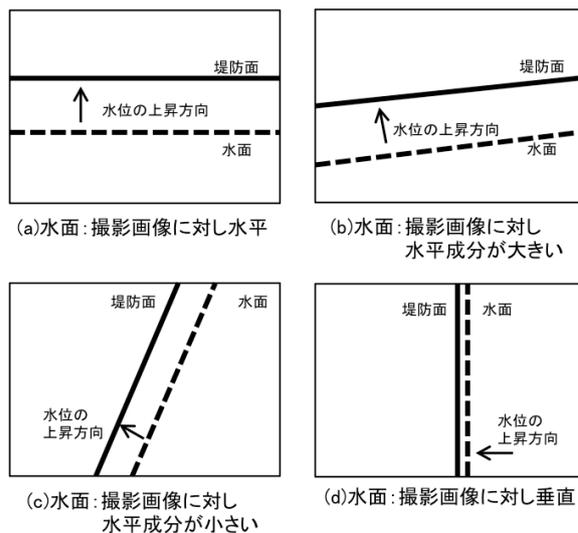


図 5. 観測装置の設置方式

た。設置は福井県福井市内の河川・水路の近隣の 2 ヶ所で、福井市の防災機関に対して情報提供を行った。設置箇所、2 ヶ月間浸水状況の観測を実施した。さらに得られた観測データを用いて浸水発生の有無について検出を行うため、3.7 節 (ii) で述べた観測の時間分解能について検討を行った。以上、浸水状況を観測するための観測装置の構築、設置方法の検討、時間分解能の検討の 3 点について順に述べる。なお、本稿で実施した浸水状況の観測、浸水を検出するための時間分解能の検討は、図 3 破線部にあたる。

### 4.2. 簡易な観測装置の構築

図 4 に構築した観測装置の構成を示す。観測には夜間に浸水が発生した場合であっても、観測が可能となるよう赤外線カメラを用いている。カメラは、設置箇所にて堤防面付近、道路のような、浸水があった際の発生の有無、浸水水位の認識が可能である画像を撮影する。カメラで 1 分毎に撮影した画像を観測データ蓄積サーバに格納し、3G 回線を利用して観測データサーバへ送信する。河川氾濫の場合、市街の中心部から離れた河川沿いで発生することもあり、

浸水箇所にインターネットが整備されていない可能性も高い。そのため、インターネット回線が整備されていない地域であっても観測データ送受信が可能な構造で観測ネットワークを構築する必要がある。本稿で運用している観測装置は設置箇所にインターネット回線が整備されていない。そのため、回線は3G回線を活用し、インターネットへの接続を行った。

### 4.3. 観測装置の設置方式

#### 4.3.1. 設置方式の比較

4.2節で構築した観測装置を用いて、浸水の発生有無を判別するための設置方式について検討を行った。画像データから浸水発生の有無を判別するために、河川・水路の水位と堤防の高さとの差(余裕高)を用いた。余裕高がない場合、水位は堤防の高さまで達していることとなり、浸水が発生する可能性が高い。また、余裕高がある場合、浸水の発生までには時間的な猶予があるが、どの程度の余裕高が残されているのかを知ることが重要となる。カメラで撮影した画像データから、余裕高を知るために水面と堤防面の比較が可能となるよう、観測装置を設置する必要がある。設置にあたり、カメラの撮影方向を変え、余裕高が判別できるか目視での確認を行った。

#### 4.3.2. 設置方式に関する考察

堤防面と水面が示す余裕高と撮影画像の関係は、図5(a)-(b)の4つに分類できる。各方式での水位上昇の変化を確認したところ、(a)、(b)は目視での確認が容易に可能だった。しかし、(c)では夜間帯において確認が困難となり、(d)では昼夜間ともに困難であった。

(a)、(b)は堤防面、水面が画像データの水平方向に位置しているため、水位上昇の垂直成分が大きく、確認が行いやすかったと考えられる。また、(c)、(d)の場合は堤防面、水面が垂直方向に位置しており、水位上昇の垂直成分が小さいため、水位の上昇があっても画像データに反映されにくい。特に夜間帯では赤外線カメラから得られた画像データはグレースケールとなり水面と堤防面の色の差が小さくなったため、判別がしにくかったと考えられる。

以上のことから観測装置のカメラは堤防面、水面が撮影画像に対し水平となるように設置することが望ましいとわかった。設置環境に制限があり、垂直方向にしか設置ができない場合は、水面の水平成分の目視ができるよう、スケール等の設置を行うことで判別が可能になると考えられる。

表 1. 50mm/h以上の雨を観測した降水日  
(2013年6月-8月, 気象庁)

| 降雨日         | 合計降水量<br>(mm/h) | 10分間降水量の<br>最大(mm) |
|-------------|-----------------|--------------------|
| 6/19        | 59              | 3.5                |
| 6/26        | 55              | 4                  |
| <b>7/13</b> | <b>69</b>       | <b>13</b>          |
| 7/29        | 137.5           | 5.5                |
| 8/1         | 60.5            | 8                  |
| (参考)        | 28              | 11.5               |
| 7/14        |                 |                    |

### 4.4. 浸水観測の時間分解能の検討

#### 4.4.1. 時間分解能の検討の概要

FloodEyeでは、河川・水路の近隣に設置した観測装置で、溢水前の水位を観測し、溢水の危険があるときにFloodEye利用者に情報提供を行う。ただし、観測や情報提供にあたっては、水位の変化に追従する適切な時間間隔で観測を行う必要がある。時間間隔が長過ぎる場合、観測を行っても浸水発生の危険を示す水位へ変化したことを十分に検出できない可能性がある。要求される観測の時間間隔(時間分解能)は降水量や降水のあった地点の地形によって変動する。降水量、地形が変化し、氾濫の発生条件が変わった際にも、適切な時間分解能を定めるための条件を求めることが必要である。この時間分解能を決定するためにどのような条件が必要であるか、FloodEyeで取得した観測データをもとに検討を行った。なお、本稿では画像データによる観測までを対象とし、画像データからの数値情報の算出は行っていない。

#### 4.4.2. 時間分解能を決定するための条件

##### (1) 降水量との関係

時間分解能を決定するための条件として、まず降水量が考えられる。検討には2013年6月から2013年8月までの75日間にFloodEyeで観測した画像データを使用した。この75日間のうち気象庁の雨量計で降水が観測された日が34日間あった。そのうち、合計総雨量50mmを超える降水量が観測された5日間のデータを表1に示す。これらの降雨日のうち、観測装置の設置地点にて水位と堤防面の高さが同程度となったのは7月13日の1日のみであり、この観測データについて検討した。なお、気象庁の雨量計とFloodEye

の観測地点の距離は4kmほどであり、観測地点でも雨量計の設置箇所とほぼ同様の降水量があったと考えられる。

表1で7月13日は他の降水日と比較すると合計降水量は同程度であるが、10分間降水量の最大値はもっとも高く、短時間に激しい降雨があった。短時間の大雨により、降水や河川・水路の上流からの流入量が流出量を超え、浸水につながるような水位の上昇が起きたと考えられる。また、7月14日には合計降水量50mm/hを超過していないが、10分間降水量の最大値は10mm以上だった。このときは、短時間の降水量は大きかったが、全体として流出量を超える降水量とはならなかったため、水位は上昇せず浸水につながらなかったと考えられる。以上のことから、時間分解能を決定するための条件として、合計降水量と10分間降水量の最大値が挙げられる。したがって、この条件に当てはまる気象条件の際に、密な時間分解能での観測が必要であると考えられる。

さらに、図6に7月13日の降水量と観測地点で観測された水位を示す。本稿では、評価の正確性を期すため観測地点に設置された水位標識と水面変化を撮影し、画像データから目視で水位を測定した。図6の降水量と観測地点の水位を比較すると、降水が観測されない時間帯(21:20-21:40)であっても水位の上昇が見られ、21:30には堤防面とほぼ同等の高さまで達した。これは、河川・水路からの上流からの流入量が多かったためと考えられる。降水が観測された時間帯(20:20-21:20)は、観測地点の降水と河川・水路の上流からの流れにより水位が上昇していた。さらに雨が止み降水量が観測されなくなった後も、河川・水路の上流からの流入量が大きかったため、水位が上昇し続けたものと考えられる。そのため、FloodEyeでの観測にあたっては、降水量の観測値が0となっても、浸水の状況を観測し続ける必要がある。

## (2) 水位の上昇速度との関係

次に、時間分解能を決定するための条件として水位の上昇速度が考えられる。水位観測の時間間隔 $t$ を1分、3分、5分、10分とし、それぞれの値のときの微分値 $f(t)$ としてそれぞれ $f(t=1)$ 、 $f(t=3)$ 、 $f(t=5)$ 、 $f(t=10)$ を求めた(図7)。水位の上昇がない時間帯(19:30-20:00)では微分値 $f(t)$ はすべて0となった。このとき時間分解能が $t=1,3,5,10$ のすべてで、水位変化を捉えることが可能である。さらに、水位が上がり始める

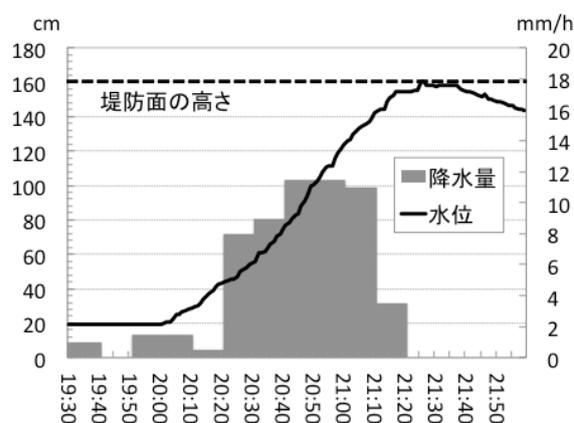


図6. 7月13日の降水量と観測地点の水位

と $f'(t)$ は1-6までの値を取った。 $f'(t=3)$ 、 $f'(t=5)$ の最大値は3.3であり、 $f'(t=10)$ の最大値は2.6となった。しかし、 $f(t=1)$ の最大値は5.5であり、他の微分値と比較すると大きな値が数回みられた。これは、水位は短時間に上昇することが多く、1分間で大きな水位の変化があることを示している。そのため3分、5分、10分のように微分値が平均化されると水位の上昇やそれに伴う浸水の発生が密に観測できない。したがって、河川・水路に対し、降水が始まった際には、時間分解能を細かく設定し、密な観測が必要である。

以上のことにより、時間分解能を決定するための条件は、(1)合計降水量、10分間降水量の最大値、(2)水位の上昇速度である。(1)合計降水量、10分間降水量の最大値については、降水量が0であっても水位が上昇し、浸水につながる可能性もあるため、時間分解能を細かく設定することが必要である。(2)水位の上昇速度については、降水が始まる前は時間分解能を大きくとって水位変化の観測は可能である。降水が始まり、水位が上昇し始めた場合は急激な変化が起こる可能性があるため、細かい分解能での観測が必要となる。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、内水に対する浸水被害の軽減を目指し、防災機関へ浸水状況の情報提供を行うために、浸水観測ネットワークFloodEyeを提案し、運用に基づく評価を行った。既存研究では、複数の浸水観測装置を敷設し、運用するためのコストや周囲状況を判断し氾濫発生の有無の決定するための情報に不足があり、問題となっていた。そこで、FloodEyeの構築にあたり、Webカメラを用いて安価に観測装置を構成し、画像データより浸水被

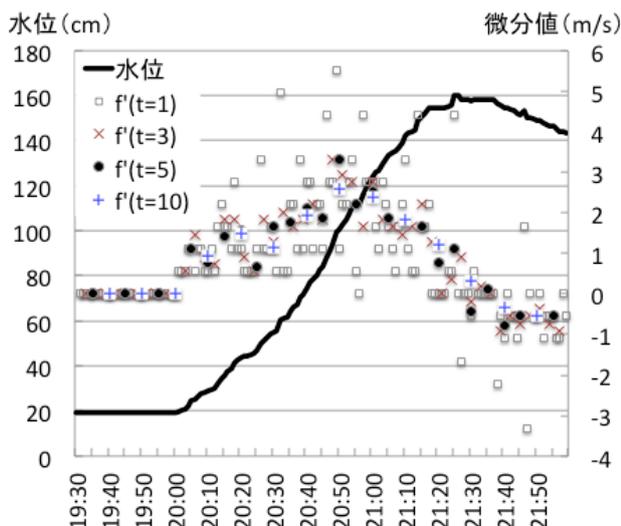


図7. 7月13日の観測地点の水位と微分値

害の発生の有無や浸水の水位の観測を可能とした。防災機関の協力のもと、福井県福井市内へFloodEyeを実際に敷設し、実環境での浸水発生の有無を観測し、画像データの観測結果をもとに浸水観測のための要求事項を議論した。画像データを用いて浸水の観測を行うためには、水位変化の観測が可能となるようにWebカメラを設置する必要があり、FloodEyeの観測結果から設置方式の検討を行うことで、水面が撮影画像に対して水平となるよう設置することが必要であるとわかった。

次に、気象や河川構造の変化により浸水発生の条件が変わった際にも浸水観測を可能とするためには、降水量の合計値だけではなく、短時間に多くの降水があることを示す10分間降水量を参照して、浸水観測の時間分解能を決定する必要があるとわかった。さらに水位の上昇速度から浸水発生の観測に必要な時間分解能を検討した。水位から微分値を求め上昇速度を得ることで、上昇速度に応じて水位を観測できる適切な時間分解能を求めた結果、水位の上昇は急激に発生し、時間分解能を大きくすると水位の変化の観測が難しくなることがわかった。FloodEyeの観測は、降水量や水位の上昇速度を考慮し、時間分解能を決定する必要があり、短時間強雨や急な水位上昇がみられた際は、より密な観測を行う必要がある。

今後は、浸水水位の観測とFloodEye利用者への数値情報の提供を目指し、画像データからの浸水水位データの解析による、浸水水位の観測と浸水の検出を行う。併せて、FloodEye利用者が被災地域の人々に向けて情報提供が可能となるよう浸水状況、浸水水位の情報の加工について検討を行う。

## 謝辞

本研究の一部は、平成24年度・平成25年度慶應義塾大学博士課程学生支援プログラムによるものです。ここに記して謝意を表します。

観測装置の設置と浸水観測に深いご理解と全面的なご協力を頂いた福井市総務部危機管理室、下水道部下水道課雨水対策室の皆様へ深く感謝いたします。本研究の浸水観測ネットワークの開発と運用に多大なお力添えを頂いた豊田隆志様に深く感謝いたします。本研究の浸水観測ネットワークに名前をつけてくださった北陸先端科学技術大学院大学の篠田陽一先生に深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 高橋日出男, 中村康子, 鈴木博人: 東京都区部における強雨頻度分布と建築物高度の空間構造との関係, 地学雑誌, vol. 120, no.2, pp.359-381, 東京地学協会, 2011
- [2] Lambert, S. J. and J. C. Fyfe: Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dyn.* 26, pp.713-728, 2006.
- [3] 水害統計調査2009 (online), [http://www.mlit.go.jp/statistics/details/river\\_list.html](http://www.mlit.go.jp/statistics/details/river_list.html) 国土交通省, 2013.9.
- [4] 廣井脩, 集中豪雨時のソフト対策, 河川レビュー, vol. 130, pp.19-25, 新公論社, 2005
- [5] 堤防等の河川管理施設の緊急点検結果について (online), [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/05/050924\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/05/050924_.html), 2013.9.
- [6] 板橋区ハザードマップ (online), [http://www.city.itabashi.tokyo.jp/c\\_kurashi/009/images/img\\_9967\\_2\\_1.jpg.html](http://www.city.itabashi.tokyo.jp/c_kurashi/009/images/img_9967_2_1.jpg.html), 2013.8.
- [7] 名古屋市ハザードマップ (online), <http://www.city.nagoya.jp/kurashi/category/20-2-6-6-0-0-0-0-0-0-0.html>, 2013.8.
- [8] 中根和郎, 他.リアルタイム浸水情報の実用化.日本災害情報学会第14回研究発表大会予稿集.2012, p.22-25.